



Universidad Autónoma del Estado de México
Facultad de Geografía

Determinación de la localización óptima para la mejor superficie destinada a viviendas en el Estado de México, con el uso de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio

Reporte final para obtener el grado de:

Especialista en Cartografía Automatizada, Teledetección y
Sistemas de Información Geográfica

18a. Promoción

Presenta:

Lic. en Geog. Jessica Martínez Gutiérrez

Asesor:

Dr. en Geog. Noel B. Pineda Jaimes

Toluca, México; Febrero de 2014.



INDICE

| | |
|---|-----------|
| INTRODUCCIÓN..... | 8 |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 9 |
| JUSTIFICACIÓN. | 10 |
| OBJETIVOS. | 11 |
| CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO..... | 12 |
| 1.1.- CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO | 13 |
| 1.2.- CRECIMIENTO URBANO..... | 17 |
| 1.2.1.- Vivienda..... | 18 |
| 1.2.2.- Conjuntos urbanos..... | 18 |
| 1.3.- SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA | 19 |
| 1.3.1.- Funciones de un SIG | 21 |
| 1.4.- EVALUACIÓN MULTICRITERIO (EMC) | 23 |
| 1.4.1.- Componentes de la Evaluación Multicriterio (EMC) | 25 |
| 1.4.2.- Técnicas de Evaluación Multicriterio..... | 26 |
| 1.4.3.-Evaluación Multicriterio en el entorno de los Sistemas de Información Geográfica | 27 |
| CAPÍTULO II:METODOLOGÍA | 28 |
| 2.1.- METODOLOGÍA | 29 |
| 2.2.- OBTENCIÓN Y COMPILACIÓN DE LA INFORMACIÓN | 31 |
| 2.3.- IDENTIFICACIÓN DE LOS CRITERIOS: FACTORES Y RESTRICCIONES | 32 |
| 2.4.- NORMALIZACIÓN | 41 |
| 2.5.- PONDERACIÓN | 48 |
| 2.5.1.- Método de comparación de Saaty..... | 50 |
| 2.6.- PROCESAMIENTO | 52 |
| 2.6.1.- Sumatoria Lineal Ponderada..... | 53 |
| 2.6.2.- Procesamiento en el Módulo para la definición de pesos, en WEIGHT (IDRISI)..... | 54 |
| 2.6.3.- Procesamiento en el Módulo de Evaluación Multicriterio, en (IDRISI) | 57 |
| CAPÍTULO III:RESULTADOS..... | 60 |
| 3.1.- ZONAS CON APTITUD MUY ALTA Y ALTA: | 65 |
| 3.2.- ZONAS CON APTITUD MEDIA: | 69 |
| 3.3.- ZONAS CON APTITUD BAJA Y MUY BAJA:..... | 71 |
| 3.4.- POLÍGONOS DE CONTENCIÓN URBANA:..... | 73 |

| | |
|----------------------------------|----|
| 3.5.- RESULTADO:MAPA FINAL | 76 |
| CONCLUSIONES | 78 |
| BIBLIOGRAFÍA | 80 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Delimitación del Estado de México..... | 13 |
| Figura 2: Componentes de un SIG | 20 |
| Figura 3: Esquema Metodológico | 30 |
| Figura 4: Factor pendiente | 42 |
| Figura 5: Normalización del factor pendiente | 42 |
| Figura 6: Normalización del factor litología..... | 43 |
| Figura 7: Factor Edafología..... | 43 |
| Figura 8: Normalización del factor Edafología | 44 |
| Figura 9: Normalización del factor Capacidad Agrológica | 44 |
| Figura 10: Normalización del factor Accesibilidad Vial..... | 45 |
| Figura 11: Normalización del factor Erosión | 45 |
| Figura 12: Normalización del factor Visibilidad..... | 46 |
| Figura 13: Restricción de Cuerpos de Agua..... | 47 |
| Figura 14: Restricción de Corrientes | 47 |
| Figura 15: Restricción de Vías..... | 47 |
| Figura 16: Restricción de Áreas Naturales Protegidas..... | 47 |
| Figura 17: Restricción de Áreas Urbanas..... | 47 |
| Figura 18: Módulo para la entrada de capas temáticas..... | 55 |
| Figura 19: Módulo para la defición de pesos..... | 55 |
| Figura 20: Grado de consistencia global de la Matriz | 56 |
| Figura 21: Proceso en el Módulo de la Evaluación Multicriterio (IDRISI) | 57 |
| Figura 22: Mapa final del resultado de la Evaluación Multicriterio | 58 |
| Figura 23: Histograma para determinar rangos de aptitud | 59 |
| Figura 24: Mapa obtenido del Módulo (EMC en IDRISI) | 61 |
| Figura 25: Mapa de zonas con alta y muy alta aptitud, del Estado de México | 65 |
| Figura 26: Municipios con muy alta aptitud, del Estado de México | 66 |
| Figura 27: Municipios con alta aptitud, del Estado de México | 67 |
| Figura 28: Zonas representativas de alta aptitud, del Estado de México | 67 |
| Figura 29: Mapa de zonas con media aptitud, del Estado de México | 69 |
| Figura 30: Municipios con media aptitud, del Estado de México | 70 |
| Figura 31: Zonas representativas de media aptitud, del Estado de México | 70 |

| | |
|---|----|
| Figura 32: Mapa de zonas con baja y muy baja aptitud, del Estado de México | 71 |
| Figura 33: Municipios con baja aptitud, del Estado de México | 72 |
| Figura 34: Municipios con muy baja aptitud, del Estado de México | 72 |
| Figura 35: Zonas representativas de baja aptitud, del Estado de México..... | 73 |
| Figura 36: Polígonos de Contención Urbana de Toluca, Estado de México | 74 |
| Figura 37: Mapa final con Polígonos de Contención Urbana, Estado de México..... | 75 |
| Figura 38: MAPA FINAL, de zonas aptas destinadas a viviendas, del Estado de México..... | 76 |
| Figura 39: Número de hectáreas según el grado de aptitud | 77 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Información Cartográfica | 31 |
| Tabla 2: Criterios que componen la Evaluación | 33 |
| Tabla 3: Superficie de erosión potencial del suelo, por grado | 39 |
| Tabla 4: Ponderación de factores según su importancia | 48 |
| Tabla 5: Asignación de juicios de valor de Saaty | 50 |
| Tabla 6: Niveles jerárquicos y valores de ponderación de los factores..... | 56 |
| Tabla 7: Nivel de aptitud por municipios, del Estado de México..... | 62 |

INTRODUCCIÓN.

El crecimiento urbano que se manifiesta en el Estado de México se ha dado de una forma descontrolada y no planificada. Por lo que se debe tomar en consideración, que los procesos de planificación urbanística, deberían basarse en información geográfica derivada de procesos de análisis espacial y de una evaluación científica.

La realización de un desarrollo metodológico donde un modelo de evaluación pretenda medir la capacidad del territorio para determinar los usos de ocupación del suelo es de gran importancia, para futuros planes de ordenación del territorio y en este caso de estudio de ordenación urbanística (viviendas).

Las técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC) en combinación con los Sistemas de Información Geográfica (SIG), han permitido su implementación en la asignación óptima de usos de suelo de una manera satisfactoria.

La evaluación multicriterio, se fundamenta en asignarle una importancia relativa a los diferentes factores que se evalúan en determinado caso de estudio y auxilia en la toma de decisiones. Su implementación en el programa IDRISI se ha aprovechado para diversos temas de estudio.

Por ello, con este modelo se pretende que la información espacial generada sirva de apoyo para la toma de decisiones en las distintas fases del planeamiento y ordenamiento territorial en el Estado de México, permitiendo que esto se realice de una forma objetiva, evaluando los procesos que determinan la realidad urbana y territorial, pero sobre todo en el diseño de los desarrollos urbanos futuros.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Actualmente el alto crecimiento urbano presente en el Estado de México, no ha permitido la determinación de áreas homogéneas para un ordenamiento territorial idóneo, de ahí la importancia de ubicar las mejores zonas destinadas para viviendas.

En el Estado de México, la expansión y crecimiento urbano no ha podido sujetarse a ningún tipo de planeación urbana, según Núñez (1992), se da en gran medida a la regularización y urbanización de muchos asentamientos que se han efectuado a posteriori, es decir, cuando grandes masas de población se establecen en zonas poco propicias para dotarlas de infraestructura, las autoridades han actuado, ya sea por presión de los habitantes o fines de control y manipulación partidaria, otorgando algunos servicios que distan de ser los recomendables por la planeación urbana.

El establecimiento de la población, en zonas no adecuadas debido a una mala planificación, propicia que se dé un crecimiento urbano sin control, manifestándose por ello diversos problemas, como lo es la carencia de servicios básicos (abastecimiento de agua, drenaje, basura), deterioro ambiental entre otros.

JUSTIFICACIÓN.

El proponer metodologías para la toma de decisiones ante cualquier tipo de estudio es necesario y esto se facilita a partir del análisis de información geográfica.

Actualmente las ciudades han adoptado un modelo territorial de crecimiento urbano extensivo que se caracteriza fundamentalmente por ser de baja densidad y discontinuo. Generalmente el crecimiento extensivo abarca una amplia mancha urbana y por consiguiente un creciente consumo de suelo, sin relación directa con un buen planeamiento que lo justifique.

Por ello, el aplicar la metodología de evaluación multicriterio (EMC), con la función de determinar zonas aptas destinadas a viviendas, permitirá la toma de decisiones en la planeación de uso y ocupación del suelo en el Estado de México, estableciendo la necesidad de corregir la tendencia del crecimiento urbano desordenado.

OBJETIVOS.

Objetivo General

- Determinar la localización Óptima para la mejor superficie destinada a la ubicación de viviendas, por medio de los Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio.

Objetivos Particulares

- Determinar los factores y restricciones necesarios para realizar la evaluación multicriterio (EMC).
- Crear mapas, que permitan visualizar y analizar las zonas más aptas para la ubicación de viviendas.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1.- CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El Estado de México, tiene un área geográfica ubicada en la zona central de la República Mexicana. Colinda al norte con los estados de Querétaro e Hidalgo; y al sur con Guerrero y Morelos; al este con Puebla y Tlaxcala; y al oeste con Guerrero y Michoacán, así como con el Distrito Federal, al que rodea al norte, este y oeste.



Figura 1: Delimitación del Estado de México

Cuenta con una extensión territorial de 22,499.95 kilómetros cuadrados, cifra que representa el 1.09 % del total del país y ocupa el lugar 25 en extensión territorial, respecto a los demás estados.

Del total de la superficie el 38.1 por ciento es agrícola, el 34.9 % forestal, 16.7 % pecuario, el 10.3 % industrial y urbano; en materia de tenencia de la tierra, el 40.32

% es ejidal. Cuenta con 125 municipios divididos en 16 regiones. (Portal oficial del Gobierno del estado de México).

Según la Secretaría de Desarrollo Urbano, el Estado de México se presenta:

- Con una superficie territorial cercana a los 22,500 kilómetros cuadrados, el estado representa el 1.15% de la superficie total nacional.
- Cuenta con una población que rebasa los 15 millones de habitantes. De los cuales el 87% se concentra en áreas urbanas y el 13% en zonas rurales.
- Con un inventario cercano a las 3.1 millones de viviendas, representa el 13.13% de la vivienda total nacional.

Geología y Relieve:

La mayor parte del territorio del Estado de México es montañoso. Se distinguen tres cadenas volcánicas paralelas: al oeste las cumbres occidentales, donde destaca el Xinacatecatl o Nevado de Toluca; al centro la Sierra de Monte Alto y las Cruces, que separa el Valle de Toluca de la cuenca lacustre del Valle de México; y al este la Sierra Nevada, que presenta estructuras escalonadas por el fracturamiento de las rocas. (Plan de desarrollo Urbano del Estado de México, 2008).

En esta sierra sobresalen las dos mayores elevaciones del Estado: el Popocatepetl y el Iztaccíhuatl. Al sur de la entidad se desciende por valles escalonados y barrancas hacia tierra caliente en la depresión del Balsas.

Edafología:

Las condiciones geológicas, topográficas y climáticas del Estado de México propician una gran diversidad de suelos, los cuales están representados por 13 de los 38 grupos edáficos.

En la mitad del territorio estatal (55.8%), se presentan suelos de los grupos feozem, andosol y regosol. El resto de la superficie corresponde a otros 10 grupos edáficos, lo cual indica gran diversidad de suelos y por consecuencia complejidad para su manejo.

Usos del Suelo:

El Estado de México se distingue porque la variedad y desarrollo de las actividades económicas, en interacción con los asentamientos humanos, han originado una compleja distribución de usos del suelo, recurso que constituye un elemento estratégico para el desarrollo urbano.

Los usos no urbanizables ocupan una superficie de 1'781,909 hectáreas que representan el 79.2% del territorio estatal. Entre estos, los usos agropecuario y forestal abarcan alrededor de tres cuartas partes de la entidad.

Por su parte, la superficie urbana actual comprende 165,738 hectáreas, equivalentes al 7.4% de la superficie estatal, mientras otras 93,332 hectáreas, que equivalen al 4.2% del territorio del Estado, han sido clasificadas como urbanizables por los planes municipales de desarrollo urbano aprobados. (Plan de desarrollo Urbano del Estado de México, 2008).

Hidrografía:

Dos de las principales cuencas del país tienen origen en la entidad: la del Río Lerma, que nace en los alrededores de Almoloya del Río y cuyo destino final es el Océano Pacífico y la del Río Tula-Moctezuma-Pánuco que se alimenta de los ríos Cuautitlán, Salado, Taxhimay y Rosas, que descienden de la Sierra de Monte Alto; se le une además el canal artificial que da salida a las aguas negras de la cuenca de México. Los ríos del sur del Estado, como el Chamal, son tributarios de la cuenca del Balsas

y nacen en las laderas del Iztaccíhuatl, en el Estado de Puebla, para desembocar en el Océano Pacífico.

Áreas Naturales Protegidas:

En la entidad existen 84 áreas naturales protegidas, que en conjunto suman 978,967.43 hectáreas (39.3% del territorio estatal), lo que significa que el Estado de México es la entidad a nivel nacional con mayor superficie destinada para áreas naturales. (Plan de desarrollo Urbano del Estado de México, 2008).

1.2.- CRECIMIENTO URBANO

El crecimiento urbano es un fenómeno característico de la época actual, cuyos orígenes hay que ubicarlos en la estructura de la sociedad y en su evolución histórica.

La dinámica de crecimiento de las ciudades depende de la convergencia de diversos factores económicos, demográficos, culturales, políticos, sociales, geográficos y tecnológicos, así como de la forma en que estos interactúan entre sí y del momento histórico en que lo hacen. (Escobedo, 1992).

Según Topelson (2010), la continua expansión que han experimentado las principales ciudades mexicanas es resultado de la proliferación de los conjuntos habitacionales y el éxito inmobiliario de la vivienda en las últimas décadas. Esta expansión ha motivado fenómenos como la dispersión en la ocupación del territorio; altas inversiones en infraestructura y equipamiento para llevar servicios básicos a nuevos conjuntos habitacionales; pérdida de los límites de la ciudad, ya que al consumir grandes extensiones de suelo sin referencia a las previsiones derivadas de planes urbanos, se promueve una ciudad difusa y caótica.

Al expandirse descontroladamente la mancha urbana con nuevos desarrollos, impacta el entorno natural y agrícola que rodea a las ciudades, a través de los cambios de usos de suelo, urbanización o explotación.

El acelerado desarrollo urbano del Estado de México ha incorporado suelo, en su mayoría agrícola, a la expansión de sus áreas urbanas.

