



Universidad Autónoma del Estado de México
Facultad de Geografía

**“IDENTIFICACIÓN DE ZONAS ÓPTIMAS
PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CONJUNTOS
HABITACIONALES CON LA AYUDA DE
HERRAMIENTAS SIG, EN LA ZONA
METROPOLITANA DEL VALLE DE TOLUCA”**

Reporte Final para obtener el grado de

ESPECIALISTA EN CARTOGRAFÍA AUTOMATIZADA,
TELEDETECCIÓN Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA

19ª Promoción

PRESENTA
Lic. En Geografía Angélica Pedraza Roque

ASESOR
Dr. Noel Bonfilio Pineda Jaimes

Toluca, México; Febrero 2015

ÍNDICE GENERAL

-RESUMEN	8
-INTRODUCCIÓN	9
-PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
-JUSTIFICACIÓN	11
-OBJETIVOS	12
-OBJETIVO GENERAL	12
-OBJETIVOS PARTICULARES	12
CAPITULO 1. MARCO TEÓRICO	13
1.1 ANTECEDENTES DE LOS SIG	13
1.2 DESARROLLO DE LOS SIG	14
1.3 FUNCIONES DE LOS SIG	16
1.4 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL PROBLEMA DE ESTUDIO	17
1.4.1 Definición de los Sistemas de Información Geográfica	17
1.4.2 Estructura de los Sistemas de Información Geográfica	18
1.5 EVALUACIÓN MULTICRITERIO	19
1.5.1 Métodos de Evaluación Multicriterio	19
1.5.2 Análisis multicriterio en un entorno SIG	20
1.5.3 Enfoques en la Teoría de Decisión	21
1.6 CONJUNTOS URBANOS	21
1.7 APLICACIONES DOCUMENTALES	22
1.8 CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	24
CAPITULO 2. METODOLOGÍA	27
2.1 INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA	28
2.2 INVESTIGACIÓN CARTOGRÁFICA	28
2.3 DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES	29
2.4 FACTORES Y RESTRICCIONES	31
2.4.1 Criterios	31
2.4.2 Restricciones	33
2.5 NORMALIZACIÓN DE LOS FACTORES	34
2.5.1 Edafología	35
2.5.2 Pendiente	37
2.5.3 Litología	38
2.5.4 Pozos de agua	39
2.5.5 Uso de suelo	40
2.5.6 Cercanía a vías de acceso	41
2.5.7 Cercanía a las zonas urbanas	42
2.6 RESTRICCIONES	42

2.7 PONDERACIÒN	46
2.8 APLICACIÒN DEL MÈTODO DE EVALUACIÒN MULTICRITERIO	47
CAPÍTULO 3: RESULTADOS	50
CONCLUSIONES	53
DISCUSIÒN	55
RECOMENDACIONES	56
BIBLIOGRAFÍA	57

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Localización de la zona de estudio	25
Figura 2: Pasos metodológicos	27
Figura 3: Comparación por pares	36
Figura 4: Normalización de la capa de edafología	37
Figura 5: Modelo Fuzzy	37
Figura 6: Capa de pendiente ponderada	38
Figura 7: Normalización de la capa de geología	39
Figura 8: Normalización de los pozos	40
Figura 9. Normalización de la capa de uso de suelo	41
Figura 10: Normalización de las vías de acceso	41
Figura 11: Normalización a las zonas urbanas	42
Figura 12: Áreas naturales protegidas	43
Figura 13: Cuerpos de agua	43
Figura 14: Corrientes de agua	44
Figura 15: Fracturas	44
Figura 16: Minas	45
Figura 17: Zonas de inundación	45
Figura 18: Ponderación de los factores	46
Figura 19: Evaluación multicriterio	48
Figura 20: Resultado	48
Figura 21: Resultado sin la capa de inundación	49
Figura 22: Mapa final, zonas optimas para la construcción de conjuntos habitacionales en la ZMVT	50

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Descripción de los criterios	31
Cuadro 2: Descripción de las restricciones	33
Cuadro 3: Clasificación de los tipos de suelo	35
Cuadro 4: Pesos de la capa de edafología	36
Cuadro 5: Juicios de valor	46
Cuadro 6: Juicios de valor para las variables	47

RESUMEN

El trabajo realizado es una aproximación de cómo pueden ubicarse los conjuntos habitacionales, utilizando un modelo de Evaluación Multicriterio, junto con Sistemas de Información Geográfica, el cual es una herramienta poderosa para la obtención de la aptitud el territorio para el desarrollo de los conjuntos habitacionales

Se ejecutó el modelo de Evaluación Multicriterio, donde se seleccionaron los factores de decisión, se normalizaron a una escala byte de 0 a 255, la ponderación y junto con las restricciones se utilizó el método de sumatoria lineal ponderada, dando como resultado; las zonas óptimas para la posible construcción de conjuntos habitacionales en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca.

Además se hizo un análisis al comparar los conjuntos habitacionales identificados en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, junto con el resultado obtenido (zonas optimas), mostrando la aptitud del territorio en la cual se encuentran los conjuntos habitacionales, ya sea aptitud alta, aptitud media, aptitud baja y no apto para la construcción de los conjuntos habitacionales.

Palabras clave: Evaluación Multicriterio, Sistemas de Información Geográfica, Conjuntos habitacionales, Normalización, Ponderación Sumatoria Lineal Ponderada.

INTRODUCCIÓN

El Estado de México cuenta con uno de los crecimientos poblacionales más altos del país, por ello la presente investigación se centra principalmente en la localización óptima de conjuntos habitacionales, muchos de ellos ubicados en zonas que no son adecuadas para los asentamientos humanos, viéndose afectados posteriormente por fenómenos naturales como lluvias, inundaciones, falta de servicios como agua potable, transporte, entre otros más.

Del año 2000 al 2006 se autorizaron 417,982 viviendas bajo la figura del conjunto urbano

El presente trabajo muestra las zonas en donde se encuentran asentados los conjuntos habitacionales y así a través del resultado obtenido hacer un análisis de la localización de los conjuntos habitacionales ya establecidos para determinar si están ubicados adecuadamente con base en las adecuaciones y restricciones tomadas para el estudio.

Esto se hizo a través de modelo llamado Evaluación Multicriterio en el software IDRIS SELVA.

El capítulo 1 consiste en el desglose del marco teórico, presentando la terminología empleada en la investigación, el modelo usado, así como la mención de algunas investigaciones realizadas anteriormente por otros investigadores y sus aportes principales y por último la localización de la zona de estudio y sus características principales.

El capítulo 2 muestra la metodología empleada, las características de cada uno de los criterios que fueron considerados para el estudio así como el procedimiento realizado.

En el capítulo 3 se presentan los resultados que se obtuvieron de la aplicación de la metodología, presentado el mapa final de zonas óptimas para la posible construcción de conjuntos habitacionales en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca y el análisis realizado con los conjuntos habitacionales existentes en la zona de estudio.

Y se presentan algunas conclusiones, recomendaciones y discusión así como la bibliografía consultada.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, vivir cerca de la zona de empleo es un problema, el salario, los altos costos de vida, el transporte, el tiempo y recorrido al trabajo coadyuvan a buscar una alternativa que permita optimizar gastos, lo cual termina con la compra de una vivienda.

“Actualmente la demanda de vivienda se soluciona mediante conjuntos urbanos de grandes dimensiones dirigidos por empresas privadas. Entre más lejos, más barato el suelo, más casas construidas y más clientes, la expansión de la ciudad se ha privatizado. Este modelo se ha declarado como la gran solución al rezago habitacional pero lejos de serlo es causante de diversos problemas” (Arango,2013).

Esto se debe en gran medida a la facilidad de obtener un crédito para poder adquirir una vivienda principalmente por empresas privadas, que ofrecen de acuerdo a sus criterios, viviendas de calidad reflejándose en su alto costo monetario, aunque estos asentamiento se caracterizan por ubicarse en municipios alejados donde el suelo es barato y con una mala calidad en la construcción de estos.

Muchos de los problemas que presentan los conjuntos habitacionales se deben en gran medida a su mala ubicación geográfica, en donde no se toman en cuenta variables físicas y sociales como: suelo y sus características, geología, ríos y cuerpos de agua, áreas naturales protegidas, pendiente del terreno, carreteras, electricidad, drenaje, agua potable, transporte, entre otras más.

La mala ubicación de una vivienda acarrea consigo consecuencias procedentes de derivados de fenómenos naturales como inundaciones, hundimientos, agrietamientos, deslaves, entre otros más.

Además el Gobierno del Estado de México (catastro) a otorgado permisos a constructoras de conjuntos habitacionales, por lo que se ha observado que estos permisos no han llevado una valoración efectiva de las zonas que requieren este permiso de construcción.

JUSTIFICACIÓN

Los conjuntos habitacionales se han venido realizando en grandes cantidades, lo que ha conllevado a construir sin tener en cuenta las condiciones físicas del terreno, los servicios, sin importar la distancia a la que se encuentren de los centros urbanos, ni la distancia a las vías de comunicación, o expuestos a zonas de inundación y otras características más. Además hay que resaltar que estos lugares están realizados con el fin de adquirir riqueza sin importar la calidad de las viviendas poniendo en riesgo la vida de las personas que adquieren estos inmuebles.

Para el caso de estudio se decidió emplear el método de evaluación multicriterio por el dinamismo con el que se puede realizar una investigación, además de la incorporación de múltiples y diferentes variables.

Es de gran importancia pues estas investigaciones ofrecen un gran aporte a la toma de decisiones tanto individualmente como para las instituciones públicas y privadas.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Proponer zonas óptimas para la posible construcción de conjuntos habitacionales por medio de la Evaluación Multicriterio herramientas SIG, en la zona Metropolitana del Valle de Toluca.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Identificar los conjuntos habitacionales por medio de cartografía ya existente.
- Aplicar el Método de Evaluación Multicriterio para identificar las zonas óptimas para la construcción de conjuntos habitacionales .
- Comparar conjuntos habitacionales existentes con los resultados de esta investigación.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

1.1 ANTECEDENTES DE LOS SIG

Todas las sociedades que han gozado de un grado de civilización han organizado de alguna manera la información espacial.

Los fenicios fueron navegantes, exploradores y estrategas militares que recopilaron información en un formato pictórico, y desarrollaron una cartografía "primitiva" que permitió la expansión y mezcla de razas y culturas. Los griegos refinaron las técnicas de abstracción con sus descubrimientos geométricos y aportaron elementos para completar la cartografía utilizando medición de distancias con un modelo matemático ($a^2 + b^2 = c^2$. Pitágoras, ecuación del círculo), se convirtieron en navegantes e hicieron observaciones astronómicas para medir distancias sobre la superficie de la tierra. Esta información se guardó en mapas. Los romanos imitaron a los griegos y desarrollaron el Imperio utilizando frecuentemente el banco de datos previamente adquirido y ahora heredado. La logística de infraestructura permitió un alto grado de organización política y económica, soportada principalmente por el manejo centralizado de recursos de información.

Las invasiones bárbaras disminuyeron el ritmo de desarrollo de civilización en el continente europeo durante la edad media, y sólo hacia el siglo XVIII los estados reconocieron la importancia de organizar y sistematizar de alguna manera la información espacial.

Se crearon organismos comisionados exclusivamente para ejecutar la recopilación de información y producir mapas topográficos al nivel de países enteros, organismos que han subsistido hasta el día de hoy. En el siglo XIX, se produjo grandes volúmenes de información geomorfológica que se debía cartografiar. La orientación espacial de la información se conservó con la superposición de mapas temáticos especializados sobre un mapa topográfico base. Recientemente la fotografía aérea y particularmente las imágenes de satélite han permitido la observación periódica de los fenómenos sobre la superficie de la corteza terrestre. La información producida por este tipo de sensores ha exigido el desarrollo de herramientas para lograr una representación cartográfica de este tipo de información. El medio en el cual se desarrollaron estas herramientas tecnológicas correspondió a las ciencias de teledetección, análisis de imágenes, reconocimiento de patrones y procesamiento digital de información, en general estudiadas por físicos,

matemáticos y científicos expertos en procesamiento espacial. Obviamente, éstos tenían un concepto diferente al de los cartógrafos, con respecto a la representación visual de la información. Con el transcurso del tiempo se ha logrado desarrollar un trabajo multidisciplinario y es por ésta razón que ha sido posible pensar en utilizar la herramienta conocida como "Sistemas de Información Geográfica, SIG (Limón, 2013)"

1.2 DESARROLLO DE LOS SIG

En el año 1962, en Canadá, se diseñó el primer sistema "formal" de información geográfica para el mundo de recursos naturales a escala mundial. En el Reino Unido se empezó a trabajar en la unidad de cartografía experimental. No fue hasta la época de los 80's cuando surgió la comercialización de los SIG. Durante los años 60's y 70's se empezó a aplicar la tecnología del computador digital al desarrollo de tecnología automatizada. Excluyendo cambios estructurales en el manejo de la información, la mayoría de programas estuvieron dirigidos hacia la automatización del trabajo cartográfico (FAO, 2009).

La producción automática de dibujo se basó en la tecnología de diseño asistido por computador (CAD). El modelo de base de datos de CAD maneja la información espacial como dibujos electrónicos compuestos por entidades gráficas organizadas en layer o capas. Cada capa contiene la información de los puntos en la pantalla (o pixeles) que debe encender para la representación por pantalla. Estos conjuntos de puntos organizados por planos de visualización se guardan en un formato vectorial El desarrollo de la tecnología CAD se aplicó para la manipulación de mapas y dibujos y para la optimización del manejo gerencial de información cartográfica. De allí se desarrolló la tecnología AM/FM (Automated Mapping / Facilities Management) El desarrollo paralelo de las disciplinas que incluyen la captura, el análisis y la presentación de datos en un contexto de áreas afines como catastro, cartografía, topografía, ingeniería civil, geografía, planeación urbana y rural, servicios públicos, entre otros, ha implicado duplicidad de esfuerzos (FAO, 2009).

Hoy en día se ha logrado reunir el trabajo en el área de sistemas de información geográfica multipropósito. En los años ochenta se vio la expansión del uso de los SIG., facilitado por la comercialización simultánea de un gran número de herramientas de dibujo y diseño asistido por ordenador (con siglas en ingles CAD y CADD), así como la

generalización del uso de computadores y estaciones de trabajo en la industria y la aparición y consolidación de las Bases de Datos relacionales, junto a las primeras modelizaciones de las relaciones espaciales o topología (FAO, 2009).

En este sentido la aparición de productos como ARC-INFO en el ámbito del SIG o IGDS en el ámbito del CAD fue determinante para lanzar un nuevo mercado con una rapidísima expansión. La aparición de la Orientación a Objetos (OO) en los SIG (como el Tigris de Intergraph), inicialmente aplicado en el ámbito militar (Defense Map Agency - DMA) (OO) permite nuevas concepciones de los SIG donde se integra todo lo referido a cada entidad (p.e. una parcela) (simbología, geometría, topología, atribución) . Pronto los SIG. se comienzan a utilizar en cualquier disciplina que necesite la combinación de planos cartográficos y bases de datos como: Ingeniería Civil: diseño de carreteras, presas y embalses. Estudios medioambientales. Estudios socioeconómicos y demográficos. Planificación de líneas de comunicación. Ordenación del territorio. Estudios geológicos y geofísicos. Prospección y explotación de minas, entre otros (FAO, 2009).

Los años noventa se caracterizan por la madurez en el uso de estas tecnologías en los ámbitos tradicionales mencionados y por su expansión a nuevos campos (SIG en los negocios), propiciada por la generalización en el uso de los ordenadores, la enorme expansión de las comunicaciones y en especial de Internet y el World Wide Web, la aparición de los sistemas distribuidos (DCOM, CORBA) y la fuerte tendencia a la unificación de formatos de intercambio de datos geográficos propician la aparición de una oferta proveedora (Open Gis) que suministra datos a un enorme mercado de usuario final. El incremento de la popularidad de las tendencias de programación distribuida y la expansión y beneficios de la máquina virtual de Java, permiten la creación de nuevas formas de programación de sistemas distribuidos. Nace aquí un nuevo paradigma para el acceso a consultas y recopilación de datos en los sistemas de información geográfica (FAO, 2009).

A partir de 1998 se empezaron a colocar en distintas órbitas una serie de familias de satélites que traerán a los computadores personales, antes del año 2003, fotografías digitales de la superficie de la tierra con resoluciones que oscilarán entre 10 metros y 50 centímetros. Empresas como SPOT, Orblmage, EarthWatch, Space Imaging y SPIN-2 han iniciado la creación de uno de los mecanismos que será responsable de la

habilitación espacial de la tecnología informática. Curiosamente éste "Boom" de los satélites de comunicaciones, está empujando la capacidad de ancho de banda para enviar y recibir datos, hasta el punto de que en este momento, la capacidad solo concebida para fibra óptica de T1 y T3, se está alcanzando de manera inalámbrica. Por otro lado la frecuencia de visita de estos satélites permitirán ver cualquier parte del mundo casi cada hora. Las imágenes pancromáticas, multispectrales, hiperspectrales, radar, infrarrojas, térmicas, crearán un mundo virtual digital a nuestro alcance. Este nuevo mundo cambiará radicalmente la percepción que tenemos sobre nuestro planeta. (DeMers, 2003, citado en FAO, 2009).

1.3 FUNCIONES DE LOS SIG

De acuerdo con Limón (2013), un SIG almacena la información en capas temáticas que pueden enlazarse geográficamente. Este concepto simple pero altamente poderoso y versátil ha probado ser crítico en la resolución de muchos problemas que van desde el rastreo de vehículos de reparto, registrando los detalles de la planificación hasta el modelamiento de la circulación atmosférica global.

Existen al menos 5 argumentos básicos para la utilización de un SIG, los cuales son:

1. Nos permite realizar comparaciones entre escalas y perspectivas emulando una cierta capacidad de representación de diferentes lugares al mismo tiempo.
2. Permite diferenciar entre cambios cualitativos y cuantitativos, aportando a una gran capacidad de calculo
3. Un SIG permite gestionar un gran volumen de información a diferentes escalas y proyecciones
4. Integra espacialmente datos tabulares y geográficos junto a cálculos sobre variables (topología)
5. Un SIG admite multiplicidad de aplicaciones y desarrollos: poniendo herramientas informáticas estandarizadas que pueden ir desde simples cajas de herramientas hasta paquetes llave en mano.

Los SIG son una herramienta imprescindible para todas aquellas personas que utilizan información geográfica.

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

Las principales cuestiones que pueden resolver un SIG son:

1. Localización: preguntar por las características de un lugar concreto
2. Condición: El cumplimiento o no de unas condiciones impuestas al sistema.
3. Tendencia: Comparación entre situaciones temporales o espaciales distintas de alguna característica
4. Rutas: Calculo de rutas optimas entre dos o más puntos
5. Pautas: Detección de pautas espaciales
6. Modelos: Generación de modelos a partir de fenómenos o actuaciones simuladas.

El campo de aplicación de los SIG es muy amplio, pudiendo utilizarse en la mayoría de las actividades con un componente espacial.

1.4 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL PROBLEMA DE ESTUDIO

1.4.1 Definición de los sistemas de información geográfica

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), según la conceptualización de Bocco (1998) son un conjunto de herramientas diseñadas para la adquisición, almacenamiento, análisis y representación de datos espaciales. En el área de interés el SIG persigue describir, medir y analizar datos acerca del cambio de cobertura y uso en función de variables dependientes definidas por el investigador. Un SIG es un sistema computarizado para llevar a cabo análisis geográfico y transformar datos en información. El análisis geográfico supone la descripción, explicación y predicción en torno a objetos cuya distribución espacial es relevante en la comprensión de su naturaleza (génesis, dinámica). Los datos geográficos son descriptores de objetos en tres dimensiones: localización (absoluta y relativa), atributos (variables explicativas) y tiempo.

Los SIG son un “sistema computarizado que permite la entrada, almacenamiento, representación, análisis de resultados: así como la salida eficiente de información espacial (mapas) y atributos (tabulares), de acuerdo con especificaciones y requerimientos concretos del usuario. Un SIG está compuesto por los siguientes módulos; 1) entrada de datos. 2) Manejo de datos, 3) análisis de datos y, 4) salida de información”

1.4.2 Estructura de los Sistemas de Información Geográfica

Ordoñez y Martínez (2003) mencionan que los componentes esenciales de un SIG son los siguientes:

a) Bases de datos espacial y temática: Son elementos donde se almacenan, de forma estructurada, los objetos cartográficos (su posición, tamaño y forma) y sus características no geométricas (atributos), respectivamente.

a) Sistema Gestor de Bases de Datos (DBMS): Se entiende por sistema gestor de bases de datos un tipo de software usado para gestionar y analizar los datos almacenados en una base. Desde estos sistemas se pueden almacenar los datos en tablas, establecer relaciones entre ellos y crear nuevas tablas con los resultados obtenidos. Estas tablas se pueden relacionar con la base de datos espacial y representar el resultado en forma de mapas temáticos.

c) Sistema de digitalización de mapas: Las bases de datos cartográficas de los SIG se construyen a partir de los mapas, fotografías o imágenes que conforman los datos de partida. Para cargar estos datos en la base de datos del SIG, es necesario convertirlos al formato digital propio del sistema, para lo cual disponen de programas de digitalización y de conversión de formatos.

d) Sistema de representación cartográfica: Son los que permiten dibujar mapas a partir de los elementos seleccionados de las bases de datos, hacer distintas composiciones cartográficas y enviar estos mapas a los dispositivos de salida, como impresoras o graficadores. Los mapas son los medios más utilizados para representar los resultados de los análisis efectuados en un SIG y, con frecuencia, van acompañados de tablas y diagramas, por lo que estos sistemas incorporan herramientas para crear este tipo de documentos.

e) Sistema de análisis geográfico: Este sistema permite relacionar datos espaciales y obtener nuevos mapas en función de la relación establecida.

f) Sistema de procesamiento de imágenes: Algunos sistemas de información geográfica disponen de módulos para analizar y operar con imágenes obtenidas con sensores

aerotransportados o desde satélites artificiales. Las imágenes procedentes de satélite se emplean cada vez más como fuentes de datos en los sistemas de información geográfica, especialmente en el análisis y resolución de problemas relacionados con el medio ambiente.

1.5 EVALUACIÓN MULTICRITERIO

La evaluación multicriterio puede definirse como un conjunto de técnicas orientadas a asistir en los procesos de tomas de decisiones. El fin básico de las técnicas de Evaluación Multicriterio es investigar un número de alternativas bajo la luz de múltiples criterios y objetivos en conflicto (Voogd, 18983, citado en Molero *et. al.*, 2007).

Según eso es posible generar soluciones compromiso y jerarquizaciones de las alternativas de acuerdo a su grado de atracción (Janssen y Rietveld, 1990, citado en Molero, *et. al.*, 2007).

La toma de decisiones multicriterio se puede entender como un mundo de conceptos, aproximaciones, modelos y métodos, para auxiliar a los centros decisores a describir, evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar objetos, en base a una evaluación (expresada por puntuaciones, valores e intensidades de preferencia) de acuerdo a varios criterios. Estos criterios pueden representar diferentes aspectos de la teleología: objetivos, métodos, valores de referencia, niveles de aspiración o utilidad (Colson y De Brunn, 1989, citado en Molero, *et. al.*, 2007).

La decisión multidimensional y los modelos de evaluación, de los cuales la evaluación multicriterio forma parte, provee un conjunto de herramientas para el análisis de las complejas propiedades entre las alternativas de selección. La estructura matemática utilizada para describir la toma de decisiones multidimensional está basada en la teoría de la optimización multiobjetivo, en la cual los objetivos complementarios y conflictos son descritos como un problema de decisión como múltiples objetivos (Carver, 1991, citado en Molero, *et. al.*, 2007)

1.5.1 Métodos de Evaluación Multicriterio

Las técnicas de Evaluación Multicriterio son clasificadas de acuerdo al nivel del proceso de demanda cognitiva que demandan del centro decisor y el método de agregación de puntuaciones de criterios y prioridades establecidos (Gómez y Barredo, 2005).

La evaluación multicriterio, al ser un conjunto de técnicas orientadas a asistir en los procesos de toma de decisiones, permite:

- Ponderar impactos ambientales provocados por el accionar humano, a partir de la confrontación de las variables naturales y antrópicas.
- Construir escenarios que permitan disminuir la incertidumbre en relación a la toma de decisiones
- Evaluar alternativas.

1.5.2 Análisis multicriterio en un entorno SIG

El análisis multicriterio incluye varios módulos específicos que cubren los requerimientos requeridos para llevar a cabo el análisis de criterios y objetivos múltiples, siendo así una valiosa herramienta para la toma de decisiones en aquellos casos en que existen varias alternativas o posibilidades (Gómez, 2005, citado en Ibarra, 2012)

El análisis multicriterio puede definirse como un conjunto de técnicas orientadas a asistir en los procesos de toma de decisiones. El fin básico de estas técnicas es investigar un número de alternativas bajo la luz de múltiples criterios y objetos de conflicto. La toma de decisiones multicriterio se puede entender como un mundo de conceptos, aproximaciones, modelos y métodos, para auxiliar a los centros decisores a describir, evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar objetos, con base a una evaluación de acuerdo a varios criterios (Gómez, 2005; Ibarra, 2012).