Según el Plan de desarrollo Urbano del Estado de México, 2008; De 1993 al 2000 se incorporaron ordenadamente al proceso de urbanización de la entidad, es decir, a través de los procedimientos de autorización correspondientes, casi 6,000

hectáreas, lo que significó alrededor de 855 hectáreas anualmente. Por su parte, el crecimiento irregular detectado se estimó del orden de las 5,700 hectáreas (814 hectáreas anuales). Lo anterior indica que de todo el crecimiento urbano estatal, solamente el 51% se da a través de procesos planeados y ordenados.

1.2.1.- Vivienda

Actualmente, el Estado de México se distingue a nivel nacional por el alto índice de construcción de vivienda mediante la realización de grandes proyectos habitacionales en su mayoría de interés social.

Del año 2000 al 2006 se autorizaron 417,982 viviendas bajo la figura del conjunto urbano. Según el Censo 2005, se contabilizaron 3,243,566 viviendas particulares en la entidad, que equivalen al 13% del inventario nacional estimado en 24,706,956 viviendas. (Plan de desarrollo Urbano del Estado de México, 2008).

En lo que se refiere a viviendas construidas con materiales inadecuados, el 5.2% del inventario tiene pisos de tierra. De acuerdo al Programa Sectorial de Vivienda 2001-2006, el rezago habitacional por mejoramiento en la entidad es de 261,386 viviendas. Esta situación se relaciona con el predominio de vivienda construida en asentamientos y colonias irregulares que representan 52% de la expansión urbana.

1.2.2.- Conjuntos urbanos

Según la Secretaría de Desarrollo Urbano del Estado de México, un conjunto urbano es una modalidad en la ejecución del desarrollo urbano, que tiene por objeto estructurar, ordenar o reordenar, como una unidad espacial integral, el trazo de la infraestructura vial, la división del suelo, la zonificación y normas de usos y destinos del suelo, la ubicación de edificios y la imagen urbana de un sector territorial de un centro de población o de una región.

El modelo adoptado por estos conjuntos habitacionales, se basa en vivienda unifamiliar horizontal, con bajas densidades de ocupación, consumiendo más territorio, sustituyendo espacios agrícolas de calidad, zonas verdes o de protección por más vivienda. No podemos perder de vista que este tipo de procesos fragmenta la convivencia e integración social y urbana y representa altos costos de operación para los municipios (Topelson, 2010).

1.3.- SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Los SIG son una integración organizada de hardware , software, datos geográficos y personal, diseñada para capturar, almacenar, manejar, analizar, modelar y representar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión.

Según Burrough (1991), un Sistema de Información Geográfica (SIG) es un conjunto de herramientas para coleccionar, almacenar, retroalimentar, transformar y desplegar datos espaciales del mundo real, descrito en un sistema de referencia (latitud, longitud) relacionado con la tierra, establecido para satisfacer necesidades de información específicas.

En este contexto, los SIG en la actualidad se han convertido en un instrumento indispensable para el análisis de fenómenos ambientales, culturales, económicos y sociales que al final brindan información válida para la toma de decisiones.

Según Galacho y Ocaña (2006), la utilización del SIG suele responder a una aplicación concreta en un momento determinado y la reconfiguración hacia un SIT (Sistema de Información Territorial) sería un sistema en el que se realiza un mantenimiento constante de la información, de modo que sea posible observar la evolución y consolidación de las propuestas de planeamiento sobre el territorio. Se trata de mantener la integridad de los datos, que podamos realizar chequeos

periódicos y recalcular atributos en cualquier momento, sin que esta tarea recaiga en la aplicación sino en el propio modelo de datos.

Con esta configuración el SIG se constituye en la base de todo el sistema de evaluación y análisis multicriterio, debiendo suministrar información interrelacionada que facilite el funcionamiento de los procesos de evaluación que se generen.

Componentes de un SIG



Figura 2: Componentes de un SIG

1.3.1.- Funciones de un SIG

Los SIG operan como una base de datos geográfica asociada a los objetos existentes en un mapa digital, y dan respuesta a las consultas interactivas de los usuarios analizando y relacionando diferentes tipos de información con una sola localización geográfica.

Esto es, conectando mapas con bases de datos.

Básicamente, el funcionamiento de un SIG pasa por las siguientes fases:

- Entrada de la información en el sistema, ya sea digital o pendiente de digitalización.
- Almacenamiento y actualización de las bases de datos geográficamente, es decir, georreferenciar la información mediante coordenadas geográficas de latitud y longitud.
- Análisis e interpretación de los datos georreferenciados.
- Salida de la información en forma de productos diferentes, que dependerán de las necesidades del usuario.

Según Gómez y Barredo 2005, agrupan las funciones de los SIG e en cuatro conjuntos fundamentales:

- a) Entrada de información: Esta etapa es fundamental para disponer de una base de datos potente, operativa, libre de errores, versátil, lo que permite posteriormente un adecuado funcionamiento del SIG.
- b) Gestión de datos: Esta función de los SIG abarca las operaciones de almacenamiento y recuperación de los datos de la base de datos, es decir,

los aspectos concernientes a la forma en que se organizan los datos espaciales y temáticos en la base de datos.

- c) Transformación y análisis de datos: Esta función es el aspecto fundamental de los SIG, aquí radica todo su potencial operativo. Las funciones de transformación y análisis de datos son las que proveen “nuevos” datos a partir de los existentes originalmente, es aquí donde el usuario define los datos y como los utilizara, para resolver problemas espaciales determinados, estableciéndose así soluciones a través del SIG con las operaciones que utilizan los datos espaciales de diferentes maneras.
- d) Salida de datos: En un SIG existen diversas formas de salida de datos, las cuales dependen de los requerimientos del usuario, las más frecuentes son: mapas analógicos, tablas de valores, gráficos, representaciones tridimensionales, simulaciones de vuelo sobre ciertas zonas; con estas salidas podemos representar la información contenida en la base de datos, o bien mostrar el resultado de determinar aplicaciones.

La plataforma a utilizar será el sistema IDRISI, según Santos, et. al, (2006), este consiste en un programa principal, que sirve de interface al sistema y una colección de más de 150 módulos independientes que suministran recursos para la entrada, visualización y análisis de los datos geográficos. Esta información geográfica se presenta estructurada en capas elementales que representan variables independientes.

El sistema permite la representación y análisis de variables del campo geográfico: modelo de elevación del terreno, mapa de carreteras, usos de suelo, hidrografía, entre otros. Las diferentes capas de información se pueden integrar en un mapa.

Es por ello que la utilización de los Sistemas de Información Geográfica y la combinación con técnicas de Evaluación Multicriterio, constituyen una herramienta útil para cualquier proceso de evaluación en el territorio.

1.4.- EVALUACIÓN MULTICRITERIO (EMC)

De acuerdo con Pietersen (2006), citado en María (2007), el objetivo general de la evaluación multicriterio es auxiliar al decisor a escoger la mejor alternativa entre un rango de alternativas en un entorno de criterios en competencia y conflicto; y los objetivos pueden ser económicos, ambientales, sociales, institucionales, técnicos y estéticos.

Según el Plan Intermodal de Transportes de Perú (2005); la evaluación multicriterio está diseñada para tomar en cuenta los varios criterios que entran en el proceso de priorización de proyectos y de decisión para implementarlo. Sintetiza en una nota única todos los parámetros considerados.

El método de Evaluación Muticriterio/Multiobjetivo (EMC/MO) puede definirse como un conjunto de técnicas orientadas a asistir en los procesos de toma de decisiones con el propósito básico de investigar alternativas bajo la luz de múltiples criterios y objetivos; se pueden 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 objetos con base en una evaluación expresada por puntuaciones, valores o intensidades, de preferencia, de acuerdo con diversos juicios (Gómez y Barredo, 2005).

En la actualidad, la aplicación de estas técnicas de EMC, permiten realizar procesos de toma de decisiones y guiar las políticas de planificación socio-espacial tendientes a disminuir las disparidades existentes en el Estado de México.

De acuerdo con Chakhar (2003), casi todas las técnicas de EMC consisten en una primera etapa, del diseño de una matriz con los criterios y las alternativas definidos; la siguiente etapa consiste en la agregación de las distintas puntuaciones de los criterios, con el uso de algún procedimiento de agregación (la aplicación de alguna técnica de EMC) específico, tomando en cuenta la preferencia de los decisores expresada en término de pesos que se asignan a los diferentes criterios; ese procedimiento o técnica permite al decisor comparar entre las diferentes alternativas con base a los pesos asignados.

La Evaluación Multicriterio (EMC), es una herramienta muy utilizada como ayuda a la toma de decisiones espaciales orientadas a la planificación de territorio, permitiendo optimizar la localización de los usos del suelo, asignando estos a zonas que presenten la mayor aptitud y menor impacto posible, es decir, áreas con la mayor capacidad de acogida (Gómez y Barredo, 2005).

La evaluación multicriterio, al ser “un conjunto de técnicas orientadas a asistir en los procesos de toma de decisiones” (Barredo, 1996; Valpreda, 2007) citado por: Limón, (2013), 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

Las técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC) en el ámbito de los Sistema de Información Geográfica (SIG) permiten desarrollar la metodología para realizar un modelo de evaluación para determinar zonas aptas para viviendas en el Estado de México.

1.4.1.- Componentes de la Evaluación Multicriterio (EMC)

Entre los principales componentes dentro de la EMC, se encuentran: los objetivos, criterios (factores y limitantes), regla de decisión, funciones y la evaluación.

Objetivos y Alternativas:

En la Evaluación Multicriterio, un objetivo se define como una función a desarrollar, aquí el objetivo indica la estructuración de la regla de decisión.

En el contexto de la Evaluación Multicriterio se entiende por función objetivo a desarrollar aquella que satisfaga unas determinadas aspiraciones del centro decisor dentro de criterios previamente establecidos; existen procedimientos con objetivos simples donde existe un único objetivo, lo que facilita la toma de decisiones; sin embargo, existen otras posibilidades factibles de abordar con esta metodología, como pueden ser los multiobjetivos. En este primero de los casos, la combinación de objetivos debe cumplirse al unísono, mientras que en el segundo, los objetivos en conflicto se eliminaría entre sí. (Santos, 1997).

Criterios:

Un criterio es la base para una decisión que puede medirse y evaluarse, y puede ser de dos tipos:

Factores y limitaciones o restricciones; también se puede decir que es un juicio estándar o una regla para probar la deseabilidad de decisiones alternativas; también es un término genérico que incluye objetivos y atributos, y cualquier problema de decisión multicriterio implica un conjunto de objetivos, un conjunto de atributos, o ambos. No obstante, la distinción entre objetivos y atributos es de la mayor importancia en el proceso de toma de decisiones. (Malczewski, 1999; Eastman, 2003, citado por María, 2007).

Reglas de decisión:

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

Son el paso subsecuente una vez los criterios han sido generados y consisten en un procedimiento a través del cual se obtiene una evaluación particular, a partir de un método lógico y/o matemático que permite comparara las alternativas entre sí, con el objetivo de lograr su ordenación de acuerdo con la capacidad mostrada para cumplir el propósito; asimismo, puede proporcionar la manera de comparar las alternativas utilizando un índice. Estas reglas de decisión pueden realizarse por dos tipos de funciones: las de selección y las heurísticas (Rivera, 2001).

1.4.2.- Técnicas de Evaluación Multicriterio

De acuerdo con Tkach y Simonovic (1997), las técnicas multicriterio se caracterizan por una gran diversidad metodológica y pueden agruparse en tres principales grupos de técnicas:

- a) de ordenamiento o jerarquías;
- b) de utilidad multiatributo o multicriterio, y
- c) técnicas de programación matemática.

Las primeras requieren de comparaciones pareadas o globales entre alternativas, y no son prácticas cuando el número de alternativas es grande; las segundas se basan en modelos multiplicativos simples o aditivos para agregar o agrupar criterios simples y por ello no son adecuados para analizar sistemas ambientales complejos; las terceras se utilizan en un contexto continuo para identificar soluciones muy cercanas a la solución ideal introduciendo la medida de la distancia

en unidades métricas; éstas técnicas se desarrollaron en el enfoque de la programación lineal (investigación operativa). (María, 2007).

1.4.3.-Evaluación Multicriterio en el entorno de los Sistemas de Información Geográfica

En el entorno de los SIG, la EMC se logra comúnmente a través de uno de dos procedimientos diferentes: el primero que implica una supercapa booleana, por la cual todos los criterios se reducen a declaraciones lógicas de adecuación y luego combinados por uno o más operadores como la intersección (AND) y la unión (OR); el segundo se conoce como *combinación lineal ponderada* (WLC) donde los criterios continuos (factores) se estandarizan en un rango numérico común, y luego se combinan por medio de un promedio ponderado. El resultado es un mapa de aptitud continua que puede ser acotado por una o más limitaciones booleanas e imponer finalmente un umbral para producir una decisión final (Eastman, 2003).

La EMC se puede realizar mediante el uso de los SIG con alguna técnica multicriterio, como el álgebra booleana, la lógica difusa o el Proceso Jerárquico Analítico (con o sin el uso de los SIG), o bien por medio de la investigación operativa.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1.- METODOLOGÍA

Las metodologías de EMC son útiles para ayudar a la toma de decisiones en la planeación urbana, y los resultados obtenidos se pueden aplicar para mejorar alguna o algunas de las etapas de dicha planeación.

El modelo a realizar para determinar zonas optimas destinadas a viviendas del Estado de México, será mediante el uso de una base de datos geográfica de estructura raster.

El Sistema de Información Geográfica utilizado para dicho modelo, es IDRISI, que es un sistema específicamente desarrollado bajo el paradigma del modelado cartográfico. IDRISI posee algunos módulos diseñados para llevar acabo la Evaluación Multicriterio.

Un Modelo como este, parte de confrontar distintos criterios y fácilmente en conflicto, invita a que se le aborde mediante técnicas de evaluación multicriterio que, en síntesis, constituyen un modelo de evaluación que afronta el problema de la preferencia o la selección (la valoración, en suma) entre un conjunto de alternativas reales, en presencia de criterios diversos, delimitados entre sí.

Con la finalidad de realizar procedimientos de análisis espacial y la toma de decisiones en la búsqueda de zonas con mayor aptitud locacional destinada a viviendas, se realizara una selección de los factores o variables y restricciones que permitirán delimitar dichas zonas, realizando una serie de pasos, que se muestran en la figura 3.