“De acuerdo con Barredo (1996), existen varios componentes dentro del análisis multicriterio, siendo las principales: objetivos, criterios (factores y restricciones), regla de decisión, funciones y evaluación. A continuación se detallan:

- **Objetivo:** Puede entenderse como una función a desarrollar. El objetivo indica la estructuración de la regla de decisión o el tipo de regla de decisión a utilizar. Los objetivos pueden ser múltiples en determinados problemas de planificación, decisión o localización/asignación de actividades, con lo cual se puede plantear una decisión multiobjetivo

- **Criterios:** Son aquellos que conforman la base para la toma de una decisión, la cual puede ser medida y evaluada. Puede ser de dos tipos; factores y restricciones.
- **Factor:** Es un criterio que mejora o reduce la capacidad de una alternativa específica para la actividad en consideración.
- **Restricción:** Es un criterio que limita la disponibilidad de algunas alternativas según la actividad evaluada.

1.5.3 Enfoques en la Teoría de Decisión

La evaluación multicriterio se sitúa en el ámbito de la teoría de la decisión, dicha teoría puede orientarse en dos direcciones: la positiva (descriptiva) y la normativa (prescriptiva). La primera concierne principalmente al campo de la lógica, la Psicología y la Sociología, basando su enfoque en la elaboración de una serie de construcciones teóricas y articulaciones lógicas que pretenden explicar y predecir el comportamiento de los agentes decisores reales (Romero,1993). Es decir, se centra en especificar las razones por las cuales las decisiones son tomadas de un medio determinado.

Por otro lado, el enfoque normativo o descriptivo comienza por definirse la racionalidad de los agentes económicos en base a una serie de supuestos justificables intuitivamente, seguidamente se realizan una serie de operaciones lógicas para deducir el comportamiento óptimo de los agentes decisores como aquel que es compatible con la racionalidad previamente establecida.

1.6 CONJUNTOS URBANOS

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

Entre los elementos más importantes en la composición, definición y delimitación de una zona metropolitana se encuentran que está formada por una ciudad con una fuerte concentración demográfica (ciudad central o núcleo central) que gradualmente expande su supremacía socioeconómica y política hacia una o varias unidades administrativas (periferia contigua) que se encuentran subordinadas, pues la alta concentración de actividades económicas, laborales y de servicios las hacen dependientes de la primera. También deben tomarse en cuenta las unidades administrativas que por su carácter estratégico forman parte de la ZM, la funcionalidad entre la periferia y el núcleo central, así como el volumen de su población.

1.7 APLICACIONES DOCUMENTALES

A continuación se mencionan algunos trabajos relacionados con el estudio de conjuntos habitacionales para tener un acercamiento general con el tema de estudio, además de saber si ya haya trabajos sobre esta temática.

Gutiérrez (2010) plantea la construcción de un modelo de ocupación urbana deseable para el Gran San Miguel de Tucumán (GSMT) en el período 2001-2009 y comparar los resultados con el crecimiento real en dicho período, evaluando diferentes escenarios de crecimiento urbano deseable para el período en estudio, bajo criterios económicos, sociales y ambientales

Este trabajo se basó en la combinación de técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC) y Sistemas de Información Geográfica (SIG) para obtener un modelo de ocupación urbana. Se partió de mapas urbanos de 2001 y 2009 y de una serie de posibles factores explicativos del crecimiento urbano aplicando el Método de Jerarquías Analíticas y Sumatoria Lineal Ponderada para obtener mapas de aptitud para uso urbano.

Como conclusión de este trabajo, se hace un análisis de las zonas que han crecido y el escenario en el cual deberían estar, mostrando la realidad del crecimiento urbano, aunque cabe mencionar que esta investigación se da de manera general al crecimiento urbano y no a conjuntos habitacionales específicamente.

Melgarejo (2007) realizó una sistematización de las distintas variables territoriales que condicionan la ocupación del suelo y con las herramientas propias de los S.I.G, se determinaron zonas donde se localizaron aquellos suelos potencialmente más aptos para acoger nuevos crecimientos urbanos, y que serán los que con mayor probabilidad se desarrollen en el futuro

Se empleó el método de Evaluación Multicriterio pretendiendo obtener mapas que mostraran la aptitud del suelo para ser urbanizado. La variación en la asignación de los pesos mediante la comparación por pares de variables hizo posible la generación de diferentes modelos de urbanización que fueron posteriormente estudiados y comparados. Aunque no se focaliza en los conjuntos habitacionales

Arango (2013) hace una descripción del crecimiento urbano basado en la demanda de vivienda tomando como una solución a los conjuntos habitacionales de grandes dimensiones dirigidos por empresas privadas, menciona que entre más lejos, más barato el suelo, más casas construidas y más clientes, la expansión de la ciudad se ha privatizado

El trabajo se enfoca en la periferia conurbada de la ciudad de México, escenario de los procesos actuales más dinámicos del espacio metropolitano, son también las áreas con menor inversión en infraestructura y servicios urbanos.

Este trabajo es una descripción de la evolución del crecimiento urbano por medio de los conjuntos habitacionales, no aplica una metodología en concreto.

También se retoma el trabajo realizado por Pedrotti (2013), es este busca explicar los vínculos entre las condiciones de producción del espacio establecidas en la política habitacional reciente en México (desde sus enunciados, hasta su operación local) y la calidad residencial de los espacios producidos.

El referente espacial es la Zona Metropolitana de Toluca (ZMT), y los conjuntos urbanos autorizados en el periodo 2001- 2011 son la unidad de análisis.

1.8 CARACTERIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

La Zona Metropolitana del Valle de Toluca se encuentra ubicada en la región centro del país, es parte de la megalópolis que se forma alrededor de la Zona Metropolitana del Valle de México, situación que marca una posición privilegiada y estratégica al articular los ejes de desarrollo del corredor Golfo-Pacífico y el denominado eje del Tratado de Libre Comercio con América del Norte, permitiéndole tener una ventaja locacional respecto al resto de metrópolis en la región centro del país.

En las últimas décadas, la economía del país ha producido cambios en la estructura de las ciudades y áreas metropolitanas a través de su industrialización o tercerización de sus actividades, lo que las ha convertido, a su vez, en espacios atractivos para el desarrollo. El fenómeno de conurbación iniciado hace varias décadas, ha llevado a las ciudades a constituirse en nuevas formas de continuidad física y a adoptar nuevos patrones de funcionamiento entre las entidades que componen estas conurbaciones. (GEM,2012)

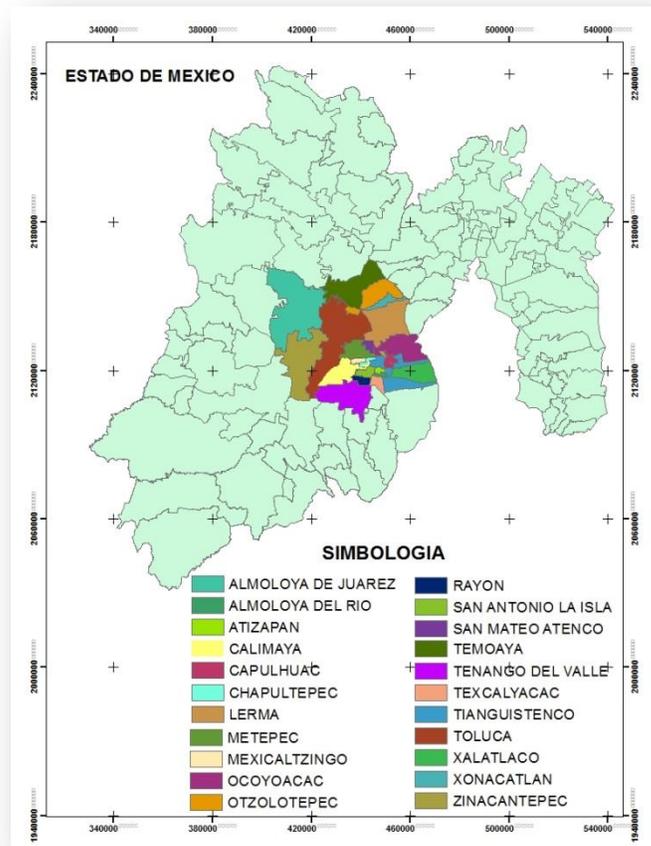
En los años ochenta, la ZMVT encabezada por el corredor Toluca- Lerma, inició su consolidación como metrópoli económicamente semidiversificada, desarrollando un amplio sector secundario; para la siguiente década pasó a una segunda etapa, consolidando su sector terciario y alcanzando tasas de crecimiento semejantes en los dos sectores, distinguiéndose de las otras regiones del valle y del país donde no existió ese balance. Este efecto se extendió a los municipios de la periferia aumentando la influencia de la ZMVT (GEM, 2005). La ZMVT ha representado el mayor dinamismo demográfico en las últimas décadas y aumentado 439 mil 51 habitantes en los últimos 10 años.

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.

Al interior de las regiones mencionadas, el comportamiento de la dinámica demográfica es también diferido, tanto en distribución poblacional como en su dinámica demográfica. A continuación se mencionan los 22 municipios que integran la ZMVT

Toluca, Metepec, Zinacantepec, Almoloya de Juárez, Lerma, Temoaya, Tenango del Valle, San Mateo Atenco, Tianguistenco, Oztolotepec, Ocoyoacac, Xonacatlan, Calimaya, Capulhuac, Xalatlaco, San Antonio la Isla, Mexicaltzingo, Almoloya del Río, Rayón, Atizapán, Chapultepec, Texcalyacac (Ver Figura 1).

Figura 1. Localización de la zona de estudio



Elaboración propia

Ésta tiene como lugar central al municipio de Toluca, mismo que adquiere importancia no sólo como centro económico y político, sino por el número de habitantes, alcanza para 2010, a 819 mil 561 habitantes, concentrando 37.7% de la población total de la ZMVT. A manera de comparación, esta población es similar a la suma de los siguientes seis municipios más poblados de la zona: Metepec, Zinacantepec, Almoloya de Juárez, Lerma, Temoaya y Oztolotepec, juntos suman 38.3% de la población total de la zona (GEM,2010).

Uno de los aspectos por los cuales se ha favorecido el incremento de la población se debe principalmente a la implementación de conjuntos urbanos, como se puede ver en la página oficial del Estado de México, se puede observar que a partir de 1999 se ha autorizado la creación de conjuntos urbanos en las periferias del municipio de Toluca.

Los conjuntos urbanos en el estado se han producido en su gran mayoría en los municipios de las dos zonas metropolitanas que éste alberga, la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) y la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT), reportando volúmenes de producción considerables. Con esto, se convirtió en el espacio residencial más recurrente para buena parte de los hogares jóvenes asalariados que componen la población urbana mexiquense, toda vez que, en la adquisición de una vivienda, la familia no sólo está obteniendo el acceso a este bien, sino al lugar residencial que conlleva (entorno físico y social).

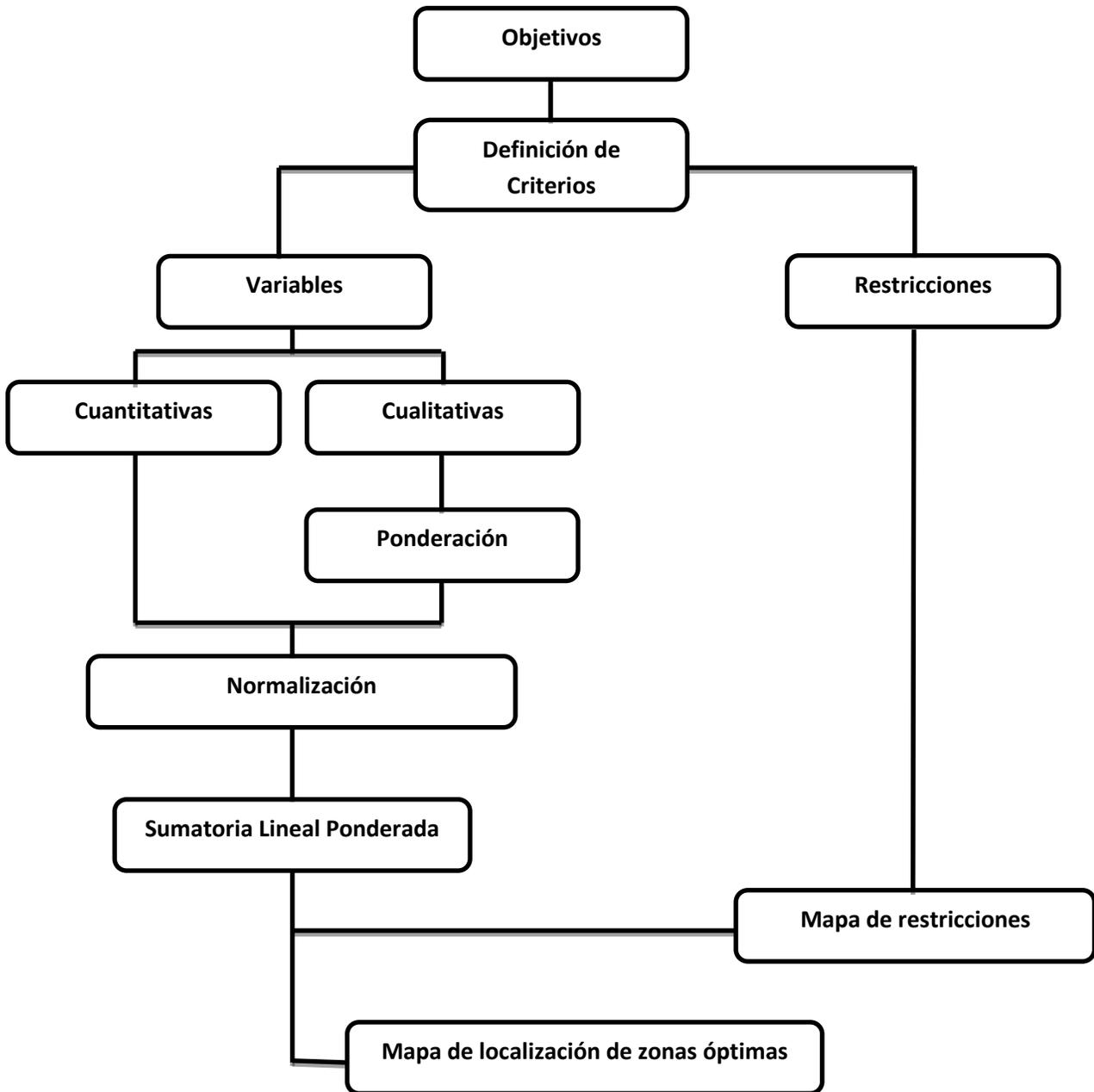
En su expresión material, los conjuntos urbanos responden de algún modo a la tipología del conjunto habitacional, incorporando una gran cantidad de unidades de vivienda unifamiliar, en modelos idénticos y contiguos¹⁵¹; contienen además obras de urbanización (infraestructura), y equipamiento colectivo –particularmente recreativo y de educación básica, que es el exigido en el marco normativo-; por su tamaño y densidad, pueden equivaler entonces a la conformación territorial de una ciudad, “aunque planeada como un fraccionamiento”, (Esquivel *et.al.*, 2005), ya que su producción se rige por una serie de normas que obligan al desarrollador a construir las obras, proveer los servicios, edificar y abastecer de mobiliario el equipamiento

Con base en el artículo grandes conjuntos habitacionales podemos observar que se han autorizado 73 conjuntos habitacionales en la zona metropolitana del Valle de Toluca correspondiendo a un total de 107266 viviendas construidas en el periodo 2001-2011.

CAPITULO 2. METODOLOGÍA

Este capítulo detalla el proceso que se siguió para la obtener las zonas óptimas para la construcción de futuros conjuntos habitacionales en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca.

Figura 2. Pasos metodológicos



Elaboración propia

2.1 INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

Esta parte corresponde a la información relacionada con el método de evaluación multicriterio, el cual ya se describió anteriormente así como se mencionaron algunas investigaciones realizadas con el método.

Esta investigación se basa en los conjuntos urbanos, de igual manera, ya se describió en la zona de estudio la definición de conjunto urbano, así como su evolución en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca.

2.2 INVESTIGACIÓN CARTOGRÁFICA

La cartografía de la zona de estudio principalmente fue procesada y acotada para la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, para el caso de estudio se obtuvo información cartográfica de los siguientes medios:

- **Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI):** INEGI es un instituto que ofrece cartografía a nivel nacional, estatal y municipal, se puede descargar archivos en formatos vectorial, para este caso de estudio se tomaron en cuenta las siguientes variables:
 - - ✓ Edafología
 - ✓ Geología
 - ✓ Cuerpos de agua
 - ✓ Hidrología
 - ✓ Usos del suelo
 - ✓ Vías de comunicación
 - ✓ Áreas naturales protegidas.
 - ✓ Agebs
- **Catastro:** se obtuvieron los conjuntos urbanos autorizados a partir de 1999, esta información está disponible en la página oficial, aunque presenta una limitante, que es la digitalización de la información.
- **CONABIO:** La CONABIO ofrece en su portal virtual, información digital que está disponible al público, en diferentes escalas y sistemas de referencia, es este caso se descargaron las curvas de nivel escala 1:250 000.

2.3 DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES

Las variables que fueron utilizadas para la evaluación de esta investigación fueron las siguientes:

Uso del suelo: En función de las actividades que se realiza en el suelo, en su caso es la ocupación del suelo (uso del suelo, el plan Regional de Desarrollo Urbano dice que no pueden poblarse suelos destinados a la conserva forestal, alto valor agrícola y pecuario así como recarga de acuíferos, zonas ya urbanizadas, áreas naturales protegidas, entre otras más.

Pendiente: Se clasificó de acuerdo a los grados que son óptimos para la construcción de obras.

Edafología: La zona metropolitana del Valle de Toluca está conformado por suelos de tipo Feozem, regosol, Acrisol, cambisol, luvisol, Fluvisol, planosol, Andosol e histosol, los cuales fueron clasificados de acuerdo a su aptitud basado en el estudio realizado por el Instituto Nacional de Estadística, Geográfica e Informática.

Distancia a las vías de acceso: Actualmente una de las necesidades que se tiene al adquirir una vivienda es estar cerca de una vía de acceso en buenas condiciones y cerca de los centros urbanos, para evitar la pérdida de tiempo en recorridos, en esencia hay mezcla y falta de ligas entre vialidades regionales y primarias y una doble función de ambas, por esta razón se retoma la distancia a las vías de acceso, considerando aquellas que están pavimentadas.

Pozos de agua: Se retoma esta capa ya que se considera el abastecimiento de agua mediante los pozos de agua aunque es necesario mencionar que existe sobreexplotación de la línea de pozos que corre a lo largo del Río Lerma para suministrar agua al Distrito Federal, desde hace más de 40 años ha provocado que los niveles de los grandes lagos y mantos acuíferos del Alto Lerma hayan disminuido considerablemente, con el consecuente deterioro de la zona (baja productividad agrícola).

Distancia a corrientes de agua: De acuerdo al Plan regional de desarrollo urbano del Valle de Toluca (2005), Menciona que en la región existen importantes escurrimientos naturales que pueden ser susceptibles de aprovechamiento, estos escurrimientos, provenientes del Nevado de Toluca, son contaminados al mezclarse con el drenaje urbano; causando inundaciones en época de lluvia en la Ciudad de Toluca, y desaprovechándose un gran potencial de recurso hidráulico para la población de la

región, ya que se carece de infraestructura suficiente para la captación y almacenamiento de estos escurrimientos. Debido a esto se toma la distancia de las corrientes de agua (lejanía).

Zonas de inundación: Respecto a la ocupación del territorio, el Plan Regional de Desarrollo Urbano menciona que es necesario evitar la ocupación de áreas susceptibles de inundarse y con riesgos físicos, es por esto que se retoma esta capa de información

Establecimiento de conjuntos urbanos: Los usos no urbanizables previstos en el Plan Regional de Desarrollo Urbano del Valle de Toluca son aquellos fuera del límite de las áreas urbanas y urbanizables, y excluyen así mismo las zonas y/o polígonos sujetos de actuación especial o Proyectos definidos como estratégicos Es por esta razón que se retoma principalmente la distancia o cercanía a las áreas urbanas.

Además de usó la información publicada por Catastro, de la cual se obtuvieron los conjuntos habitacionales, las villas y los fraccionamientos de la zona de estudio.

Áreas Naturales Protegidas: se determinan áreas de restricción las áreas naturales protegidas: al oriente el Parque Nacional Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla y el Parque Estatal Otomí Mexica; al sur el Parque Nacional Nevado de Toluca y los Parques Estatales Hermenegildo Galeana, Nahuatlaca - Matlazinca y Lagunas de Zempoala y al centro el Parque Estatal Sierra Morelos

Fallas, fracturas y minas: Los usos del suelo especiales de carácter regional podrán edificarse cuando las áreas no correspondan a las que por su propia naturaleza no pueden ser objeto de acciones de urbanización, es aquí donde se retoman las fallas o fracturas en donde se dice que dentro de su estratificación geológica o que contengan galerías o túneles provenientes de laboreos mineros agotados o abandonados no podrán rehabilitarse ni habitarse.

2.4 FACTORES Y RESTRICCIONES

“...El método de Evaluación Mutlicriterio (EMC/MO) puede definirse como un conjunto de técnicas orientadas a la asistencia en los procesos de toma de decisiones con el propósito básico de investigar alternativas bajo la luz de múltiples criterios y objetivos; se puede entender como un mundo de conceptos y aproximaciones a partir de la elaboración de modelos , para auxiliar a los centros decisores a describir, evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar objetivos con base en una evaluación expresada por puntuaciones, valores o intensidades, de preferencia, de acuerdo con diversos juicios...” (Gómez y Barredo, 2005, citado en Campos Vargas, *et. al*, 2013).

Martínez (2013) dice que “...la evaluación Multicriterio, entendida esta como un proceso lógico, tiene un objetivo, el cual es generar una capa de información que muestra una zonificación o zonificación del espacio estudiado con una puntuación asignada a cada área o área del territorio en función de su capacidad para acoger usos principalmente urbanizables (Galcho y Ocaña, 2006)...”

Para generar la capa de información y que contenga los valores mencionados, es necesario utilizar una serie de factores y restricciones los cuales son los siguientes:

2.4.1 Criterios

Con base en la información recabada se tomaron seis criterios (ver cuadro 1), los cuales son las condiciones que deben de cumplir los conjuntos habitacionales para que se encuentren en óptimas condiciones físicas y sociales.

Cuadro 1. Descripción de los criterios

Criterio	Descripción
Edafología	Se clasificó de acuerdo a la aptitud del suelo, siendo los suelos feozem los más óptimos para la construcción de los conjuntos habitacionales.
Geología	De este factor se pretende obtener las partes de la zona de estudio que muestren la dureza y la capacidad litológica para soportar la carga aplicada en la zona.
Pendiente	La pendiente nos proporciona las zonas óptimas para la acentuación de los conjuntos urbanos, en donde las zonas adecuadas son las

	pendientes que tienen de 0°-20°.
Pozos de agua	Se consideran los pozos de agua como una adecuación, buscando colocar lo conjuntos urbanos cerca de los pozos de agua, aunque esto no es una garantía pues la sobreexplotación de la línea de pozos que corre a lo largo del Río Lerma para suministrar agua al Distrito Federal, desde hace más de 40 años ha provocado que los niveles de los grandes lagos y mantos acuíferos del Alto Lerma hayan disminuido considerablemente provocando que la población de Lerma no aproveche este recurso. Es por esto que esta capa sea considerada la de mayor importancia.
Uso del suelo	Esto permite saber por qué superficies se encuentra ocupado el suelo, y de ellos cuales son más óptimos, aquí se retoma lo que menciona el plan regional de desarrollo urbano, menciona que no se debe construir en espacios destinados a la protección forestal, de alto valor agrícola, ni en zonas inundables, así como en patrimonio cultural, entre otras más.
Accesibilidad a vías de acceso	Es importante tener accesibilidad a las vías de acceso, lo cual permitirá estar cerca de las zonas con servicios, de acuerdo al plan regional de desarrollo urbano dice que los conjuntos urbanos deben edificarse a 50 metros de las vías de comunicación, para el caso de estudio se tomó una cercanía de 100 metros.
Cercanía a las zonas urbanas	Para que un conjunto urbano cuente con servicios y equipamiento es necesario que se encuentre cerca los centros urbanos, ya que así se minimizan costos, se ahorra tiempo y se tiene equipamiento.

Elaboración propia

2.4.2. Restricciones

De igual manera se determinaron las restricciones que son aquellas condiciones que restringen las áreas donde no se deben de asentar los conjuntos urbanos, para este caso de estudio se tomaron en cuenta los siguientes (ver cuadro 2).