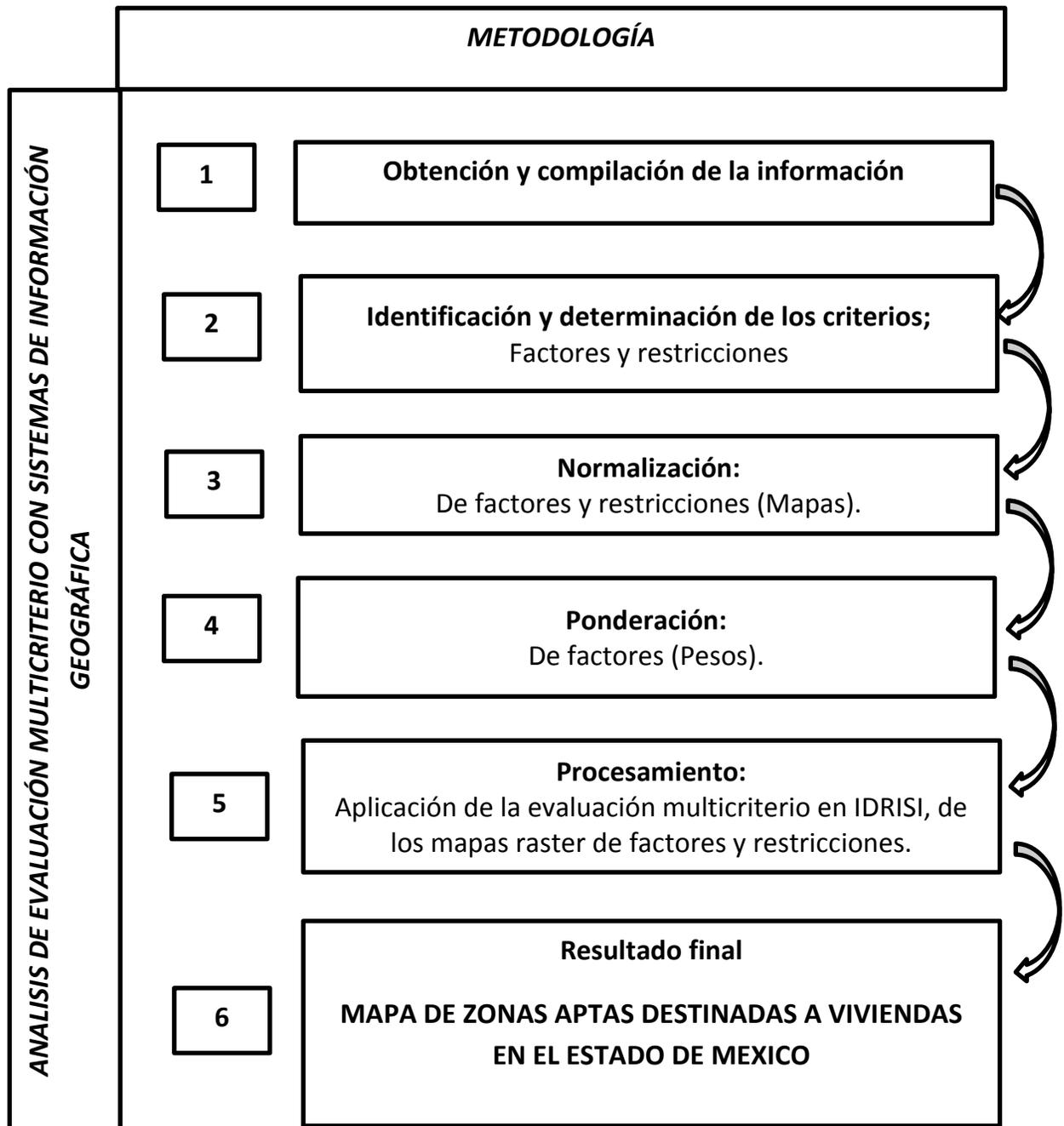


Figura 3: Esquema Metodológico

2.2.- OBTENCIÓN Y COMPILACIÓN DE LA INFORMACIÓN

La información requerida para la realización de este modelo fue:

- *Documental:*

Que consistió en la obtención de la bibliografía sobre el análisis multicriterio y sobre las características geográficas del Estado de México.

- *Cartográfica:*

Consistió en la obtención de información cartográfica de la zona de estudio (Estado de México), referida a las capas que servirían como factores y restricciones que se muestran a continuación:

Tabla 1 :Información cartográfica

| CAPA | ESCALA | FUENTE |
|--------------------------------|---------------|---|
| Pendiente | 1:250, 000 | Elaboración propia, con base a el MDT de INEGI 2000 |
| Edafología | | Elaboración propia, con base a INEGI 2000 |
| Litología | | |
| Erosión | | |
| Localidades Urbanas | | |
| Capacidad agrológica del suelo | | Plan de Ordenamiento Territorial del Edo. De México, 2000 |
| Corrientes de agua | | |
| Cuerpos de agua | | |
| Áreas Naturales Protegidas | | Elaboración propia, con base a datos de SEMARNAT, 2000 |

Fuente: Elaboración propia

2.3.- IDENTIFICACIÓN DE LOS CRITERIOS: FACTORES Y RESTRICCIONES

Según Galacho y Ocaña (2006), la secuencia de la evaluación multicriterio, entendida ésta como un proceso lógico, definimos su objetivo: generar una capa de información que muestra una zonificación o clasificación del espacio estudiado con una puntuación asignada a cada área o zona del territorio en función de su capacidad para acoger usos principalmente urbanísticos de los tipos residencial y comercial, fundamentalmente.

La evaluación se efectúa sobre las alternativas existentes. Cada alternativa adquiere una puntuación, en función de cada criterio, lo que se identifica con la matriz de decisión. Cada una de dichas alternativas adquirirá un conjunto de características comunes que la diferencian de otra, y al mismo tiempo, la caracterizan. Se trabaja por lo tanto sobre un ámbito concreto, y dentro del mismo, cualquier área en sí misma es una posible alternativa.

Tipos de criterios:

Factores: Son los aspectos que aumentan o disminuyen la valoración de una alternativa como solución al problema. (Los factores pueden ser cuantitativos u ordinales).

Restricciones: Son los aspectos de la realidad que determinan que alternativas son válidas/aceptables y cuales no como solución al problema. (Las restricciones son siempre binarias). (Bosque, 2006).

Tabla 2 :Criterios que componen la evaluación

| | | | |
|----------------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| Factores | Aptitud | Aptitud Física | Pendiente |
| | | | Litología |
| | | | Edafología |
| | | Aptitud Ambiental | Capacidad Agrológica del Suelo |
| | | Aptitud Funcional | Accesibilidad vial |
| Factores | Impacto | Impacto Ecológico | Alteración morfodinámica: erosión |
| | | Impacto Visual | Visibilidad |
| Restricciones | Filtro de restricciones | Riesgo natural | Áreas Naturales protegidas |
| | | Restricciones físicas | Vialidades |
| | | | Áreas urbanas |
| | | | Corrientes |
| | | Cuerpos de agua | |

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Galacho y Ocaña (2006).

Dichos factores y restricciones seleccionados para realizar la evaluación multicriterio, se deberán cuantificar para permitir su sintetización.

Según el Plan Intermodal de Transportes de Perú, (2005); se hace a través de un sistema de puntaje. Luego se debe traducir concretamente la importancia relativa de los criterios por un sistema de ponderación. La combinación de ambos sistemas produce la nota final que expresa la pertinencia global del proyecto y permite compararlo con los demás en competición.

Por lo tanto los criterios y su ponderación pueden entonces ser diferentes ya que la priorización de proyectos se hace dentro del universo de cada modo.

En este caso, se llega a la base de la evaluación, es decir la definición de los factores y sus medidas (contemplando solo aquellos que son importantes para la finalidad del modelo). Los pasos para la definición de los factores son dos:

1. Elección de los que intervendrán en el proceso de evaluación.
2. Asignación de valores numéricos y pesos en función del objeto de la evaluación, con lo que estos factores pasan a ser criterios.

Por lo tanto;

Dentro de los denominados criterios de aptitud, en primer lugar, se han considerado las condiciones constructivas de los terrenos, es lo que hemos denominado la aptitud física para la construcción. Con ello se pretende valorar las características del terreno en función de su idoneidad para la edificación y los condicionantes técnicos de las construcciones.

Se valoran los criterios de la siguiente manera:

Factores de aptitud física, para la construcción:

- **Pendiente:**

Se toman en cuenta las pendientes, porque estas proporcionan una aproximación a la topografía del terreno. Por lo tanto la pendiente puede ser estimada como un factor de aptitud en sí misma o como factor determinante de otros criterios que miden la calidad del terreno o su vulnerabilidad.

Con fines operativos las pendientes se derivan de un Modelo Digital del Terreno y se agrupan en intervalos de acuerdo al objetivo de la evaluación.

Según Galacho y Ocaña (2006), las categorías propuestas por el Servicio de Conservación de Suelos, (1966) que adoptó el Ministerio de Agricultura para la caracterización de la Capacidad Agrológica de los Suelos, son: zonas llanas (<3%), pendiente suave (3-10%), moderada (10-20%), fuerte (20-30%), muy fuerte (30-50%) y escarpada (>50%). Se consideran pendientes no adecuadas para los usos urbanos, las superiores al 20 % (MMA, 2000).

Por lo tanto el rango de pendiente utilizado para este modelo es de 0 a 10°, porque garantiza que las zonas urbanizables se ubiquen en sitios topográficamente en zonas llanas o de pendiente suave, lógicamente en relación con la aptitud del terreno para la construcción.

- **Litología y Edafología:**

Este factor es importante, puesto que no en todos los sitios se pueden hacer construcciones debido a las condiciones del subsuelo. La mitad del territorio estatal (55.8%), se presentan suelos de los grupos feozem, andosol y regosol. Los suelos de tipo feozem, que se caracterizan por ser aptos para la agricultura, se localizan principalmente en los Valles de Cuautitlán-Texcoco y de Toluca.

Los suelos de tipo andosol, derivados de cenizas volcánicas, son altamente susceptibles a erosionarse y poco aptos para uso agrícola. Se localizan en áreas volcánicas como las sierras de Monte Alto, las Cruces, Nevado de Toluca, Valle de Bravo y Carimangacho.

Factores de aptitud ambiental:

- **Capacidad Agrológica:**

Se incluye la capacidad agrológica de los suelos, como recurso cuyas características más que naturales, son dependientes de la actividad humana; estando netamente justificada su inclusión, por su relación directa con los factores naturales. (Galacho y Ocaña, 2006).

Según la *Guía para la interpretación de cartografía de INEGI*, se consideran ocho clases de uso, en forma jerárquica, para clasificar un terreno según su capacidad agrológica o capacidad de uso:

Clase I. Suelos muy valiosos, sin limitaciones, posibles de cultivar con los métodos ordinarios de labranza. Disponen en suficiente agua ya sea por precipitación pluvial o mediante sistemas de riego. Son terrenos con pendientes muy suaves o planos, poco expuestos a la erosión; fáciles de trabajar, profundos y con adecuada retención de humedad debido a su drenaje natural o, en algunos casos, como

consecuencia de la implantación de obras de drenaje artificial. Están situados de tal manera, dentro del paisaje natural, que no corren el riesgo de sufrir inundaciones.

Clase II. Suelos valiosos, con limitaciones moderadas, que se trabajan con prácticas de labranza especiales, poco complicadas, como nivelación del terreno, eliminación de pedregosidad y técnicas de control de erosión. Disponen de agua ya sea por precipitación o por sistemas de riego.

Clase III. Suelos con limitaciones severas que necesitan forzosamente métodos de labranza especiales y de mayor complicación. Solo disponen de agua por precipitación.

Clase IV. Suelos con limitaciones muy severas para cultivos anuales. Solo adecuados para pradicultura (pastizales) o cultivos perennes.

Clase VI. Suelos apropiados para pradicultura con limitaciones moderadas.

Clase VII. Suelos solo apropiados para pradicultura o silvicultura, con limitaciones severas. Son terrenos con pendiente muy escarpada y suelos delgados que presentan mínima resistencia a la acción erosiva del agua y viento.

Clase VIII. Agrologicamente inútiles. Son tierras con serias limitantes en su entorno ambiental (escabrosas, arenosas, húmedas o áridas), como para dedicarlas a la agricultura, pradicultura o silvicultura, pero que aún pueden ser adecuadas para sostenimiento de animales silvestres; algunos de estos terrenos son útiles para la extracción de materiales para la construcción.

Por lo que se le dará prioridad a la clase I, que tiene una capacidad agrologica sin limitaciones.

Factores de aptitud funcional:

- **Accesibilidad vial**

Se ha incluido este criterio, con la finalidad de establecer una diferenciación en la apreciación de la mejor ubicación para viviendas. La accesibilidad es una condición indispensable para la implantación de zonas urbanizables, por tanto es un factor esencial en las cuestiones de abastecimiento y movilidad en todos los casos.

La proximidad a vías de comunicación es un factor importante en la aptitud del territorio con relación a la ubicación idónea para viviendas.

La cercanía o lejanía a las vías principales determina su nivel de accesibilidad, ya que el territorio se valora en función de su proximidad a una vía de comunicación, en concreto a una carretera, y el valor de aptitud en el factor es proporcional a la proximidad.

Factores de impacto ecológico:

- **Alteración morfodinámica: erosión**

La erosión es un fenómeno geológico natural causado por la acción del agua y del viento, que consiste en el desprendimiento y acarreo de partículas del suelo.

La erosión se origina por la combinación de varios factores tales como el intemperismo, la inclinación del relieve, los incendios forestales, además de ciertas características intrínsecas del suelo que pueden hacerlo más propenso a la erosión como el escaso desarrollo de los horizontes superiores, textura limosa o bajo contenido en materia orgánica. No obstante, las actividades humanas pueden acelerar de forma importante la tasa de erosión debido al uso inadecuado del suelo, lo que conlleva a la reducción de su capacidad para sostener los ecosistemas naturales y urbanos.

Tabla 3: Superficie de erosión potencial del suelo, por grado

| | |
|--------------|------------|
| GRADO | Ligero |
| | Moderado |
| | Severo |
| | Muy severo |

Fuente: adaptado de INE-SEMARNAT (2006)

Según Galacho y Ocaña (2006), se entiende que la activación de procesos, latentes o no, de erosión, bien por aceleración de procesos activos, bien por alteración de las condiciones funcionales del terreno pueden ser consecuencia de los procesos derivados de la implantación de las construcciones o de las obras relacionadas con ellas.

Factores de impacto visual

- **Visibilidad**

El impacto visual está relacionado con los cambios que sufren las posibles vistas del paisaje, y los efectos que estos cambios ejercen en las personas.

Este criterio se basará en el posible impacto visual que puede producir la implementación de viviendas. Su valoración depende de tres factores fundamentales:

- ❖ Impactos directos, derivados del desarrollo sobre vistas del paisaje, como son la intrusión o la obstrucción.
- ❖ La reacción de los observadores que pueden ser afectados.
- ❖ Impacto sobre la calidad visual, la cual puede variar desde la degradación hasta una mejora de la visión

El impacto visual es considerado en la perspectiva de que cualquier elemento constructivo genera impacto visual considerable, puesto que cambia la escena próxima, teniendo un alcance visual muy dilatado por su contraste con el suelo y la vegetación. La valoración se centra en el nivel de saturación hasta umbrales no deseables y cuando no sea así. (Galacho y Ocaña, 2006).

Por último, se ha establecen las restricciones:

Filtro de restricciones de riesgo natural o físicas

Estas se determinan como una limitante para desarrollar cualquier tipo de actividad constructiva, como lo son:

- Áreas naturales protegidas
- Vialidades
- Áreas urbanas
- Corrientes
- Cuerpos de agua

Cada uno de ellos se convierte en claro criterio de restricción, de tal manera que cada criterio por sí mismo puede calificar zonas diferentes del territorio, de modo que un área puede verse afectada por sólo uno de ellos o por varios.

Por lo que debemos mencionar, que no es necesario valorar a dichas restricciones, ni darle una importancia relativa una de la otra, puesto que cada una de estas restricciones determinará la exclusión del territorio en la posible implantación de un uso cualquiera. Sin embargo la acumulación de las restricciones determina finalmente la restricción global.

En consecuencia, en lo que se refiere a las reglas de decisión se adopta la mera adición de las áreas, sin mecanismo de ponderación.

2.4.- NORMALIZACIÓN

La normalización, indica que todos los factores utilizados deben estar medidos en la misma escala. Por lo que estos, fueron exportados y convertidos a formato raster, para ser procesados en IDRISI Selva. La herramienta FUZZY del software IDRISI Selva, permitió realizar la normalización de los factores utilizados, dándole una escala byte de 0 a 255.