Cuadro 2. Descripción de las restricciones

Restricción	Descripción
Áreas Naturales Protegidas	Se consideran como Áreas no urbanizables (no aptas al desarrollo urbano) aquellas zonas que comprenden las áreas naturales protegidas (parques nacionales y estatales), los Corredores Ecológicos y Santuarios del Agua, las áreas de rescate ecológico y valor ambiental y de alta productividad agropecuaria.
Cuerpos de Agua	Tratándose de bordos y cuerpos de agua, se dejará una franja perimetral de amortiguamiento de 50 metros (Plan Estatal de desarrollo urbano), en este caso solo se tomaron las ANP como restricción son aplicar el valor de distancia
Minas	Se toma una distancia de 10 ⁰ metros alejados de las minas ya que pueden contener túneles o desprendimientos de materiales entre otras mas, representando un peligro para las viviendas que se encuentren cerca de estas.
Corrientes de agua	<p>El plan Estatal de Desarrollo urbano del Estado de México dice que la zona federal de cauces naturales de escurrimiento (ríos o arroyos) se mantendrá libre de construcciones para fines habitacionales, comerciales o de servicios y se evitará su uso como vialidad vehicular de tráfico continuo.</p> <p>La zona federal de cauces naturales de escurrimiento, es la franja de terreno con el ancho que marca la Ley de Aguas Nacionales (10 metros) en ambos márgenes, medido a partir del Nivel de Aguas Máximas Ordinarias (NAMO), para el caso</p>

	de estudio se optó por restringir los escurrimientos con 100 metros, debido a que la delimitación depende de los niveles máximos de esorrentía.
Fracturas	Dentro de la estratificación geológica principalmente fallas y fracturas }, no se podrá habitar, para este caso se opto por dejar 100 metros de las fallas y fracturas.
Zonas urbanas	Las zonas urbanas son consideradas una restricción ya que son espacios enmarcados como no urbanizables a menos que se demuestre a través de un plan parcial que las condiciones son favorables para las futuras construcciones, aunque en el caso de estudio no se tomaron en cuenta puesto que es necesario que en el resultado final se observen las áreas óptimas para poder realizar el análisis al sobreponer la capa de conjuntos habitacionales y así poder observar si los conjuntos urbanos se encuentran correctamente ubicados, esto sin olvidar que la presente investigación es una aproximación a la realidad.
Zonas de inundación	El Plan Regional de Desarrollo Urbano menciona que las zonas de inundación no son aptas para ser habitadas

Elaboración propia

2.5 NORMALIZACIÓN DE LOS FACTORES

La siguiente fase de la metodología es la estandarización de los criterios, en donde se llevó a cabo la ponderación de los pesos de las variables de adecuación, esto se refiere a la transformación de los valores de cada uno de los factores a unidades que puedan ser comparables entre sí.

La normalización indica que las variables deben tener la misma escala de medida, para esto, las variable fueron procesadas con el software ARCGIS, se transformaron a formato

raster con el mismo número de columnas y renglones así como la misma resolución espacial, esto tuvo como finalidad el poder procesar los datos en el software IDRISI SELVA.

Para normalizar los valores se aplicó la herramienta de límites difusos, la cual permite procesar las capas de información a una escala byte de 0 a 255, dando un conjunto de valores graduales. De acuerdo con Martínez (2013) los números FUZZY son estados de una variable lingüística representados por conceptos como “muy buena”, “buena”, “mediana” y “baja” productividad.

El proceso se hizo de la siguiente manera para cada uno de los factores:

Para normalizar las capas nominales (cualitativas) se usó el método de Satty, el cual consiste en asignarle un peso a las características de la capa, esto se hizo de acuerdo a su grado de importancia.

2.5.1 Edafología:

Los tipos de suelo se clasificaron de acuerdo a su aptitud, el tipo de suelo más óptimo son el feozem y el regosol, esta clasificación fue retomada del estudio realizado por el INEGI (Ver Cuadro 3).

Cuadro 3. Clasificación de los tipos de suelo

Reclasificación de los tipos de suelo	identificador	aptitud
Feozem, regosol	1	alta
Acrisol, cambisol, luvisol,	2	media
Fluvisol, planosol	3	baja
Andosol, cuerpo de agua, histosol	4	No apto

Elaboración propia

Al tener la reclasificación se utilizó la matriz de comparación por pares de Satty, la cual es un procedimiento de comparación de las características del criterio, en este caso de la edafología (Ver Figura 3).

Figura 3. Comparación por pares

	C:\capas_zmvt	C:\capas_zmvt	C:\capas_zmvt	C:\capas_zmvt
C:\capas_zmvt	1			
C:\capas_zmvt	1/3	1		
C:\capas_zmvt	1/5	1/2	1	
C:\capas_zmvt	1/9	1/6	1/4	1

Elaboración: obtenido de Idrisi selva

Así se crea una matriz que compara el grado de importancia con las demás características, dando un valor cuantitativo de la consistencia de los juicios de valor. Por lo tanto, el resultado es una matriz de comparación de las características de la variable (ver cuadro 4).

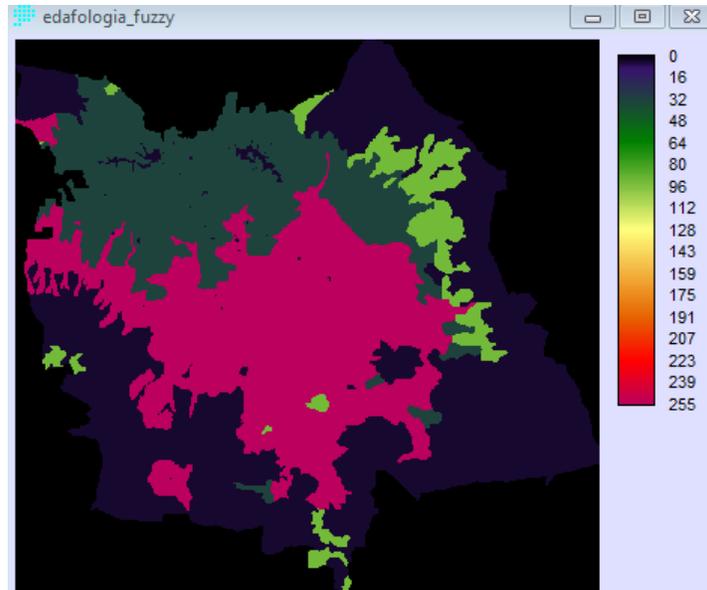
Cuadro 4. Pesos de la capa de edafología

Tipo de suelo	Peso
Feozem, regosol	0.5822
Acrisol, cambisol, luvisol,	0.2381
Fluvisol, planosol	0.1348
Andosol, cuerpo de agua, histosol	0.0449

Elaboración propia

Posteriormente con los pesos resultantes de la matriz de comparación de Satty, se normalizo la variable, dando como resultado la variable de edafología en escala byte. (Ver figura 4).

Figura 4. Normalización de la capa edafología



Elaboración propia

2.5.2 Pendiente

El rango utilizado para el modelo es de 0° a 20° (ver Figura 5), obteniendo como resultado las zonas optimas las cuales están representadas de colores oscuros y con valores cercanos al 0. (Ver figura 6), en donde las zonas óptimas son áreas planas o con pendientes suaves.

Figura 5. Módulo Fuzzy

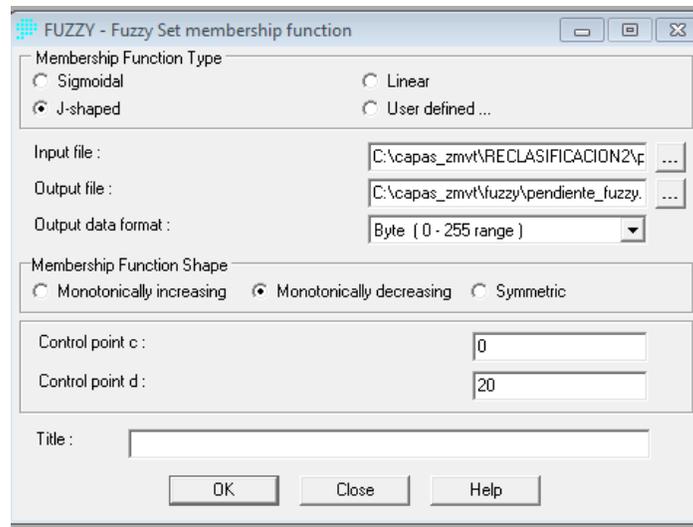
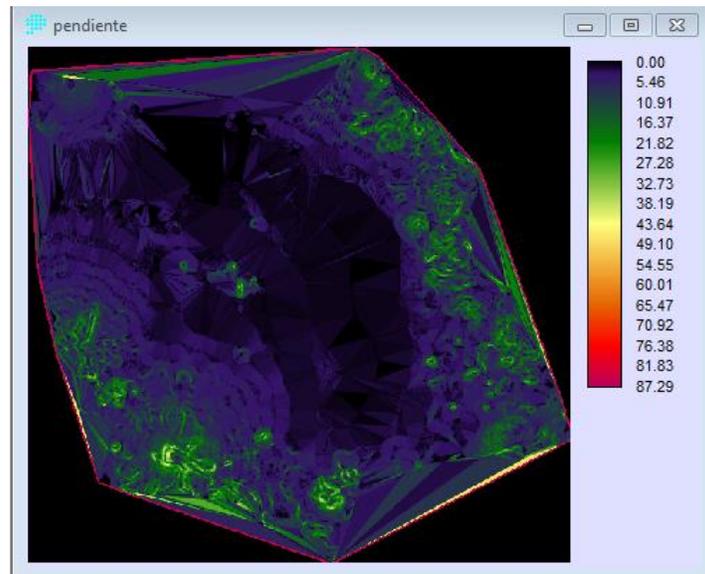


Figura 6. Capa de pendiente ponderada

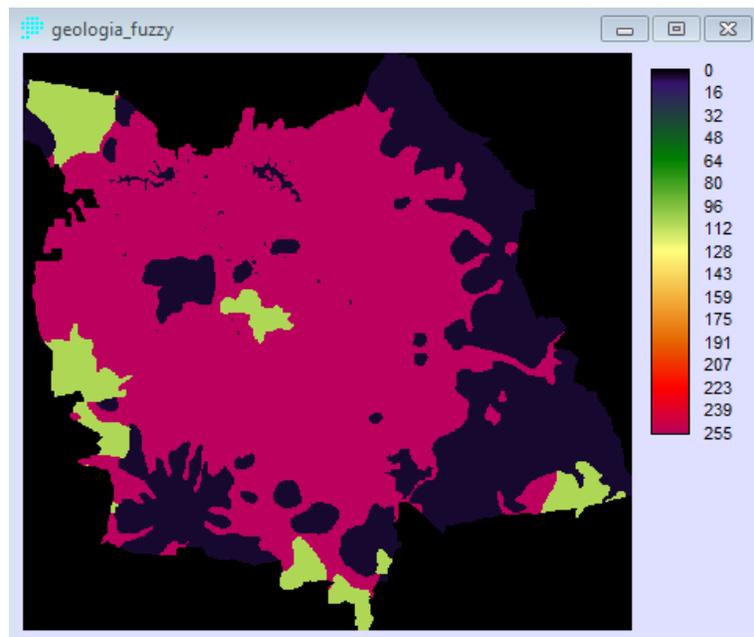


Elaboración propia

2.5.3 Litología:

Esta capa fue procesada para obtener los sitios que cuentan con la dureza para soportar las construcciones, como se puede ver en la figura 7, se observa que las zonas optimas son aquellas que tienen el valor 255 que se identifican en tonos magentas.

Figura 7. Normalización de la capa de geología

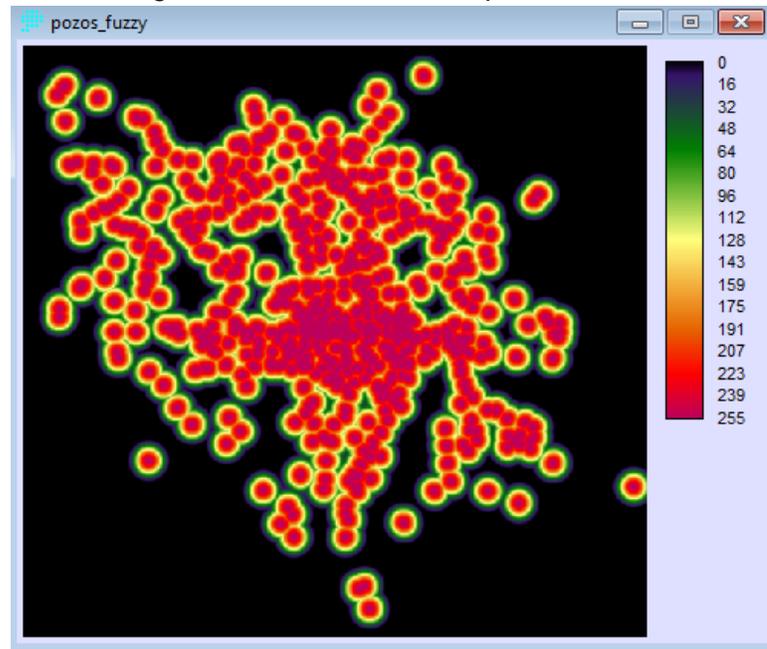


Elaboración propia

2.5.4 Pozos de agua

Dentro de las cualidades que se busca al adquirir una vivienda, es que cuente con todos los servicios, en este caso el agua potable, es por esto que se considera la capa de pozos de agua, principalamenete la distancia a pozos de agua (Ver Figura 8) , aunque esto no es garantia de que se cuente con el servicio de agua potable.

Figura 8. Normalización de pozos

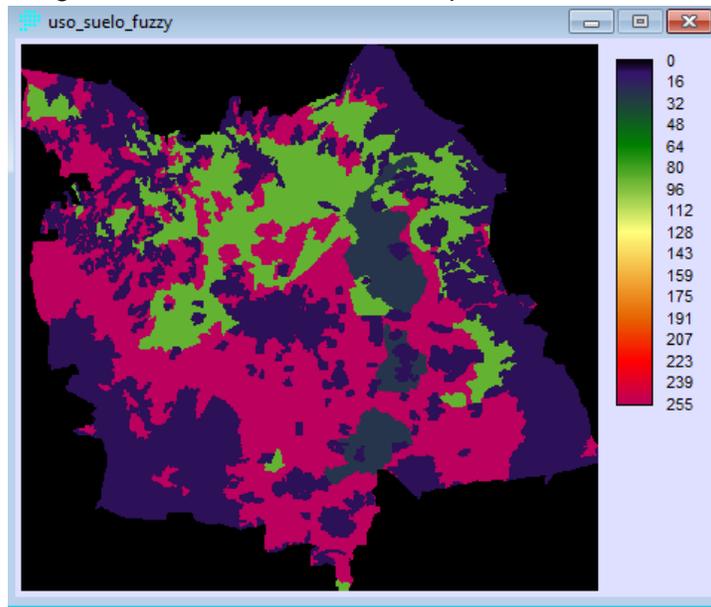


Elaboración propia

2.5.5 Uso del suelo

La zona Metropolitana del Valle de Toluca cuenta con diversos usos del suelo (ocupación del suelo) los cuales fueron reclasificados y normalizados, dando mayor importancia a los usos que están fuera de las áreas urbanas, que no forman parte de ninguna área protegida y que sus usos principales están dados por la agricultura o sin ningún uso (Ver figura 9).

Figura 9. Normalización de la capa de uso del suelo

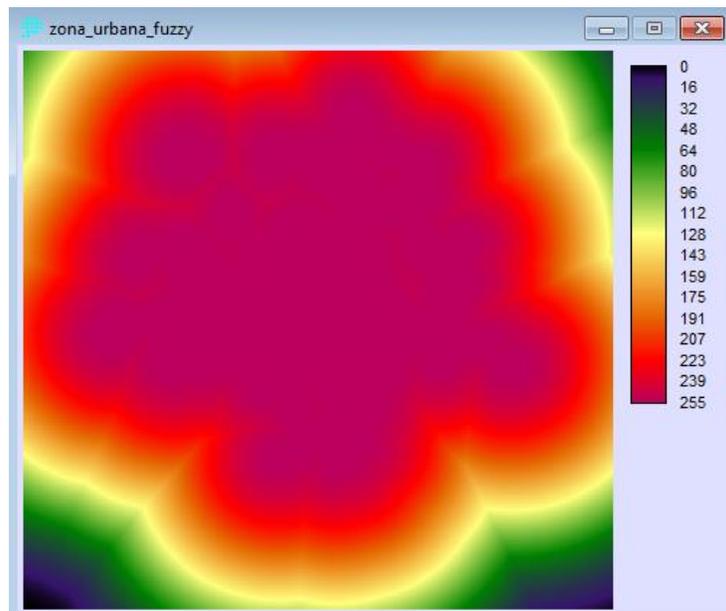


Elaboración propia

2.5.6 Cercanía a vías de acceso

Se tienen en cuenta vías federales, estatales de dos, cuatro y seis carriles, además vías pavimentadas y de terracería, en este caso se dio prioridad solo a las vías que se encuentran pavimentadas (Ver figura 10).

Figura 10. Normalización a las vías de acceso

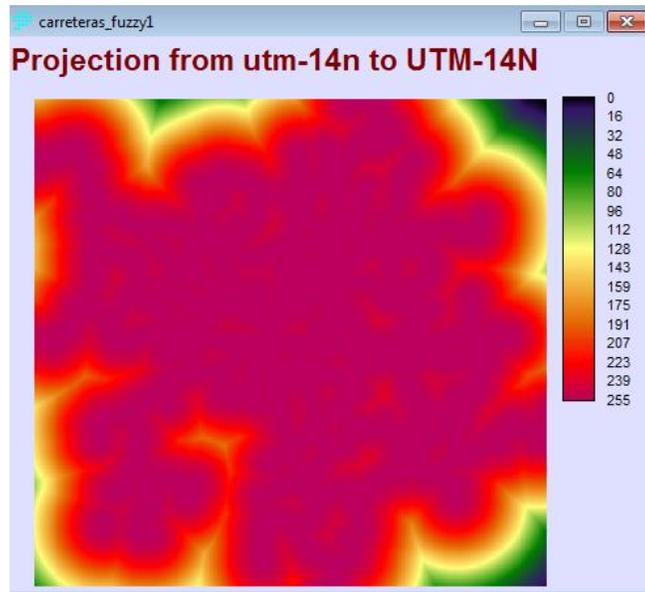


Elaboración propia

2.5.7 Cercanía a las zonas urbanas

Para que un conjunto habitacional tenga la mayor cantidad de servicios es necesario que se encuentre cerca de los centro urbanos, es por esto que se utilizó esta capa dando mayor prioridad a la cercanía de los centros urbanos (ver figura 11).

Figura 11. Normalización a las zonas urbanas

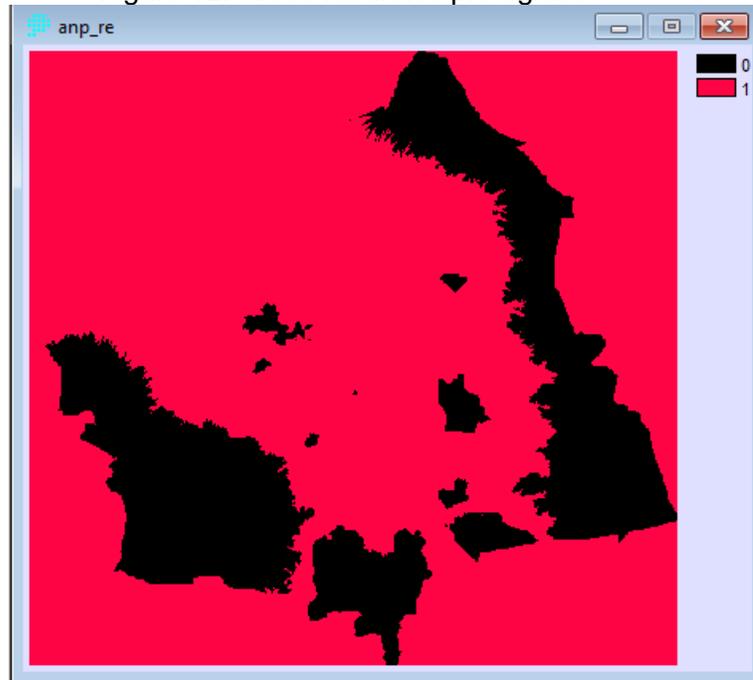


Elaboración propia

2.6 RESTRICCIONES

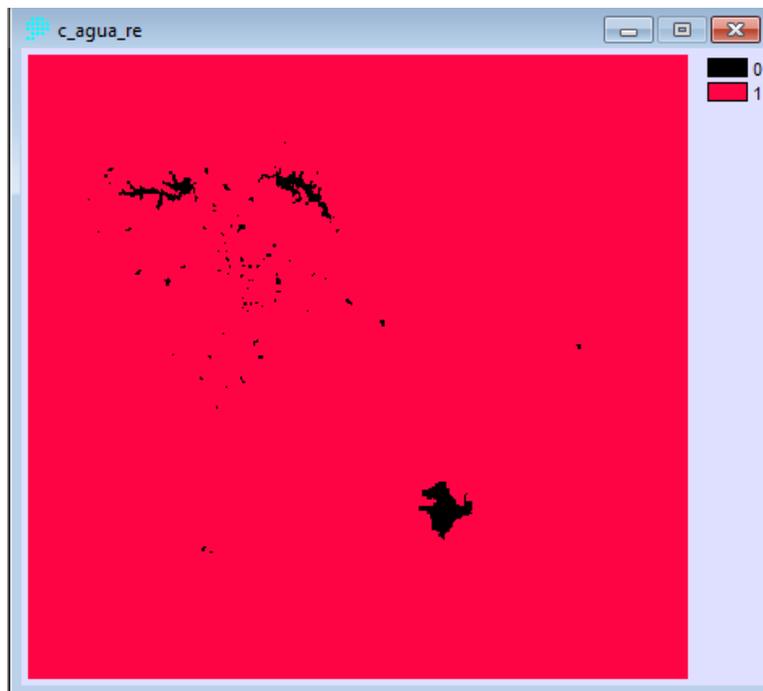
Las restricciones son variables que presentan una lógica booleana, se obtiene una capa con solo dos valores numéricos (binario), 0 y 1, en donde el 1 indica los sitios en los que no se puede construir viviendas, y el valor 0 representa las áreas en las que si se pueden establecer los conjuntos habitacionales (Ver figura 12)