Cuando se utiliza la herramienta FUZZY o de límites difusos para la estandarización de factores, se define el grado de membresía usando números FUZZY; éstos son un conjunto de valores graduales, definido en el entorno de los números reales, que poseen las cualidades de normalidad y convexidad y que además proporcionan las bases para definir variables lingüísticas o variables FUZZY. Así, los números FUZZY son estados de una variable lingüística representados por conceptos como “muy buena”, “buena”, “mediana” y “baja” productividad (Malczewski, 1999, citado en María, 2007).

Como se muestra a continuación:

- **Pendiente:**

El rango de pendiente utilizado para este modelo es de 0 a 10°, porque garantiza que las zonas urbanizables se ubiquen en sitios topográficamente en zonas llanas o de pendiente suave, lógicamente en relación con la aptitud del terreno para la construcción. Por lo que las que se encuentran en color rojo, son las más óptimas, como lo muestra la figura 5.

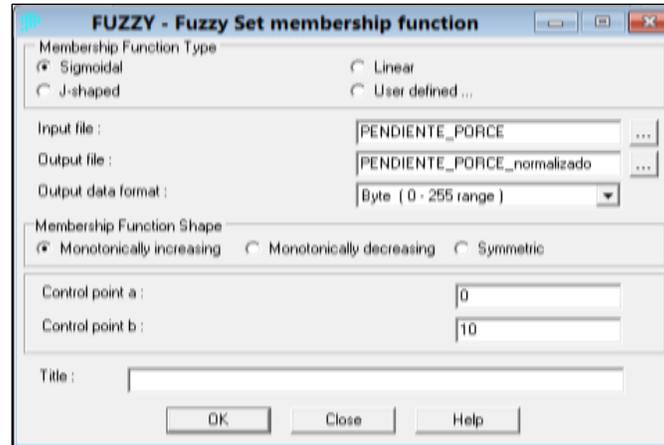


Figura 4: Factor pendiente

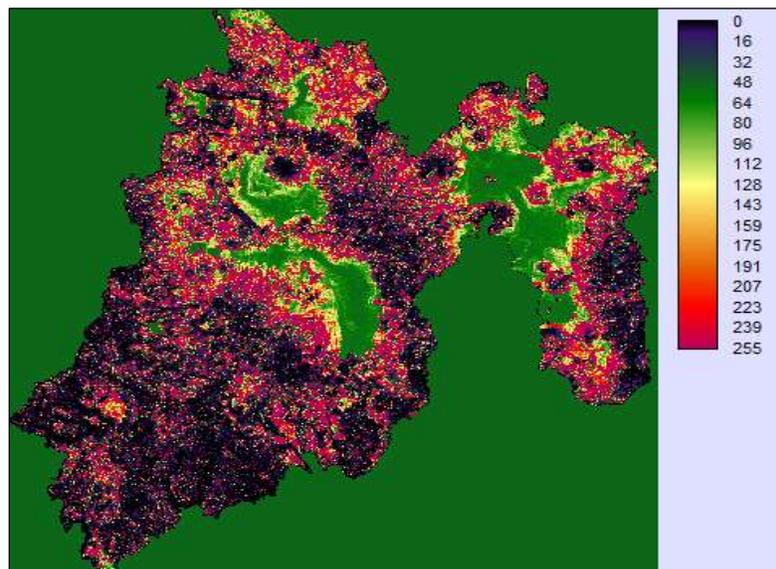


Figura 5: Normalización del factor pendiente

- **Litología:**

Este factor es de suma importancia, pues no en todos los sitios se puede hacer construcciones esto por las condiciones del subsuelo, ya que en ocasiones no son aptos para soportar la construcción.

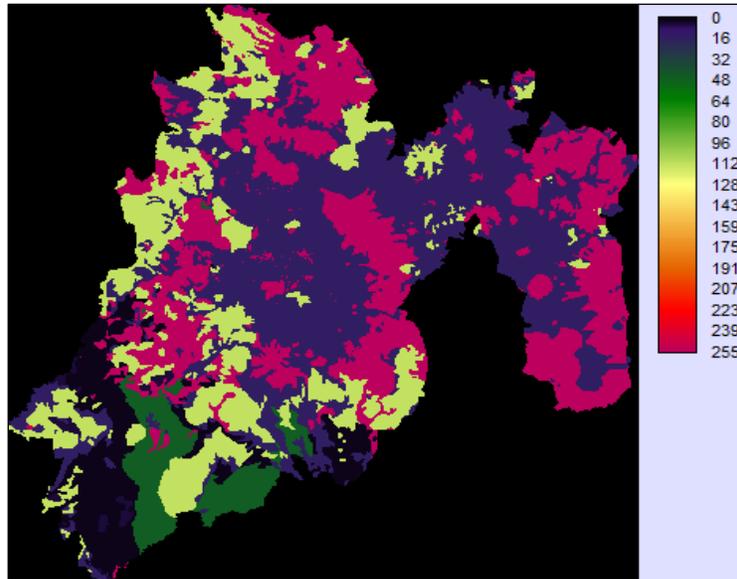


Figura 6: Normalización del factor litología

- **Edafología:**

Se tomó en cuenta el tipo de unidad de suelo, en el cual se le dio mayor importancia a los recomendables para edificar construcciones de uso urbano. Por lo que se les dio mayor prioridad al feozem, regosol y andosol.

| Module Results | | |
|--|-------------|----------------|
| Area on file: C:\LETY\variables\Edafologia.rst | | |
| Category | Hectares | Legend |
| 0 | 145.9729659 | Fondo |
| 1 | 7.3321488 | Planosol |
| 2 | 9.4773177 | Leptosol |
| 3 | 14.8231102 | Vertisol |
| 4 | 1.2724986 | Cuerpo de agua |
| 5 | 8.8984007 | Luvisol |
| 6 | 32.5899470 | Feozem |
| 7 | 12.5627771 | Cambisol |
| 8 | 29.6894693 | Andosol |
| 10 | 2.8069880 | Acrisol |
| 11 | 17.4593996 | Regosol |
| 12 | 2.9497196 | Solonchack |
| 13 | 1.3997484 | Fluvisol |
| 14 | 0.1676022 | Histosol |
| 15 | 0.0699175 | Gleysol |

Figura 7: Factor Edafología

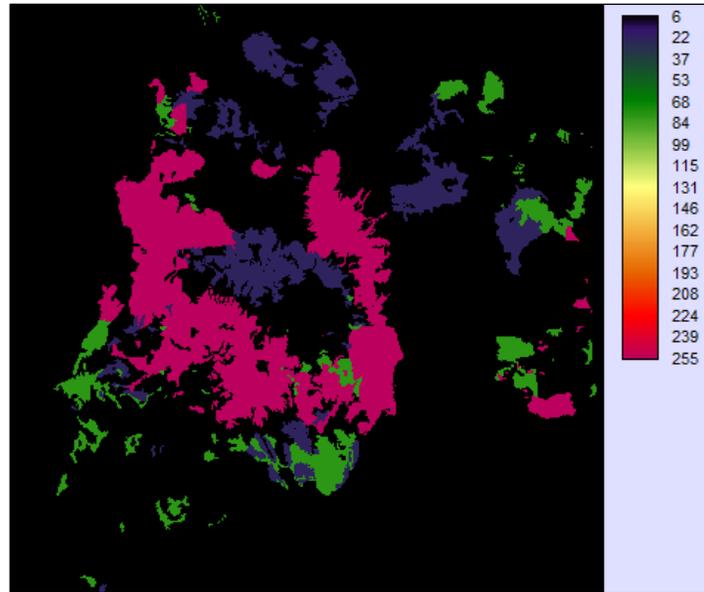


Figura 8: Normalización del factor Edafología

- **Capacidad Agrológica:**

En este factor, se le dio mayor importancia a la Clase I de la clasificación del terreno según su capacidad agrológica de la Guía para la interpretación de cartografía de INEGI, ya que son suelos sin limitaciones.

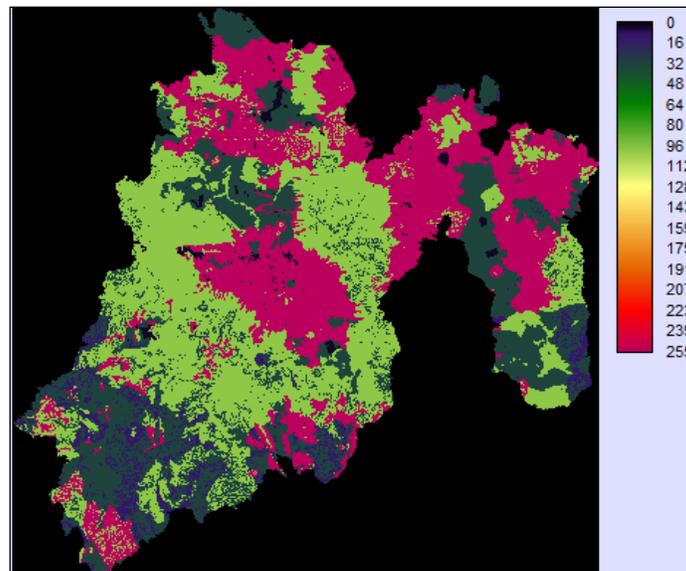


Figura 9: Normalización del factor capacidad agrológica

- **Accesibilidad vial:**

La accesibilidad es una condición indispensable para la implantación de zonas urbanizables, por tanto es un factor esencial en las cuestiones de abastecimiento y movilidad en todos los casos.

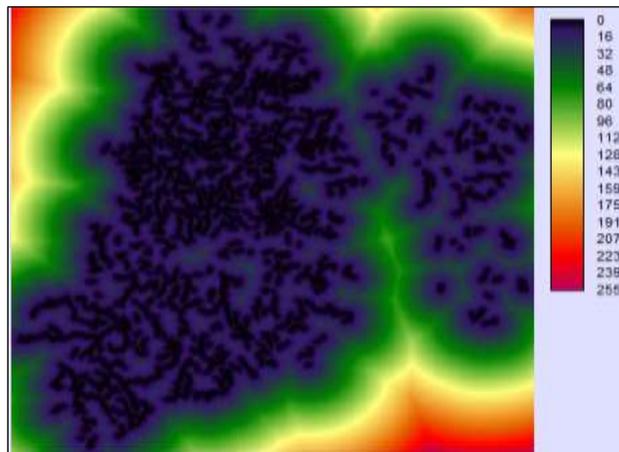


Figura 10: Normalización del factor de accesibilidad vial

- **Alteración morfológica: erosión**

Como ya se mencionó, la erosión es un fenómeno geológico natural causado por la acción del agua y del viento, que consiste en el desprendimiento y acarreo de partículas del suelo. Por lo tanto se dio una mayor importancia a la erosión de tipo ligera.

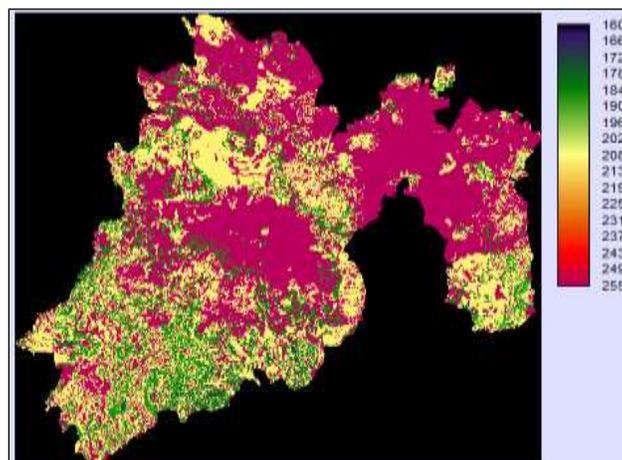


Figura 11: Normalización del factor erosión

- **Visibilidad**

El impacto visual es considerado en la perspectiva de que cualquier elemento constructivo genera impacto visual considerable, puesto que cambia la escena próxima. Por ello se construyó un factor que midiera la calidad visual del paisaje, desde zonas urbanas y carreteras consolidadas. Esto a través de un buffer.

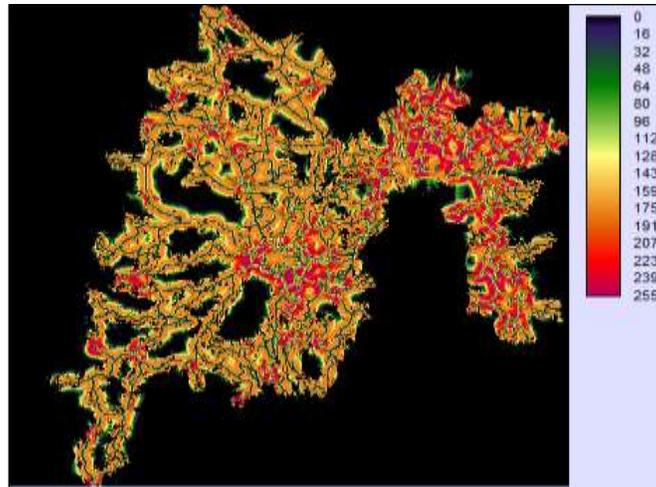


Figura 12: Normalización del factor visibilidad

Restricciones

La técnica que se utilizó para la elaboración de esta cartografía es la de lógica booleana, que indica que las restricciones corresponden a capas de información que contienen solo dos valores numéricos, es decir un valor binario (0 y 1) donde:

- 1.- Indica el valor candidato para cierta actividad, en este caso, las zonas que son aptas para vivienda.
- 0.- Indica la anulación total de dicho sector para la actividad evaluada, es decir todas aquellas zonas que no son aptas o que no deben ser tomadas en cuenta.

Como se muestran en las siguientes figuras:



Figura 13: Restricción de Cuerpos de Agua



Figura 14: Restricción de corrientes



Figura 15: Restricción de Vías



Figura 16: Restricción de áreas Naturales
Protegidas

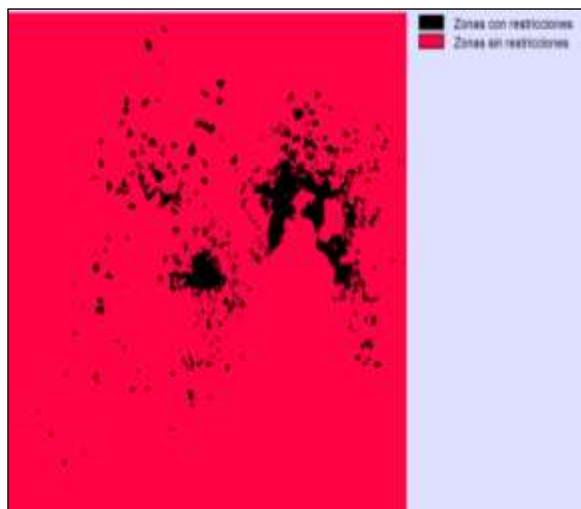


Figura 17: Restricción de áreas Urbanas

2.5.- PONDERACIÓN

Un aspecto importante a considerar, es la importancia relativa de cada criterio, frente al tipo de evaluación que se pretenda realizar.

Por lo que se requiere asignar un valor específico a cada criterio de acuerdo a su nivel de importancia relativa, a este valor se llama “peso o ponderación”.

| Tabla 4 : Ponderación de factores según su importancia | |
|---|-----------------------------------|
| 1 | Pendiente |
| 2 | Edafología |
| 3 | Capacidad Agrologica del Suelo |
| 4 | Accesibilidad vial |
| 5 | Alteracion morfodinamica: erosion |
| 6 | Litología |
| 7 | Visibilidad |

Fuente: Elaboración propia

Cabe mencionar que los valores asignados a las alternativas en la matriz de valoración, son una función del: número y naturaleza de los criterios.

Según Galacho y Ocaña, (2006), los atributos temáticos de los factores que han dado lugar a los criterios, presentan distintas escalas de medida, pero para la posterior aplicación de las reglas de decisión a través de las cuales se obtiene una evaluación particular, y desde el punto de vista operativo y de tratamiento de los datos, será necesario operar con los valores de los diferentes criterios. Por consiguiente, hay que resolver dos cuestiones: una que todos los atributos,

cuantitativos o no, estén expresados en valores numéricos y dos la adopción de un sistema de normalización de los valores de los criterios.

Es frecuente en estudios del territorio la necesidad de establecer jerarquias y pesos (W_j) a los factores que finalmente van a ser considerados en la regla de decisión. Podemos definir el objetivo de la ponderación como: “llegar a expresar, en términos cuantitativos, la importancia de los distintos elementos para acoger o ser afectados por una determinada actuación” (CEOTMA, 1991, citada por Gómez y Barredo, 2005).

Por lo tanto, la ponderación de los criterios consiste en asignar un peso relativo a cada uno de los factores, según la importancia o influencia que estos tienen para lograr el objetivo de determinar zonas aptas destinadas a viviendas en el Estado de México. La asignación de estos pesos, deben sumar uno, por lo que se pueden expresar los valores en forma decimal.

Existen diferentes formas de generar la ponderación:

- Pesos iguales
- Pesos definidos
- Proceso analítico jerárquico AHP (Analytical Hierarchy Process), que implica el uso del módulo WEIGHT en (IDRISI) para calcular el vector de prioridades directamente, el cual realiza la comparación por pares de una manera automatizada. Limón, (2013).

Por consiguiente, el proceso a utilizar en este modelo, es el proceso analítico jerárquico AHP, por medio de la comparación por pares, a través del Método de Saaty.

2.5.1.- Método de comparación de Saaty

Para la ponderación de los valores de los factores se utiliza el método de comparación por pares de Saaty (1980).

Se trata de un procedimiento de comparación por pares de los criterios que parte de una matriz cuadrada en la cual el número de filas y columnas está definido por el número de criterios a ponderar. Así se establece una matriz de comparación entre pares de criterios, comparando la importancia de cada uno de ellos con los demás, posteriormente se establece el eigenvector principal, el cual establece los pesos (W_j) que a su vez proporciona una medida cuantitativa de la consistencia de los juicios de valor entre pares de factores. (Saaty, 1980, citado por Gómez y Barredo, 2005).

Por lo tanto, el resultado es una matriz de comparación entre pares de clases, en la que se observa la importancia de cada una de ellas sobre cada una de los demás.

La escala de medida establecida para la asignación de los juicios de valor, es una escala de tipo continuo (ratios o razón) que va desde un valor mínimo de 1/9 hasta 9, definida por Saaty (1980), de la siguiente manera:

| | |
|-----|-----------------------------------|
| 1/9 | Absolutamente menos importante |
| 1/7 | Demostrablemente menos importante |
| 1/5 | Notablemente menos importante |
| 1/3 | Ligeramente menos importante |
| 1 | Igualmente importante |
| 3 | Ligeramente más importante |
| 5 | Notablemente más importante |
| 7 | Demostrablemente más importante |
| 9 | Absolutamente más importante |

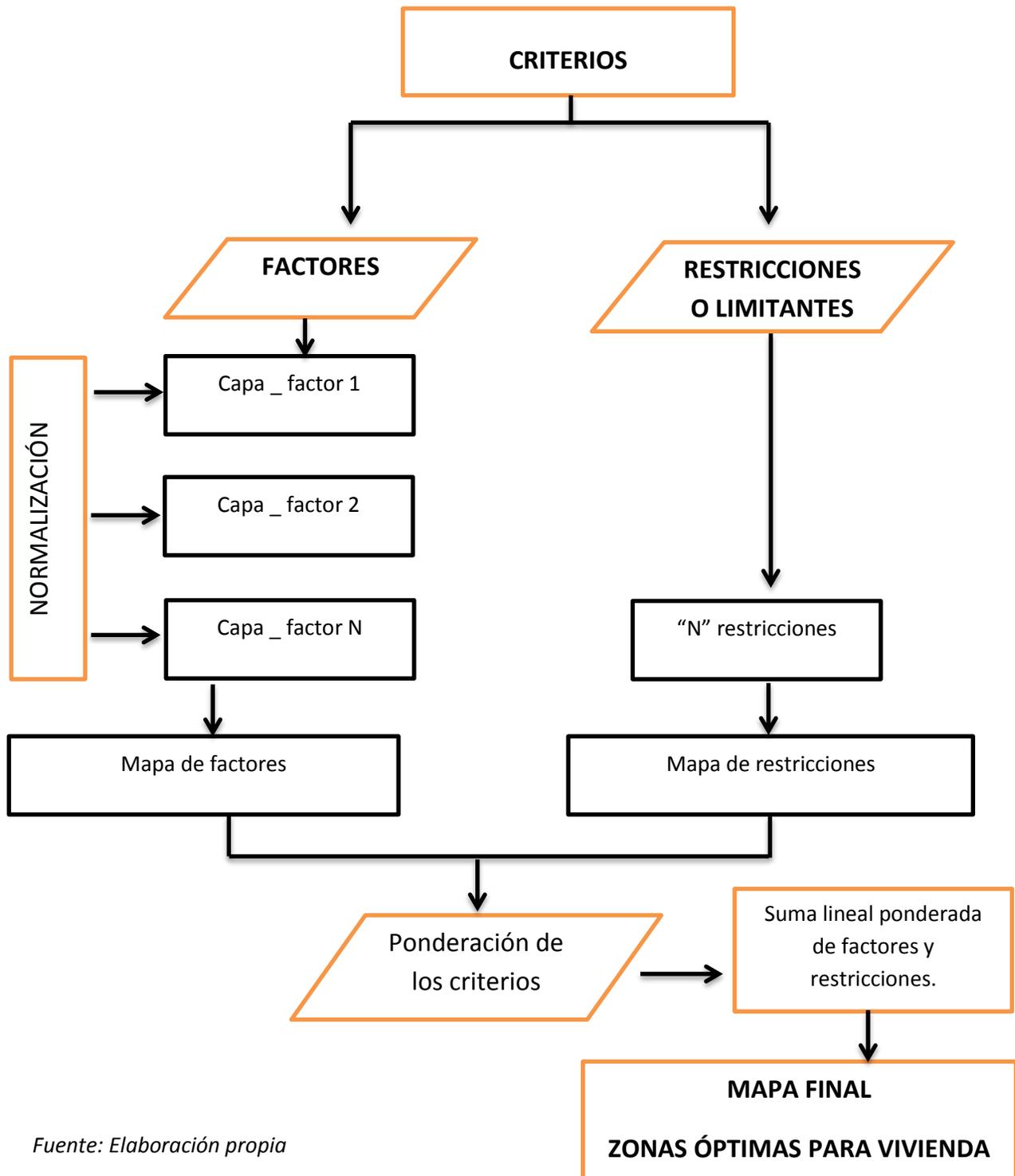
Tabla 5: Asignación de juicios de valor de Saaty

La ordenación jerárquica de las variables cualitativas (por ejemplo de mejor a peor), traducidas a valores numéricos, mediante una escala de medida de 1 a 10 (operación que se identifica como “función de utilidad”), permite puntuar con un valor numérico a las variables de este tipo.

Se advierte que, en este proceder, el problema se desplaza a cómo establecer la ordenación jerárquica, que implica un análisis de preferencias, problema del que no quedan excluidas las variables cuantitativas, expresadas en escala numérica, cuando no es proporcional su preferencia al valor de la variable. En este punto, las preferencias pueden estar claras para el analista (ocurre cuando intervienen juicios técnicos que avalan una determinada jerarquía) o pueden tener un nivel de incertidumbre importante. En este caso es conveniente recurrir a ciertos controles estadísticos, como el método de las “jerarquías analíticas” (Saaty, 1980), propuesto para ordenar las preferencias (aplicable a otros pasos, como la ponderación de criterios).

2.6.- PROCESAMIENTO

El procesamiento realizado para determinar zonas óptimas para vivienda, se muestra en el siguiente esquema:



Fuente: Elaboración propia

Es decir, una vez normalizados los factores y la asignación de los pesos de cada uno de ellos, se procesaran con las restricciones en el módulo de IDRISI, para la Evaluación Multicriterio.

Existen dos tipos principales de procedimientos de Evaluación Multicriterio, desde el punto de vista operativo y de tratamiento de los datos: las técnicas no compensatorias y las técnicas compensatorias (Jankowski, 1995).

Esta circunstancia tiene su justificación en que no se suelen emplear los criterios de restricción de manera numérica en escala de razón continuas, sino simplemente en forma de presencia o ausencia, puesto que no hay operaciones compensatorias con relación a ellos.

Dentro de los procedimientos compensatorios, se nos abre la posibilidad de utilizar dos tipos de métodos, como métodos de cálculo para derivar la ordenación lineal de las alternativas a partir de las puntuaciones que se le han adjudicado a los diferentes criterios: los aditivos (sumatoria lineal ponderada) y los de punto ideal.

En este caso, se usará:

2.6.1.- Sumatoria Lineal Ponderada

La ponderación lineal es permite abordar situaciones de incertidumbre o con pocos niveles de información, y es un método fácil y utilizado ampliamente en el mundo; en este método se construye una función de valor para cada una de las alternativas y es completamente compensatorio y puede resultar dependiente y manipulable en la asignación de pesos a los criterios o en la escala de medida de las evaluaciones. (María, 2007).

La sumatoria lineal ponderada, es un método simple e intuitivo que permite la agregación de los criterios, adjudicándoles un peso de acuerdo a su importancia. Esta adjudicación de pesos, como forma de ponderar su importancia respectiva, es un aspecto clave en el proceso, y responde lógicamente a un juicio técnico. Es una aceptación absoluta de la compensación entre los criterios, en la que el juicio técnico introduce la proporción en que, según su estimación, el valor de un criterio puede compensar el valor de otro. Si se entiende que el criterio es una parte delimitada del juicio, la agregación se intuye como un procedimiento acorde con el modelo. Tiene la ventaja de ser sencillo y claro. (Galacho y Ocaña, 2006).

La *combinación lineal ponderada* (WLC) es un procedimiento o técnica para la EMC, donde los criterios continuos (*factores*) se estandarizan en un rango numérico común, y luego se combinan por medio de un promedio ponderado. El resultado es un mapa de aptitud continua que luego puede recortarse por una o más restricciones booleanas para dar lugar a los criterios cualitativos, y finalmente se impone un umbral o limitante para producir una decisión final. A pesar de que estos dos procedimientos están bien establecidos en los SIG, frecuentemente conducen a resultados diferentes porque realizan declaraciones muy diferentes acerca de cómo deben evaluarse los criterios (Eastman, 2003).

2.6.2.- Procesamiento en el Módulo para la definición de pesos, en WEIGHT (IDRISI)

- El módulo inicia con la entrada de archivos o capas temáticas de cada criterio en formato raster, a escala 1:250 000

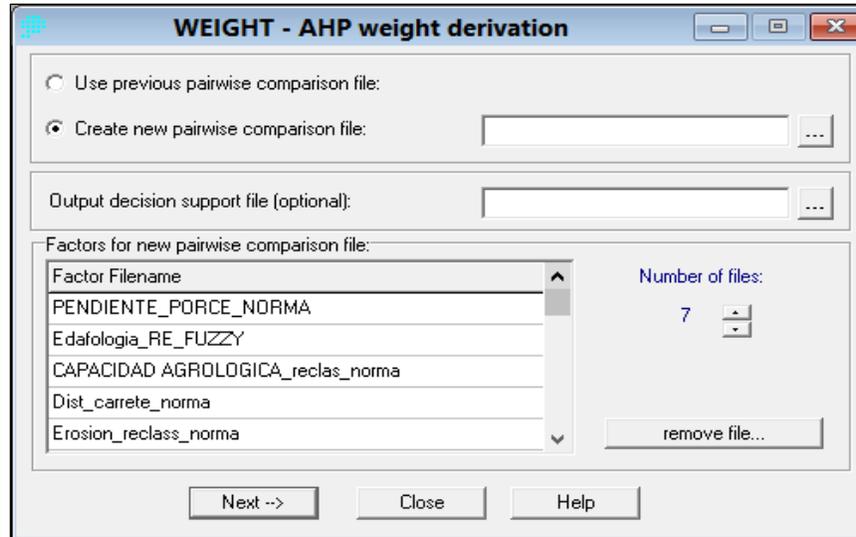


Figura 18: Módulo para la entrada de capas temáticas

- Como segunda fase, se realiza la definición de los pesos por criterios. Dichos pesos de los criterios (W_j) y el valor de las clases para cada capa y sus atributos (X_i) se definen con la ayuda de la herramienta WEIGHT, que nos permite sustentar matemáticamente los pesos asignados a cada factor, porque este se basa en la comparación de pares de elementos a partir de un procedimiento del análisis jerárquico.

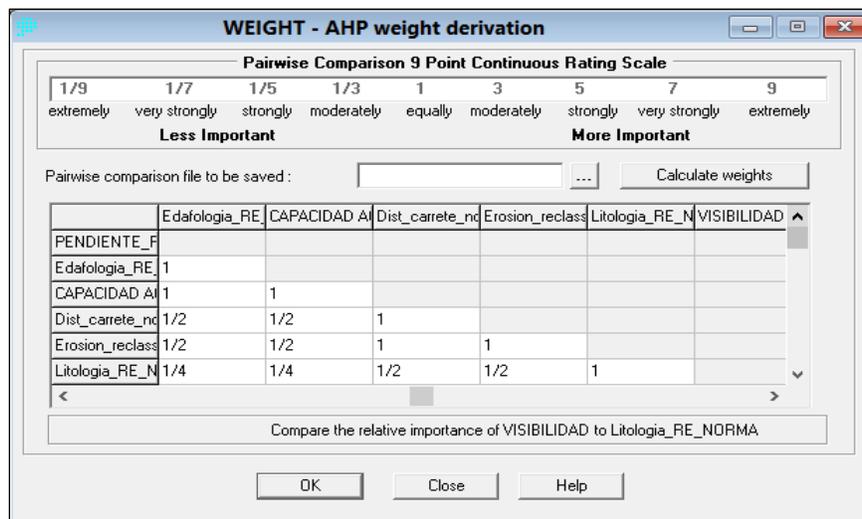


Figura 19: Módulo para la definición de pesos

Cabe mencionar, que el proceso de la asignación de pesos se realizó para cada capa de los factores considerando niveles jerárquicos.

Este módulo permite evaluar el grado de consistencia global a la matriz que surge del análisis de comparación por pares de factores.

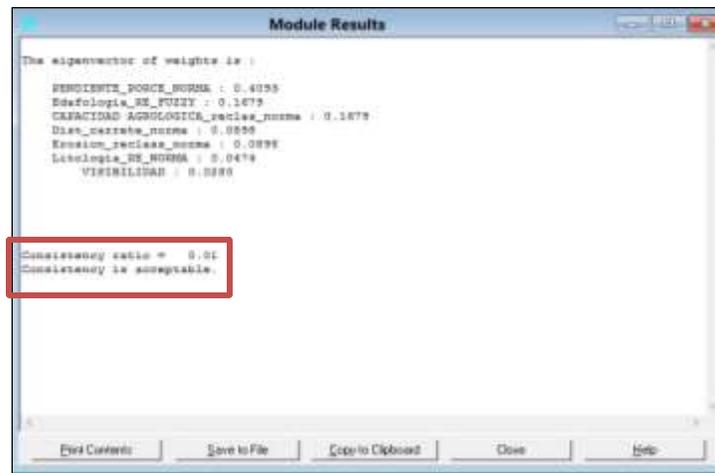


Figura 20 : Grado de consistencia global de la matriz

Es decir, que si la razón de consistencia es baja (cerca a 0), los coeficientes de ponderación son aceptables y si la consistencia es alta (cerca a 1), los coeficientes de ponderación no son aceptables y se inicia nuevamente el proceso de generación de matriz.