Figura 12. Areas naturales protegidas



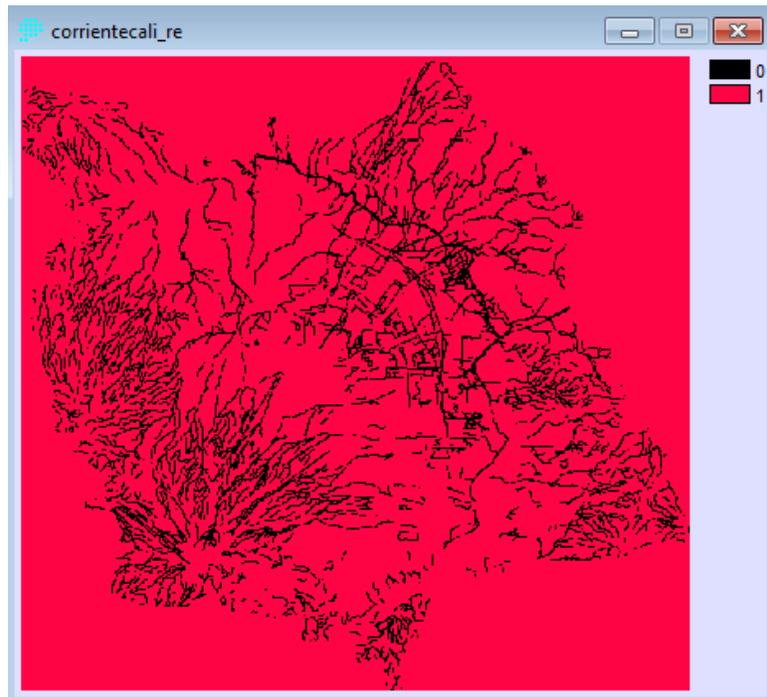
Elaboración propia

Figura 13. Cuerpos de agua



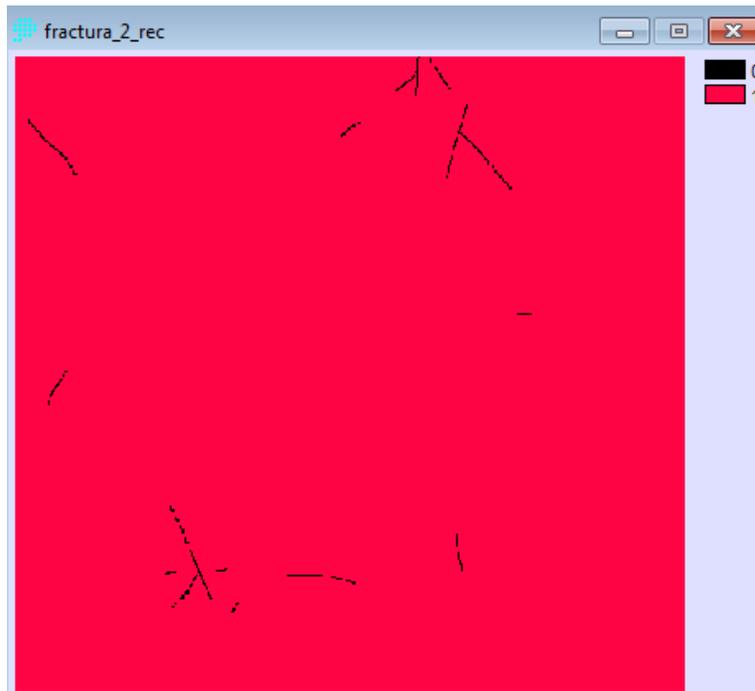
Elaboración propia

Figura14. Corrientes de agua



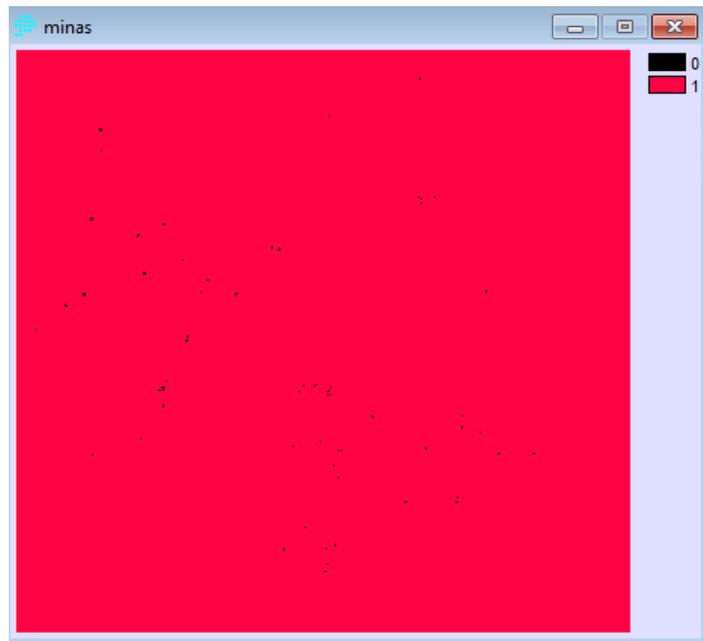
Elaboración propia

Figura 15. Fracturas



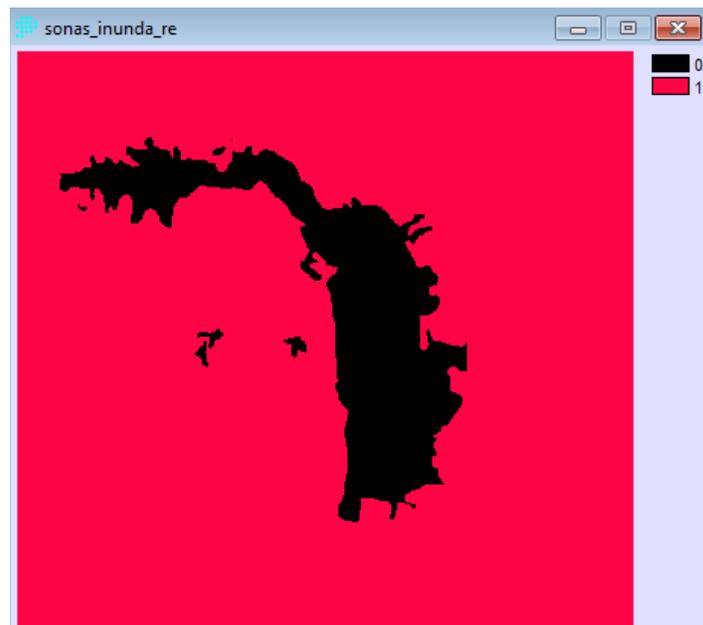
Elaboración propia

Figura 16. Minas



Elaboración propia

Figura 17. Zonas de inundación



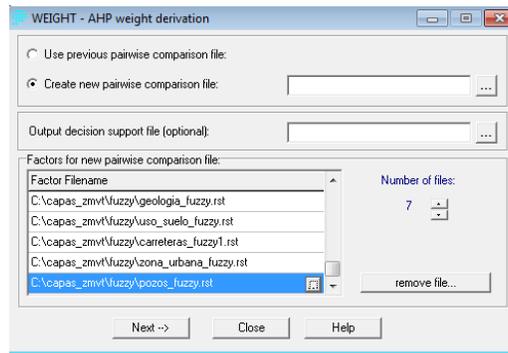
Elaboración propia

2.7 PONDERACIÓN

La ponderación es la asignación de un valor específico a cada criterio de acuerdo a su nivel de importancia, a esto se le llama ponderación o peso.

A continuación se muestra la tabla de la ponderación de los factores (ver figura 18), mediante la comparación de pares de Satty.

Figura 18. Ponderación de los factores



Elaboración propia con base en idrisi selva

Como ya se explicó la comparación por pares de Satty es una comparación por pares de criterios la cual en número de columnas y renglones está definido por el número de criterios a ponderar, aquí se compara cada uno de los criterios respecto a los otros y posteriormente se le asigna un peso de manera cuantitativa que dependiendo el valor representa el grado de importancia, para esto se retoman los juicios de valor de Satty (ver cuadro 5).

Cuadro 5. Juicios de valor

Juicio de valor	Descripción
1/9	Absolutamente menos importante
1/7	Demostablemente menos importante
1/5	Notablemente menos importante
1/3	Ligeramente menos importante
1	Igualmente importante
3	Ligeramente más importante
5	Notablemente más importante
7	Demostablemente más importante
9	Absolutamente más importante

Elaboración propia

Ahora bien, el detalle en la aplicación de la metodología es el orden de importancia de las variables, este se hizo de la siguiente manera (ver cuadro 6), mostrando el orden de importancia y el valor resultante del método de Satty

Cuadro 6. Juicios de valor para las variables.

Id	Criterio	Peso
1	Pendiente	0.4470
2	Edafología	0.2016
3	Geología	0.1081
4	Uso de suelo	0.0861
5	Carreteras	0.0627
6	Zonas urbanas	0.0575
7	Pozos de agua	0.0370

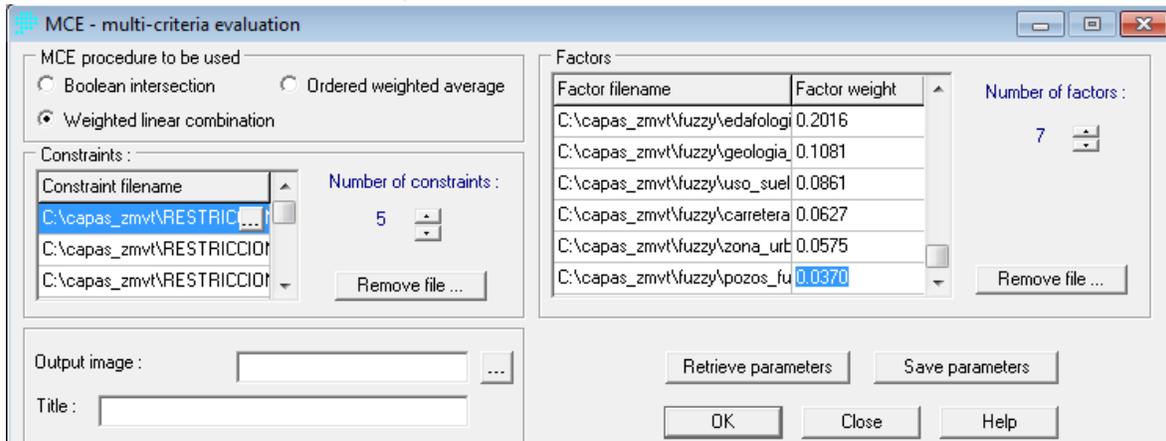
Elaboración propia

La razón de consistencia obtenida fue de 0.02, esto quiere decir que entre más cercano a 0 sea el valor, los coeficientes de ponderación son aceptables.

2.8 APLICACIÓN DEL MÉTODO EVALUACIÓN MULTICRITERIO

El proceso se vio culminado al aplicar el método de la Evaluación Multicriterio (ver figura 19), en donde se agregan las adecuaciones y las restricciones. Esto da como resultado un mapa que muestras las zonas óptimas para la construcción de conjuntos habitacionales en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca.

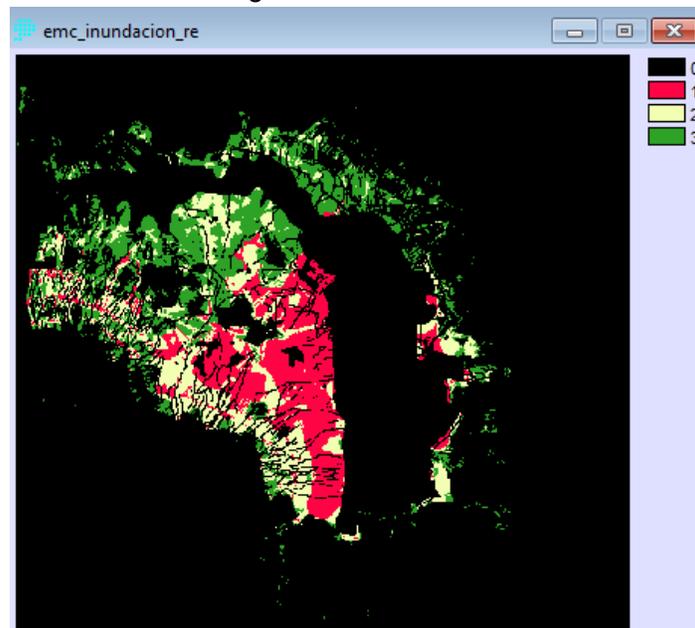
Figura 19. Evaluación multicriterio



Elaboración propia

Se obtiene como resultado una imagen en escala byte, el cual es reclasificado para poder realizar el análisis, este se divide en: aptitud alta (1), aptitud media (2), aptitud baja (3) y no apto (0) (ver figura 20)

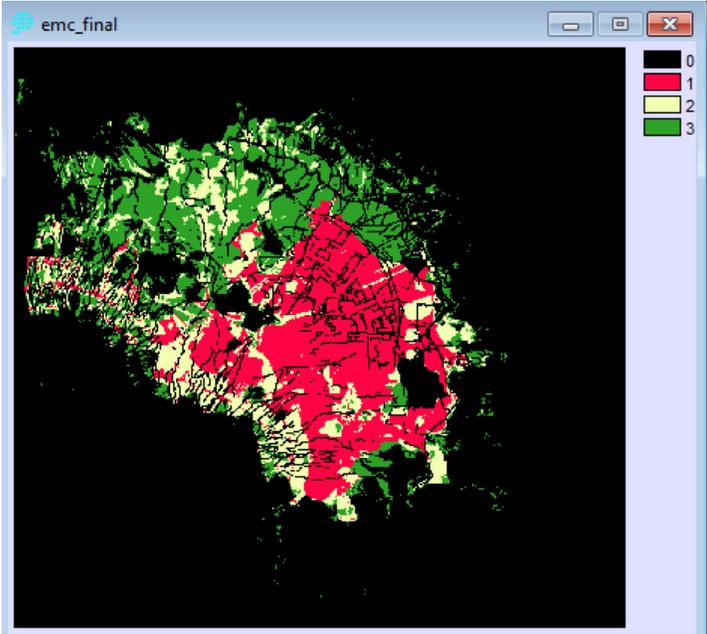
Figura 20. Resultado



Elaboración propia

Para efectos de análisis se quitó la restricción de zonas de inundación, esto permite ver al sobreponer la capa de conjuntos habitacionales ya existentes, cuales se encuentran en peligro considerando que el resultado es una aproximación (ver figura 21).