Tabla 6: Niveles jerárquicos y valores de ponderación de los factores

| Criteria | Weights |
|-----------------------------------|---------|
| Pendiente | 0.4093 |
| Edafologia | 0.1679 |
| Capacidad Agrológica del Suelo | 0.1679 |
| Accesibilidad vial | 0.0898 |
| Alteración morfodinámica: erosión | 0.0898 |
| Litología | 0.0474 |
| Visibilidad | 0.0280 |
| | 1 |

Fuente: Elaboración Propia

Se obtiene la ponderación por un coeficiente de 0 y 1, y la suma de estos en valor deberá ser de 1 para considerar que la consistencia es correcta.

2.6.3.- Procesamiento en el Módulo de Evaluación Multicriterio, en (IDRISI)

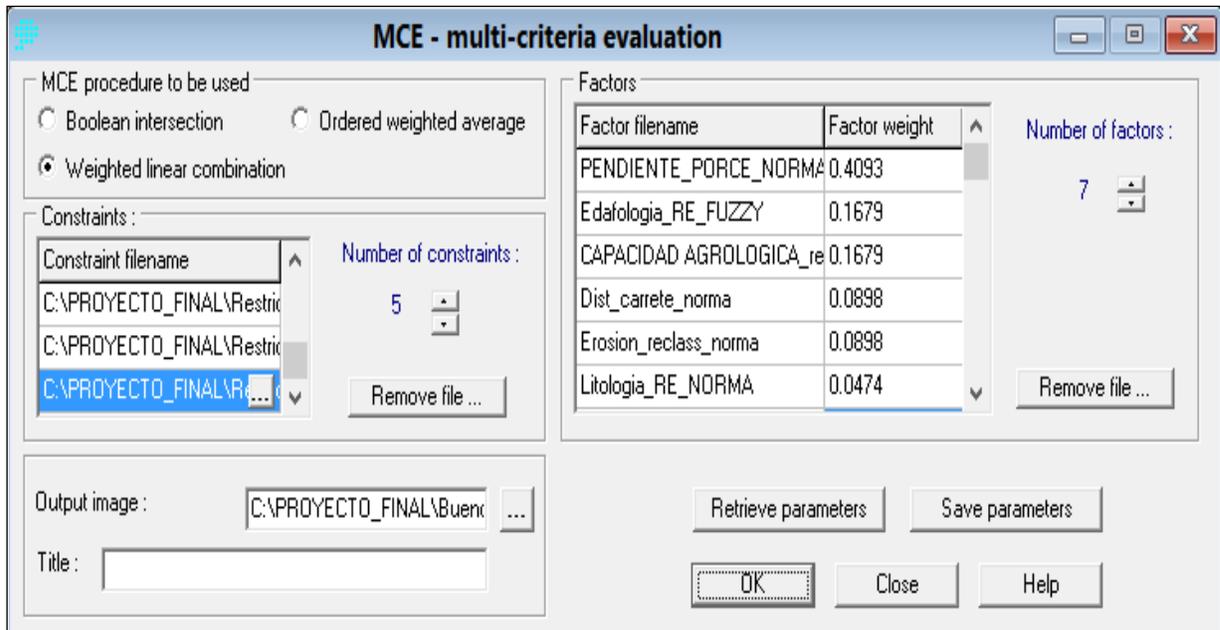


Figura 21 : Proceso en el Módulo de la Evaluación Multicriterio (IDRISI)

Al ejecutar el Módulo, con las respectivas restricciones y factores, se obtiene un mapa que muestra las zonas optimas destinadas a viviendas en el Estado de México, como se observa en la figura 22.

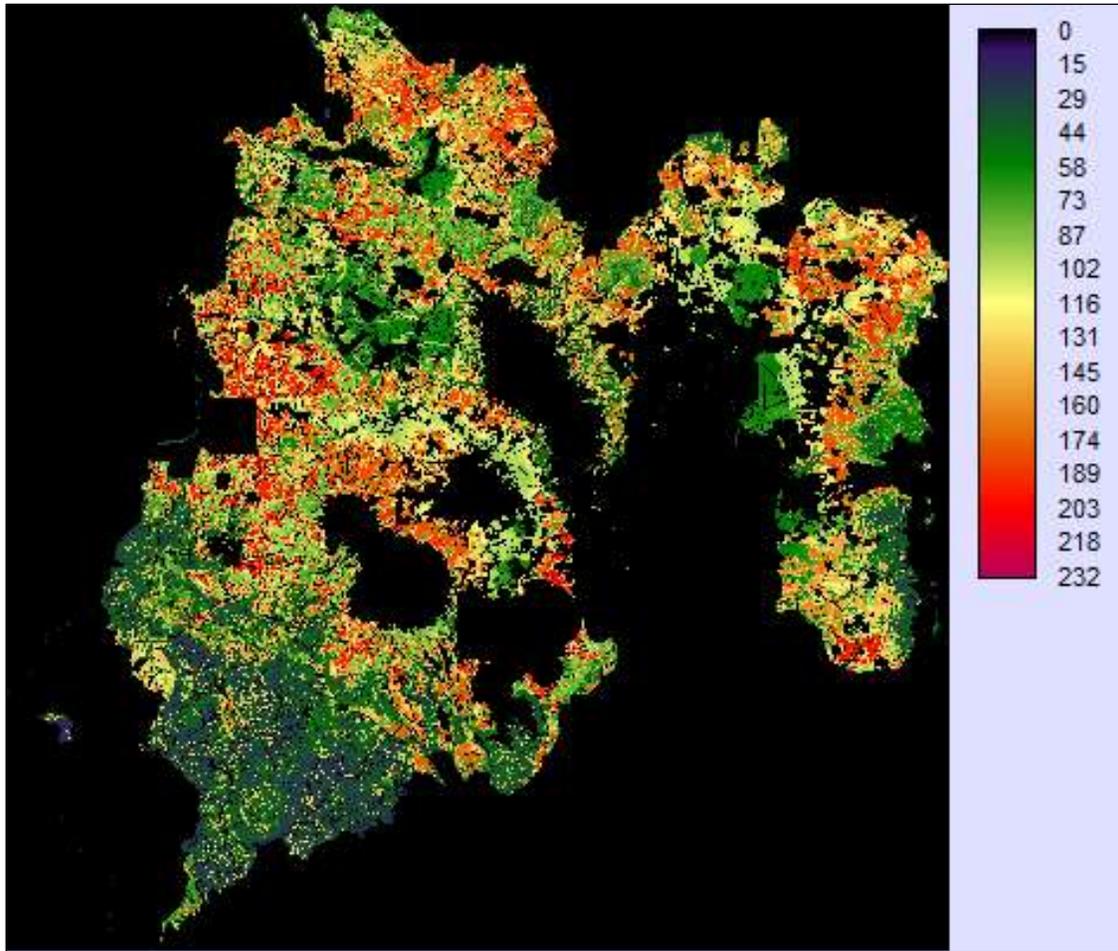


Figura 22 : Mapa final del resultado de la Evaluación Multicriterio.

Una vez obtenido el resultado (mapa final), se definen las categorías de aptitud como se muestra a continuación:

- 1) Muy alta aptitud
- 2) Alta aptitud
- 3) Media aptitud
- 4) Baja aptitud
- 5) Muy baja aptitud

Dichas categorías se obtuvieron, a partir del resultado del histograma obtenido del mapa final.

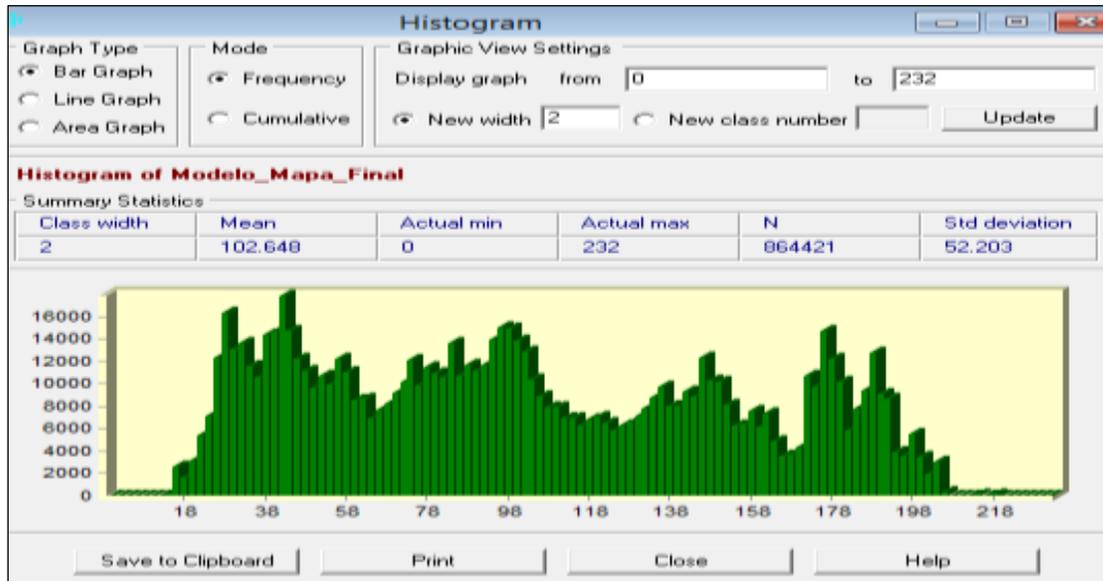


Figura 23 : Histograma para determinar rangos de aptitud

Una vez reclasificado el mapa final, con sus diferentes categorías de aptitud, este se abre posteriormente en ArcMap para poder editarlo y tener su representación final.

CAPÍTULO III

RESULTADOS

3.1.- RESULTADOS

El resultado obtenido de este Modelo de EMC para determinar zonas aptas destinadas a viviendas, como se muestra en la figura 23 , presenta una serie de categorías de aptitud, lo que indica que son las zonas con mayor aptitud son aquellas que se encuentran al norte del Estado de México.

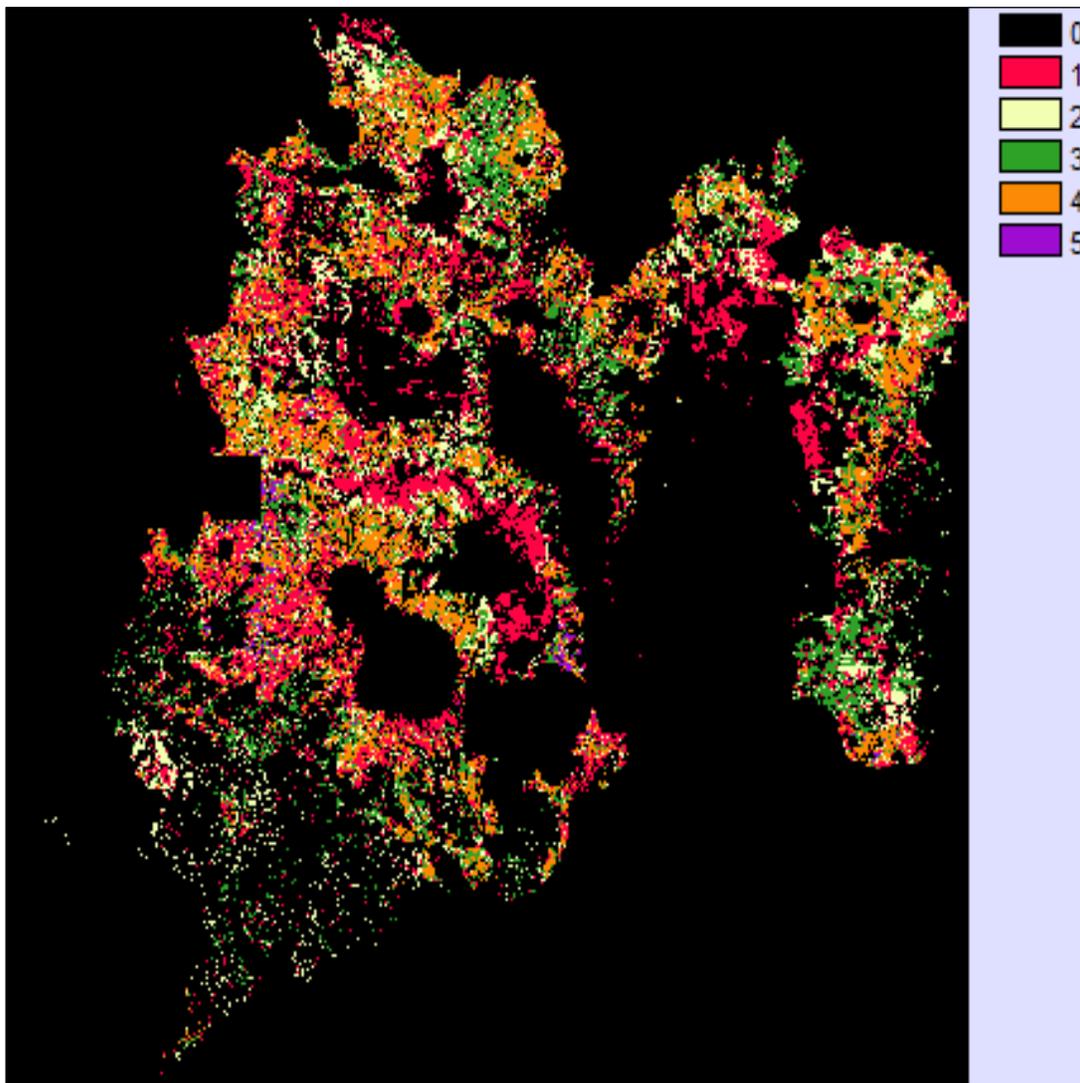


Figura 24 : Mapa obtenido del Módulo (EMC en IDRISI).

Por lo que podemos observar el grado de aptitud por municipio en la tabla siguiente:

Tabla 7: Nivel de Aptitud por municipios, del Estado de México

| Municipios | APTITUD (héctareas) | | | | |
|------------------------|----------------------------|-------------|--------------|-------------|-----------------|
| | Muy Alta | Alta | Media | Baja | Muy Baja |
| Acambay de Ruiz | 33 | 7086 | 4455 | 5030 | 7233 |
| Castañeda | | | | | |
| Aculco | 0 | 10908 | 4488 | 7353 | 4633 |
| Almoloya de Alquisiras | 0 | 252 | 1823 | 805 | 763 |
| Almoloya de Juárez | 94 | 11750 | 3998 | 5297 | 13192 |
| Almoloya de Río | 17 | 34 | 30 | 23 | 277 |
| Amanalco | 586 | 4120 | 1359 | 1906 | 7681 |
| Amatepec | 0 | 0 | 858 | 1575 | 605 |
| Atizapán | 0 | 2 | 5 | 5 | 352 |
| Atlacomulco | 5 | 4347 | 2150 | 3069 | 4863 |
| Calimaya | 0 | 2047 | 1355 | 1620 | 1131 |
| Capulhuac | 52 | 252 | 292 | 128 | 686 |
| Coatepec de Harinas | 0 | 4550 | 3117 | 2130 | 5558 |
| Chapa de Mota | 8 | 2545 | 2848 | 2091 | 5803 |
| Chapultepec | 0 | 0 | 8 | 42 | 492 |
| Donato Guerra | 534 | 3305 | 1173 | 1103 | 4384 |
| Isidro Fabela | 36 | 136 | 536 | 220 | 541 |
| Ixtapan de la Sal | 0 | 1267 | 1013 | 1100 | 748 |
| Ixtapan del Oro | 28 | 327 | 427 | 366 | 1591 |
| Ixtlahuaca | 3 | 1969 | 914 | 2041 | 3938 |
| Xalatlaco | 245 | 145 | 103 | 86 | 233 |
| Jilotepec | 0 | 8422 | 13252 | 7531 | 6606 |
| Jilotzingo | 41 | 181 | 805 | 355 | 1311 |
| Jiquipilco | 6 | 803 | 1581 | 2086 | 3944 |
| Jocotitlán | 14 | 1981 | 1161 | 1919 | 4938 |
| Joquicingo | 14 | 42 | 81 | 195 | 161 |
| Lerma | 23 | 194 | 322 | 897 | 6573 |
| Malinalco | 0 | 1784 | 686 | 488 | 1645 |
| Metepec | 0 | 45 | 120 | 213 | 652 |
| Mexicaltzingo | 0 | 70 | 75 | 117 | 391 |
| Morelos | 50 | 3086 | 2369 | 1911 | 4283 |
| Nicolás Romero | 11 | 1211 | 3798 | 1364 | 1995 |
| Ocoyoacac | 9 | 863 | 606 | 238 | 941 |
| Ocuilan | 364 | 1631 | 502 | 727 | 4453 |
| El Oro | 25 | 2252 | 1600 | 1597 | 3438 |
| Otzoloapan | 0 | 234 | 1213 | 852 | 831 |
| Otzolotepec | 5 | 531 | 853 | 519 | 1533 |
| Polotitlán | 0 | 1014 | 864 | 1483 | 2394 |

| | | | | | |
|-------------------------|------|------|------|------|------|
| Rayón | 0 | 89 | 100 | 98 | 323 |
| San Antonio la Isla | 0 | 6 | 39 | 59 | 1545 |
| San Felipe del Progreso | 400 | 4239 | 2730 | 5372 | 7300 |
| San Mateo Atenco | 0 | 0 | 0 | 0 | 88 |
| San Simón de Geurrero | 2 | 178 | 1845 | 744 | 764 |
| Santo Tomás | 0 | 47 | 397 | 297 | 575 |
| Soyaniquilpan de Juárez | 0 | 4927 | 3508 | 1883 | 1209 |
| Sultepec | 0 | 0 | 900 | 2927 | 964 |
| Tejupilco | 0 | 539 | 2330 | 4814 | 2158 |
| Temascalcingo | 116 | 2789 | 2833 | 2959 | 6813 |
| Temascaltepec | 392 | 3988 | 4439 | 2958 | 9989 |
| Temoaya | 2 | 2089 | 1488 | 2359 | 2722 |
| Tenancingo | 72 | 152 | 23 | 39 | 78 |
| Tenango del valle | 14 | 819 | 467 | 430 | 1366 |
| Tepotzotlán | 0 | 4341 | 2053 | 1902 | 2188 |
| Texcaltitlán | 20 | 1631 | 1566 | 1178 | 1778 |
| Texcalyacac | 0 | 20 | 77 | 64 | 105 |
| Tianguistenco | 1016 | 1191 | 569 | 270 | 1408 |
| Timilpan | 0 | 1177 | 656 | 1538 | 3483 |
| Tlatlaya | 0 | 283 | 1177 | 1695 | 1023 |
| Toluca | 28 | 4234 | 2261 | 3147 | 5070 |
| Tonatico | 0 | 1323 | 1175 | 766 | 609 |
| Valle de Bravo | 1588 | 5067 | 3009 | 2998 | 9319 |
| Villa de Allende | 1044 | 3114 | 1383 | 1458 | 4052 |
| Villa del Carbón | 17 | 3063 | 3239 | 1517 | 2895 |
| Villa Guerrero | 38 | 2531 | 1761 | 1359 | 3895 |
| Villa Victoria | 850 | 9250 | 6116 | 5538 | 7602 |
| Xonactlán | 3 | 169 | 238 | 231 | 394 |
| Zacazonapan | 0 | 264 | 811 | 327 | 619 |
| Zacualpan | 0 | 981 | 902 | 1902 | 758 |
| Zinacanpetec | 58 | 3739 | 1233 | 1211 | 1534 |
| Zumpahuacán | 0 | 822 | 1142 | 542 | 552 |
| Luvianos | 0 | 156 | 744 | 4963 | 1838 |
| San Jose del Rincón | 239 | 9792 | 3298 | 5139 | 6981 |
| Acolman | 0 | 255 | 1403 | 1323 | 1992 |
| Amecameca | 0 | 0 | 1094 | 936 | 706 |
| Apaxco | 0 | 266 | 970 | 661 | 381 |
| Atenco | 0 | 0 | 0 | 66 | 2269 |
| Atizapan de Zaragoza | 0 | 217 | 341 | 111 | 259 |
| Atlautla | 106 | 694 | 1234 | 2411 | 800 |
| Axapusco | 0 | 5153 | 5614 | 5658 | 3581 |
| Ayapango | 6 | 23 | 903 | 806 | 1528 |
| Coacalco de Berriozabal | 0 | 8 | 2 | 3 | 127 |
| Cocotitlán | 0 | 0 | 42 | 20 | 300 |
| Coyotepec | 0 | 673 | 200 | 428 | 917 |
| Cuautitlán | 0 | 0 | 0 | 41 | 1225 |
| Chalco | 0 | 866 | 1603 | 1138 | 1619 |

| | | | | | |
|-----------------------------|-----|------|------|------|------|
| Chiautla | 3 | 84 | 150 | 241 | 277 |
| Chicoloapan | 0 | 781 | 352 | 700 | 500 |
| Chinconcuac | 0 | 33 | 19 | 13 | 163 |
| Chimalhuacán | 0 | 22 | 56 | 173 | 284 |
| Ecatepec de Morelos | 0 | 16 | 288 | 31 | 139 |
| Ecatzingo | 103 | 861 | 198 | 409 | 1505 |
| Huehuetoca | 0 | 1855 | 892 | 1509 | 1292 |
| Hueypoxtla | 0 | 2103 | 3770 | 2836 | 2652 |
| Huixquilucan | 0 | 417 | 288 | 208 | 831 |
| Ixtapaluca | 0 | 2827 | 1692 | 1114 | 2034 |
| Jaltenco | 0 | 0 | 0 | 0 | 342 |
| Juchitepec | 6 | 145 | 4795 | 1853 | 2188 |
| Melchor Ocampo | 0 | 0 | 0 | 5 | 834 |
| Naucalpan de Juárez | 13 | 678 | 652 | 406 | 1130 |
| Nezahualcóyotl | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| Nextlalpan | 0 | 0 | 0 | 0 | 2042 |
| Nopaltepec | 0 | 1014 | 927 | 1347 | 1195 |
| Otumba | 0 | 4369 | 2148 | 2327 | 1592 |
| Ozumba | 73 | 461 | 1002 | 842 | 714 |
| Papalotla | 0 | 0 | 3 | 2 | 0 |
| La Paz | 0 | 2 | 80 | 20 | 28 |
| San Martín de las Piramides | 0 | 1273 | 1041 | 698 | 831 |
| Tecamac | 2 | 1014 | 681 | 1311 | 1559 |
| Temamatla | 0 | 0 | 564 | 320 | 758 |
| Temascalapa | 0 | 2416 | 2420 | 2225 | 2863 |
| Tenango del Aire | 0 | 0 | 1559 | 348 | 445 |
| Teoloyucan | 0 | 9 | 38 | 131 | 1330 |
| Teotihuacán | 0 | 2422 | 897 | 1038 | 1470 |
| Tepetlaoxtoc | 5 | 2742 | 2928 | 1227 | 1977 |
| Tepetlixpa | 113 | 391 | 1519 | 503 | 450 |
| Tequixquiac | 0 | 2634 | 1936 | 1603 | 1041 |
| Texcoco | 5 | 4028 | 3116 | 2348 | 6528 |
| Tezoyuca | 0 | 61 | 191 | 173 | 175 |
| Tlalmanalco | 0 | 0 | 1025 | 891 | 489 |
| Tlanepantla de Baz | 0 | 5 | 11 | 27 | 11 |
| Tultepec | 0 | 70 | 9 | 64 | 789 |
| Zumpango | 0 | 572 | 1792 | 2806 | 6988 |
| Cuautitlán Izcalli | 0 | 609 | 275 | 519 | 856 |
| Valle de Chalco Solidaridad | 0 | 0 | 2 | 66 | 23 |
| Tonaitla | 0 | 0 | 0 | 0 | 23 |
| Tultitlán | 0 | 5 | 6 | 9 | 580 |

Fuente: Elaboración propia

3.1.- ZONAS CON APTITUD MUY ALTA Y ALTA:

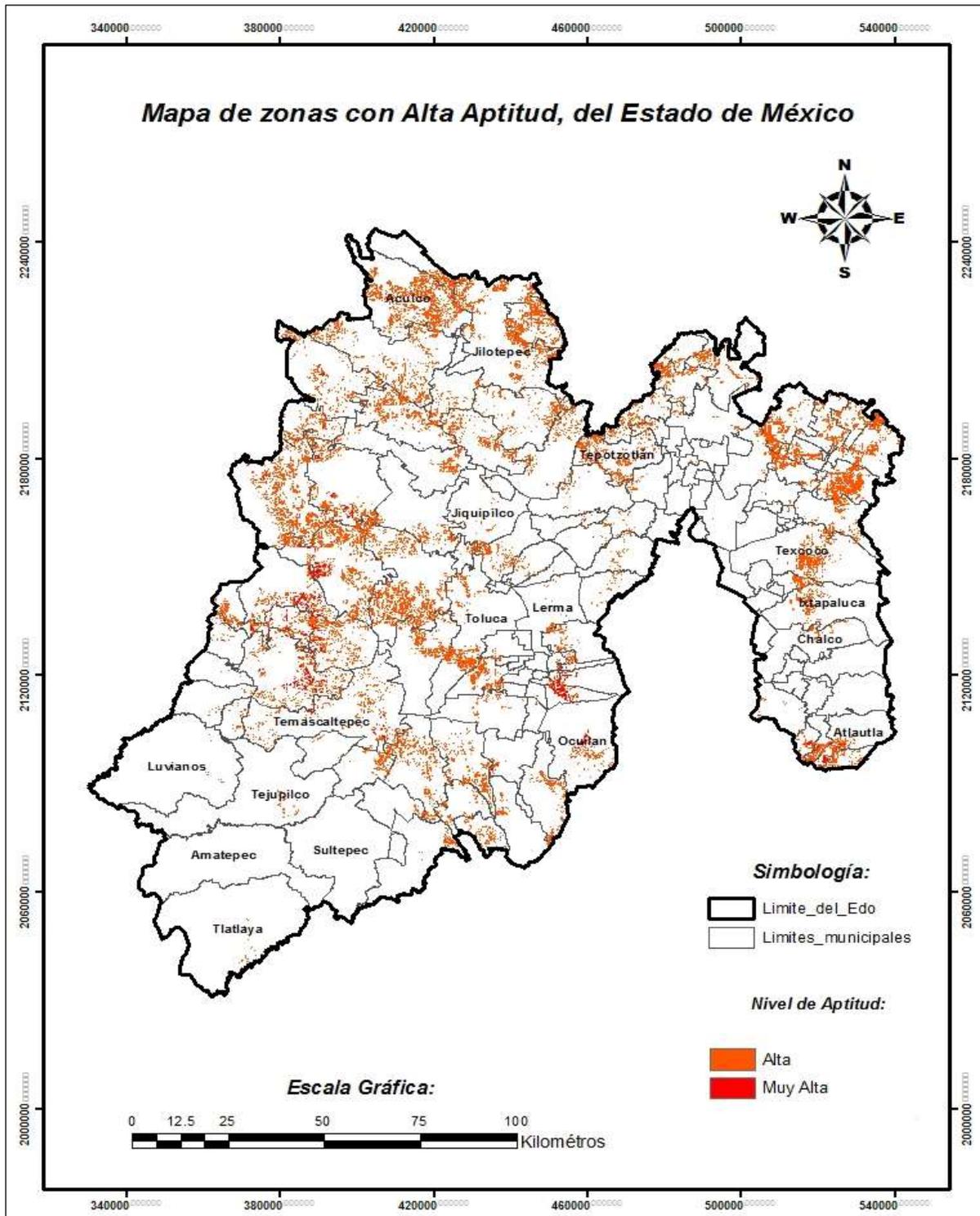


Figura 25 : Mapa de zonas con alta y muy alta aptitud, del Estado de México.

Esto indica, que las zonas con mayor aptitud destinadas a viviendas, se encuentran localizadas en la parte norte y centro del Estado principalmente.

Sin embargo, se realizaron gráficos, con los 10 municipios mas representativos en su aptitud alta y muy alta, como se muestra en la figura 26 y 27. Siendo Valle de Bravo, Villa de Allende y Tianguistenco los mas sobresalientes en aptitud muy alta, con una extensión en hectáreas de 1588, 1044 y 1016 respectivamente.

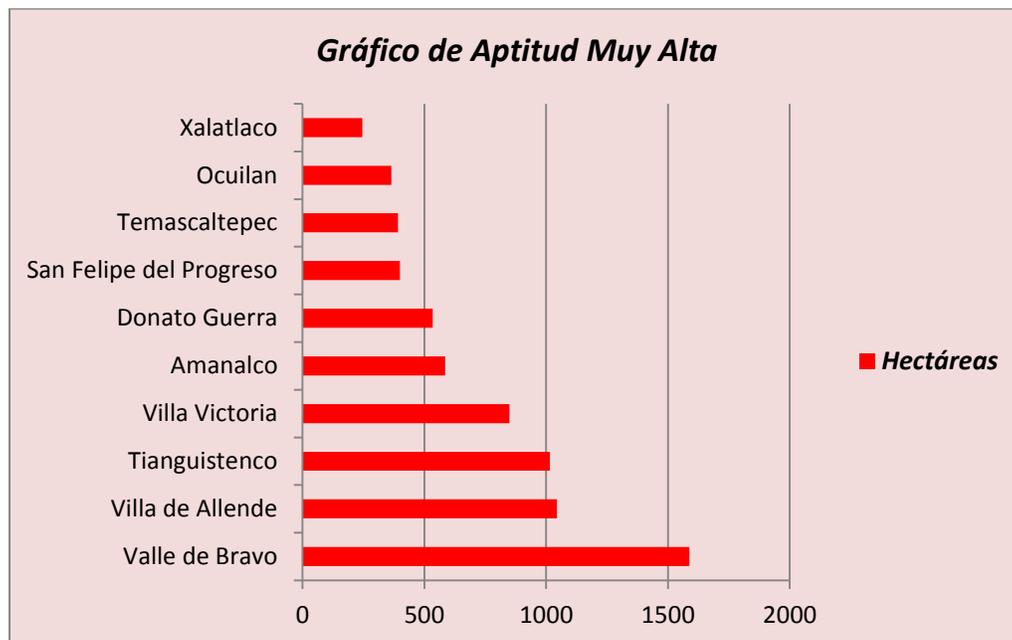


Figura 26.- Municipios con muy alta aptitud, del Estado de México

Por otro lado, con una aptitud alta, se encuentran los municipios de Almoloya de Juárez con 11750 has y Aculco con 10908 has, como lo muestra la figura 27.