Figura 21. Resultado sin la capa de inundación

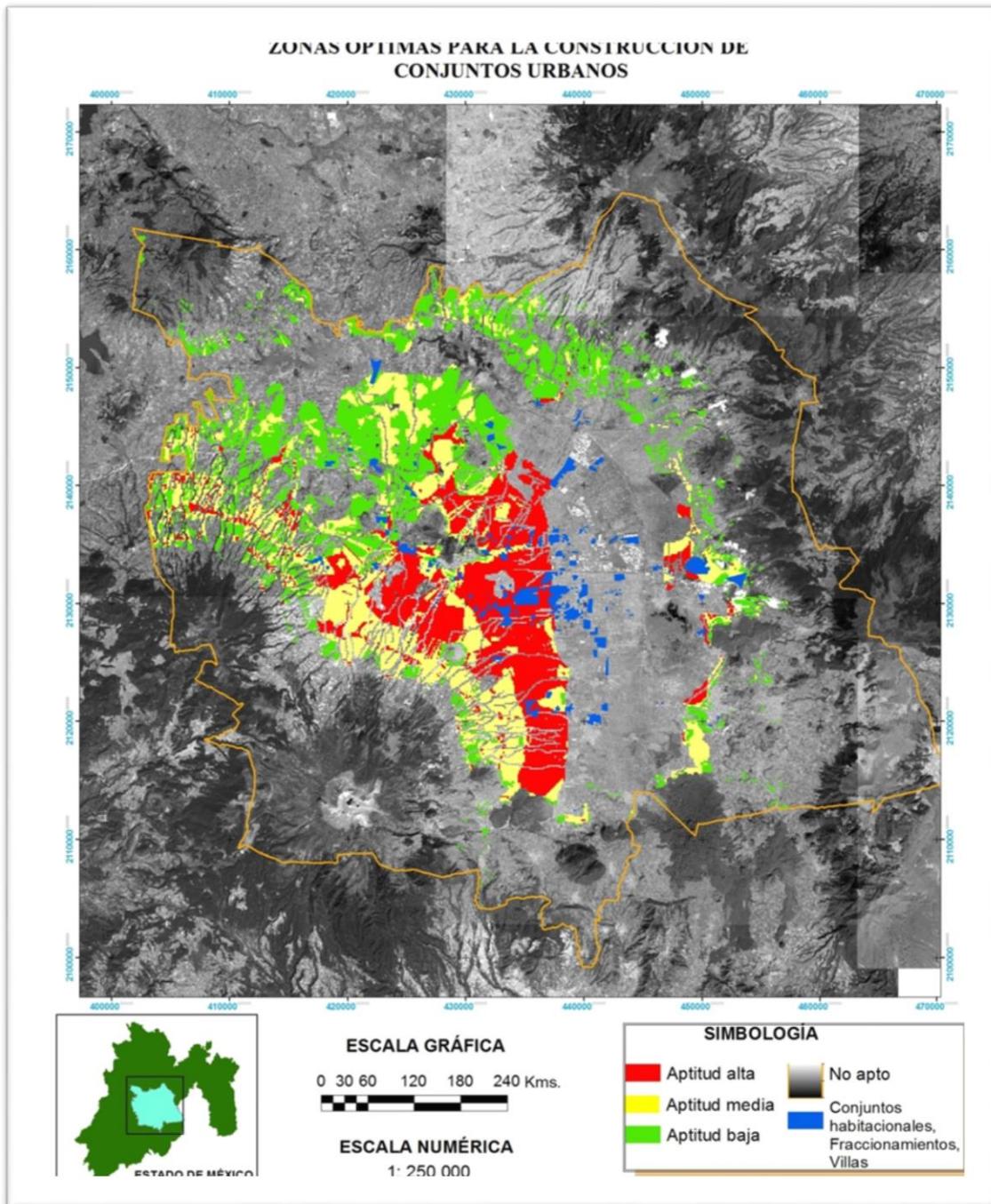


Elaboración propia

CAPÍTULO 3. RESULTADOS

El resultado obtenido en el software de IDRISI es llevado al software ARCMAP para editarlo y así generar el mapa final (ver figura 22).

Figura 22. Mapa final, zonas óptimas para la construcción de conjuntos habitacionales en la ZMVT



Elaboración propia

Se obtuvieron 18371 hectáreas dentro de la aptitud alta, localizándose principalmente en el municipio de Toluca, parte de Metepec y Calimaya.

También se obtuvieron 20418 hectáreas que enmarcan la aptitud media, localizándose en diferentes porciones dentro de los municipios de Almoloya de Juárez, Norte de Zinacantepec, Toluca y Calimaya

Además se identificaron 25448 hectáreas con una aptitud baja, localizadas al norte de la zona Metropolitana del Valle de Toluca, principalmente en los municipios de Almoloya de Juárez y Norte de Toluca.

Al sobreponer la capa de conjuntos habitacionales se obtuvo lo siguiente:

Se encontraron 3629 hectáreas ocupadas por los conjuntos habitacionales, fraccionamientos y villas, (tomado como el 100% de esta capa de información), los cuales al ser sobrepuestos en el resultado dejaron ver lo siguiente:

2531 hectáreas que representan el 69.74%, no caen dentro de ningún polígono con aptitud, lo que quiere decir que probablemente están mal ubicados, estos se encuentran principalmente en las zonas de inundación, algunos de estos cercanos a minas y otras restricciones.

El 30.25% de los conjuntos habitacionales (1098 hectáreas) quedaron sobrepuestos dentro de los siguientes polígonos de aptitud:

58.9 % se encuentran en las zonas aptas para la construcción de este tipo de viviendas, esto quiere decir que de 3629 hectáreas solo 657 están bien ubicadas (considerando que este resultado es una aproximación a la realidad)

24.22% se encuentran dentro de las zonas con una aptitud media (266 hectáreas), lo cual quiere decir que no cumplen en su totalidad con todas las condiciones de adecuación de este estudio

Además 15.75% se encuentran dentro de una aptitud baja, siendo estas las que menos cumplen con las condiciones de adecuación para la construcción de conjuntos habitacionales.

CONCLUSIONES

El análisis multicriterio es una herramienta muy poderosa junto con los Sistemas de Información Geográfica, por esta razón se debe de tener en cuenta el orden de importancia de las variables para que nos de buenos resultados, el orden o capa puede modificar el resultado.

El resultado obtenido permite observar que el 70% de los conjuntos habitacionales considerados para esta investigación se encuentran mal ubicados, pudiendo estar en riesgo de ser afectados por algún fenómeno o falta de servicio.

El resultado muestra que predominan las zonas con aptitud baja para la construcción de conjuntos habitacionales, son pocos los sitios que son aptos para la construcción.

En el caso de los conjuntos habitacionales ya establecidos, aquellos que se encuentran en una buena ubicación no se sabe en qué condiciones se encuentren las viviendas (materiales construidos, costos).

Es importante mencionar que el resultado obtenido es una aproximación a la realidad, más no la realidad en si misma.

La parte complicada del estudio se encuentra en la identificación de variables, ya que existen mucha información pero con limitantes.

La información obtenida estuvo en función de la disponibilidad de ella, por ejemplo, se consideró como una recomendación, incluir la capa de explotación del acuífero pero por cuestiones de tiempo no se consiguió.

Además la asignación de pesos es un proceso complejo.

Este trabajo tuvo la finalidad de mostrar con base en criterios retomados de ciertos autores y de manera personal, como se encuentran asentados actualmente los conjuntos habitacionales de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca,

Los resultados obtenidos pueden ser una herramienta en la toma de decisiones no solo para los que construyen conjuntos habitacionales sino para aquellos que

compran o adquieren una vivienda de este tipo, pues se ha visto que las viviendas mal ubicadas se encuentran expuestas a sufrir daños materiales ocasionados por fenómenos como las inundaciones, temblores, escorrentía de ríos, lluvias atípicas, fracturas del suelo, hundimientos, entre otros más, representando una pérdida en la inversión del patrimonio familiar poniendo en riesgo la vida de mucha gente

También es un aporte a las empresas que construyen este tipo de viviendas, ya que al estar mal ubicados representa una pérdida en la inversión y un gasto innecesario pues se ha visto que hay zonas habitacionales que han sido perjudicadas antes de terminarse de construir y de habitar.

Como se pudo observar gran parte de los conjuntos habitacionales ya construidos se encuentran en la zona de inundación o cercanos a los cuerpos de agua, representando un peligro para los habitantes de esas propiedades.

En lo que respecta a los objetivos de la investigación es necesario mencionar que se cumplieron adecuadamente, mostrando el resultado esperado.

DISCUSIÓN

El realizar una metodología tan variada al considerar diversas variables de diferentes tipos, se pudo notar que no existe una estandarización al descargar información pública, esto conlleva a tener futuros problemas en el procesamiento de las variables o en la compatibilidad de estas.

Además el trabajar con más de un software es un riesgo pues al llevar la información de una programa a otro se pueden alterar y dañar las capas de información

Cabe mencionar que para este caso de estudio se utilizaron más variables físicas que sociales o económicas, lo que puede incidir en que no son consideradas las variables físicas para otorgar permisos de construcción.

Los pozos de agua de la región Lerma se encuentran en una gran presión al ser extraídos para llevar agua al Distrito Federal, es por esta razón la variable pozos no es cien por ciento confiable, para esto falta agregar información sobre la capa de sobre explotación del acuífero para ver en qué grado pudiese afectar esta capa al estudio realizado.

Los conjuntos habitacionales ya construidos, están publicados por medio del IGECM, solo que tiene la limitante de ser documentales digitales y no cuentan con la variable espacial, además en la revisión bibliográfica se pudo percatar que se sigue un procedimiento y hay una normatividad que se tiene que entregar para que se permita construir y se puede notar que no se cumple con esas normas, además las condiciones que piden para realizar construcciones dan mayor prioridad a las variables sociales y económicas que a las variables físicas, lo que acarrea consigo consecuencias en ocasiones irreparables

De manera general se puede decir que la Evaluación Multicriterio es una herramienta óptima para la toma de decisiones y que cumplió ampliamente con los objetivos formulados para este trabajo, el cual puede variar dependiendo de las variables utilizadas.

RECOMENDACIONES

Para realizar un estudio de esta magnitud se debe tener claramente la metodología y procesos a seguir pues puede ser confuso en ciertas fases del proceso.

Tratar de conseguir información que sea de diferentes fuentes de información aunque el proceso de estandarización sea complejo, pues no toda la información pública es de calidad.

BIBLIOGRAFIA

- Arango M. A., (2013). Los conjuntos habitacionales como agente de densificación masiva de periferia en la ciudad de México: Ixtapaluca. Congreso Nacional de Vivienda 2013. Red Geocrítica Internacional Universidad de Barcelona.
- Barredo , J., (1996). “Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio”. Madrid, Editorial RAMA.
- Bocco, G. (1998) Instrumentos para la medición de cambio de cobertura de suelo. En <http://www.oikos.unam.mx/cus/instrumentos.html>
- FAO (2009). Historia de los Sistemas de Información Geográfica.
- Gómez D. M y Barredo C I. (2005) Sistemas de Información Geográfica y Evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. Segunda edición actualizada. Alfaomega Ra-Ma. México.
- Gobierno del Estado de México. (1999). Programa de Manejo del Parque Nacional Nevado de Toluca.
- Gobierno del Estado de México (2005). Plan Estatal de Desarrollo Urbano,
- Gobierno del Estado de México (2012), Consejo Estatal de Población. Zona Metropolitana del Valle de Toluca.
- Gutiérrez A. J., Gómez D. M. y Bosque S. J. (2010): Simulación de crecimiento urbano mediante evaluación multicriterio y TIG en el Gran San Miguel de Tucumán (Argentina). En: Ojeda, J., Pita, M.F. y Vallejo, I. (Eds.), Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Sevilla. Pp. 873-888. ISBN: 978-84-472-1294-1
- Ibarra J. M (2012). Localización de zonas para el crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio y Sistemas de Información Geográfica, en la zona centro del Estado de México. Reporte técnico. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Limón A. F., (2013). “Determinación de zonas óptimas para suelo urbanizable utilizando Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica, en el municipio de Ocoyoacac, Estado de México” Tesis de especialidad. UAEM.
- Molero M. E., Grindlay M. A. L. y Asensio R, J. J. (2007): “Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación

multicriterio”, GeoFocus (Artículos), nº 7, p. 120- 147. ISSN: 1578-5157 © Los autores www.geo-focus.org 125

- Ordoñez, C, y Martínez, A, (2003) Sistemas de Información Geográfica: Aplicaciones prácticas con Idrisi32 al análisis de riesgos naturales y problemáticas medioambientales. Alfaomega-Ra-Ma. España. 224 pp.
- Pedrotti, C. I. (2013) La producción de conjuntos habitacionales en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca. Congreso Nacional de Vivienda 2013. Red Geocrítica Internacional Universidad de Barcelona
- Plan regional de desarrollo urbano del Valle de Toluca (2010) Estado de México