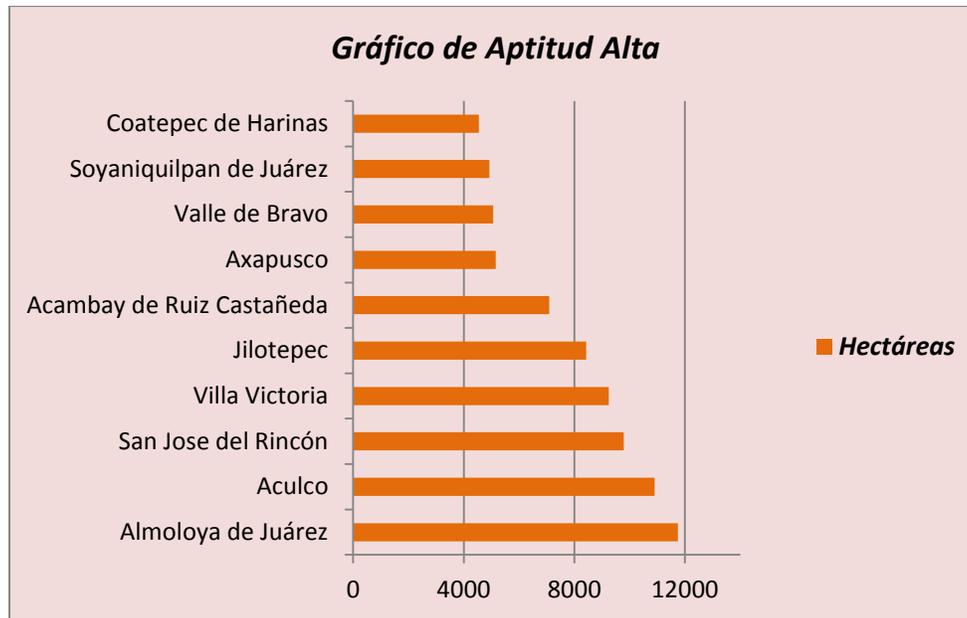


Figura 27.- Municipios con alta aptitud, del Estado de México

Estas zonas clasificadas con aptitud muy alta y alta ocupan una extensión total de 8742.187 has y 198901.562 has respectivamente, estas se encuentran en zonas de pendiente suave, muy cerca de zonas urbanas ya establecidas en el Estado de México, como se muestra en la figura 28.

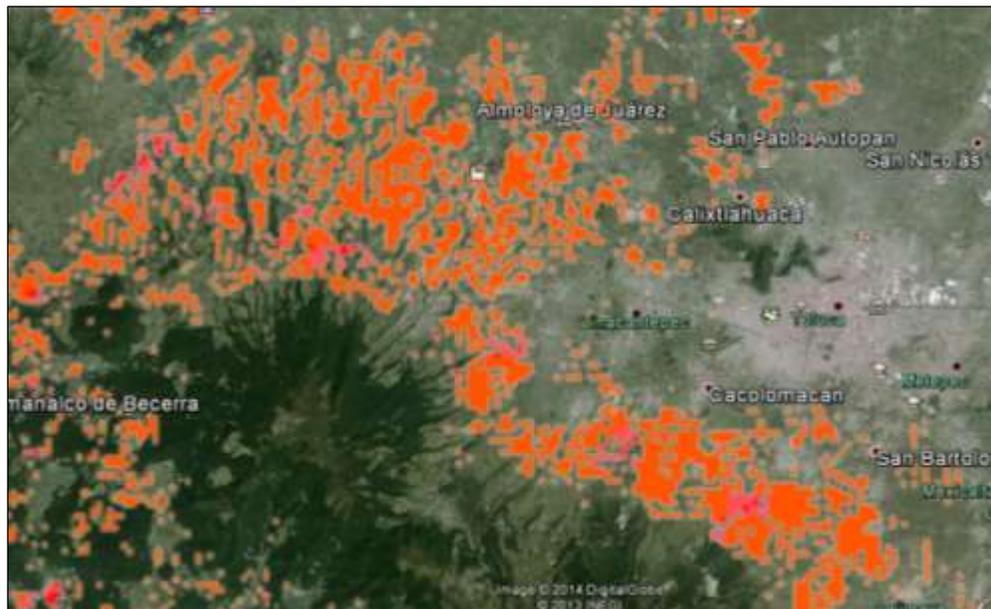


Figura 28.- Zonas representativas de alta aptitud, del Estado de México

Como ya se mencionó, el resultado de este modelo de Evaluación Multicriterio, muestra que el área recomendada para las zonas más óptimas para el sector vivienda, contempla una extensa área ubicada al norte, noreste y centro del Estado las cuales coinciden con zonas ya ocupadas por centros poblados, y estas ejerce una fuerte influencia en el valor de aptitud, ya que la asignación de estas clases (alta y muy alta), están estrechamente relacionadas con zonas urbanas ya existentes.

Tal es el ejemplo, de la zona norte y noreste de Toluca, ya que está es la más apta para la implantación de viviendas y estas coinciden con zonas urbanas ya establecidas, además que se presentan en zonas de valle o pendiente suave, discriminando por completo al Parque Nevado de Toluca.

3.2.- ZONAS CON APTITUD MEDIA:

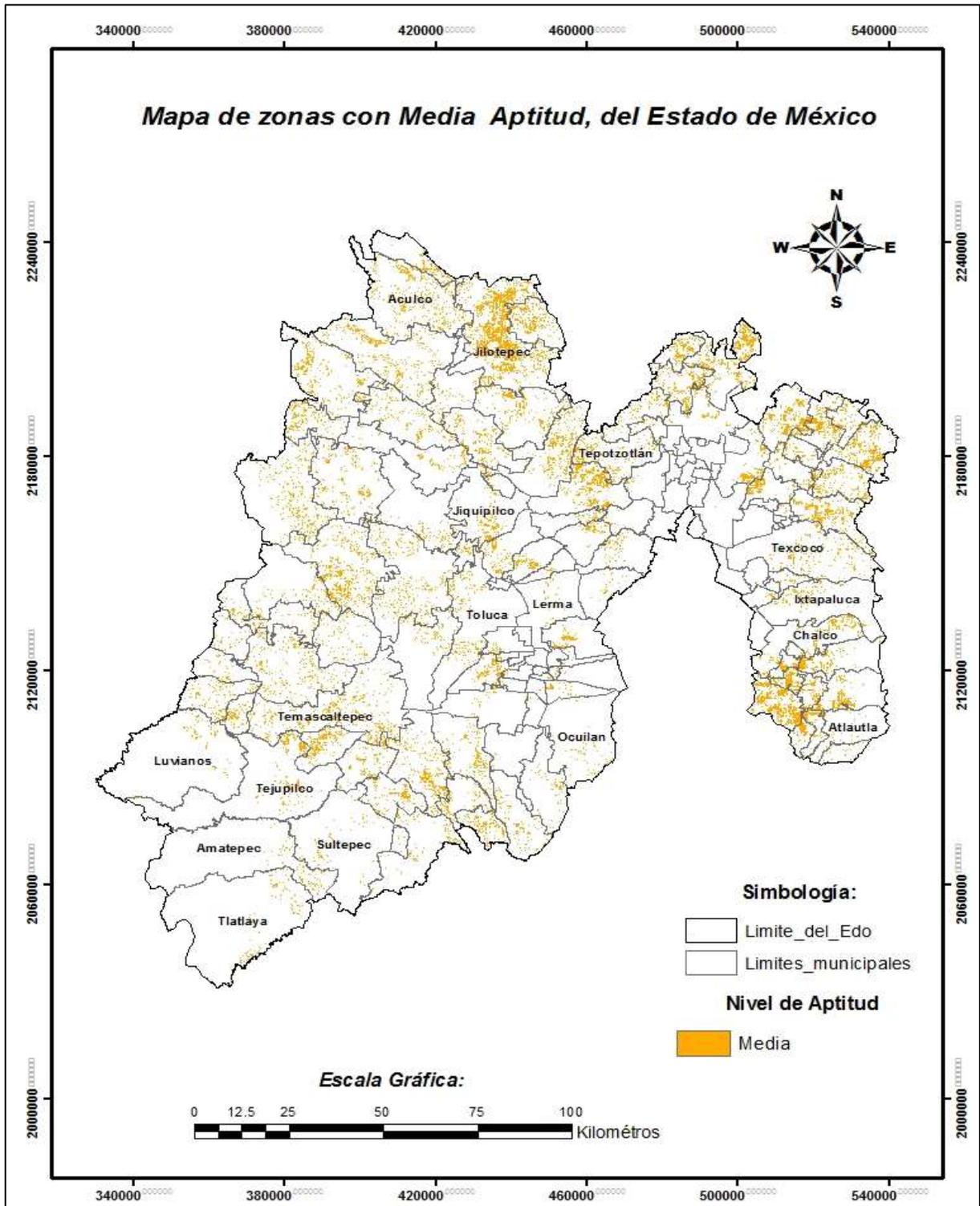


Figura 29.- Mapa de zonas con media aptitud, del Estado de México

Por otro lado, las zonas con una aptitud media, representan una extensión total de 170500 has. El municipio de Jilotepec, Villa Victoria y Axapusco son los que cuentan con una mayor extensión en hectáreas (13252, 6116 y 5614has respectivamente) con aptitud media como se muestra en la figura 30.

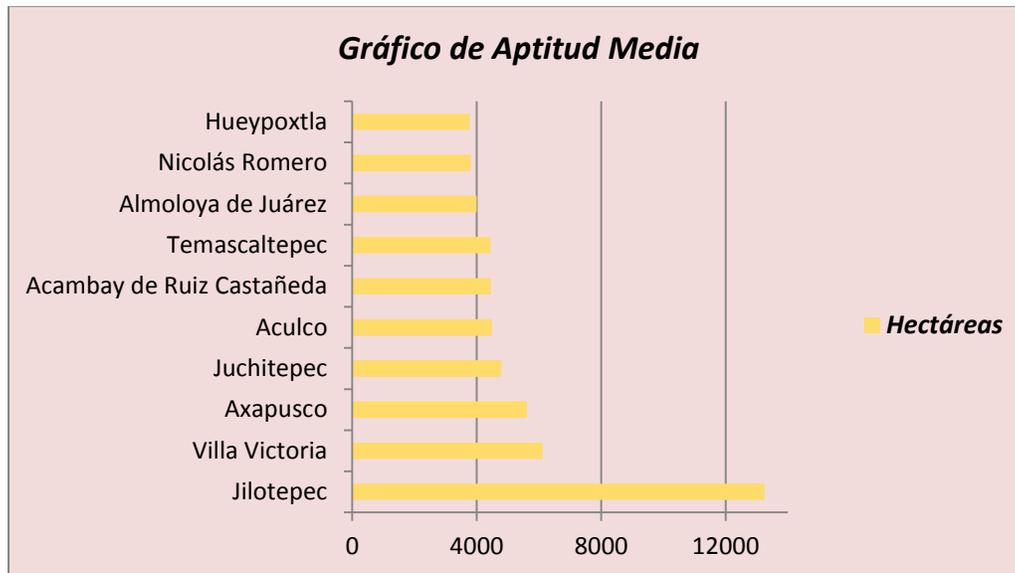


Figura 30.- Municipios con media aptitud, del Estado de México



Figura 31.- Zonas representativas de media aptitud, del Estado de México

3.3.- ZONAS CON APTITUD BAJA Y MUY BAJA:

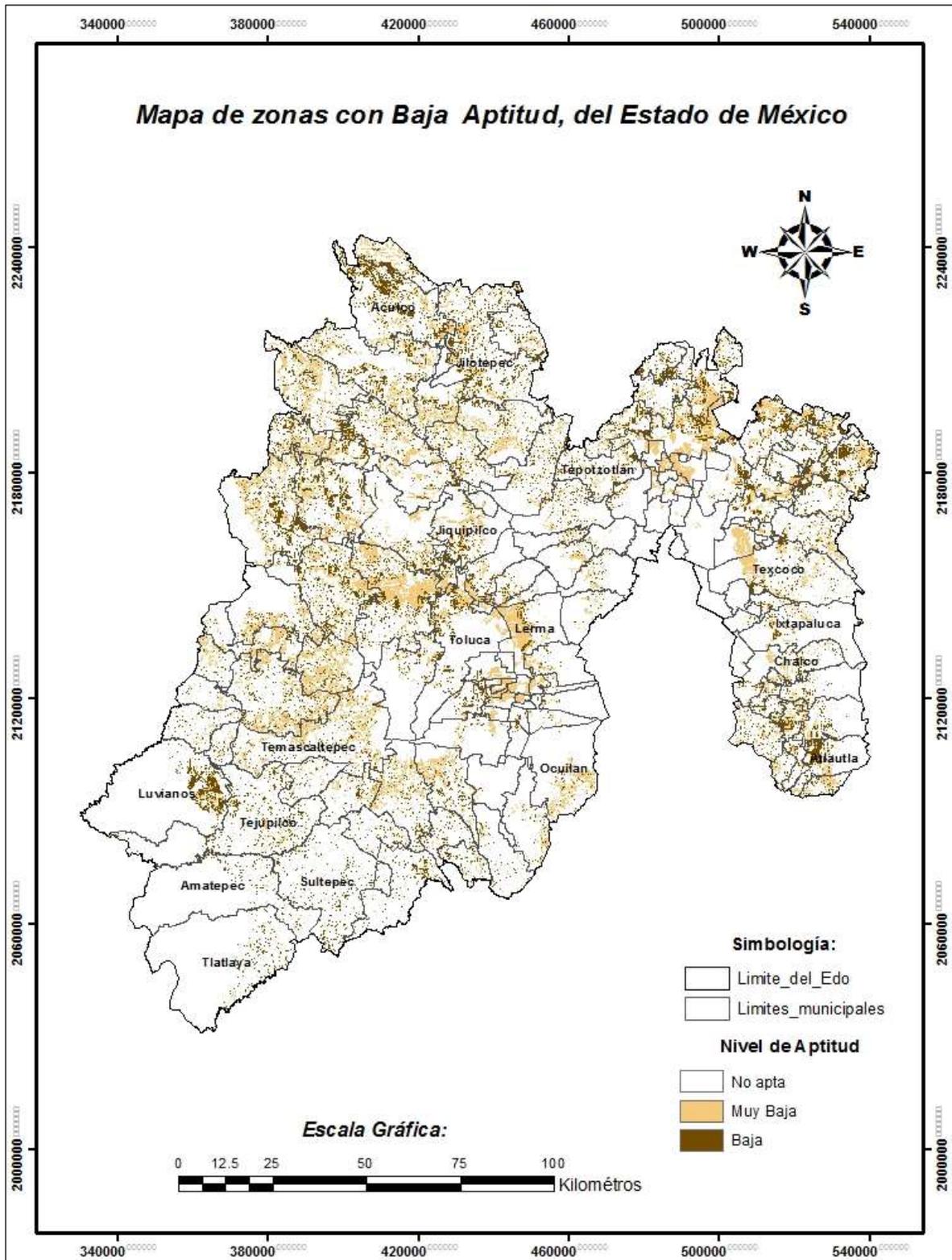


Figura 32 : Mapa de zonas con baja y muy baja aptitud, del Estado de México

Las zonas, que tienen una menor aptitud dentro del Estado de México para la implantación de viviendas, son aquellas que corresponden a pendientes altas. La extensión que ocupan la zonas con clasificación de aptitud baja y muy baja, es de 169364.062 has y 273000 has respectivamente, lo cual hace evidente que gran parte del territorio del Estado de México no puede ser urbanizado, mostrando a los 10 municipios con aptitud baja y muy baja en las figuras 33 y 34.

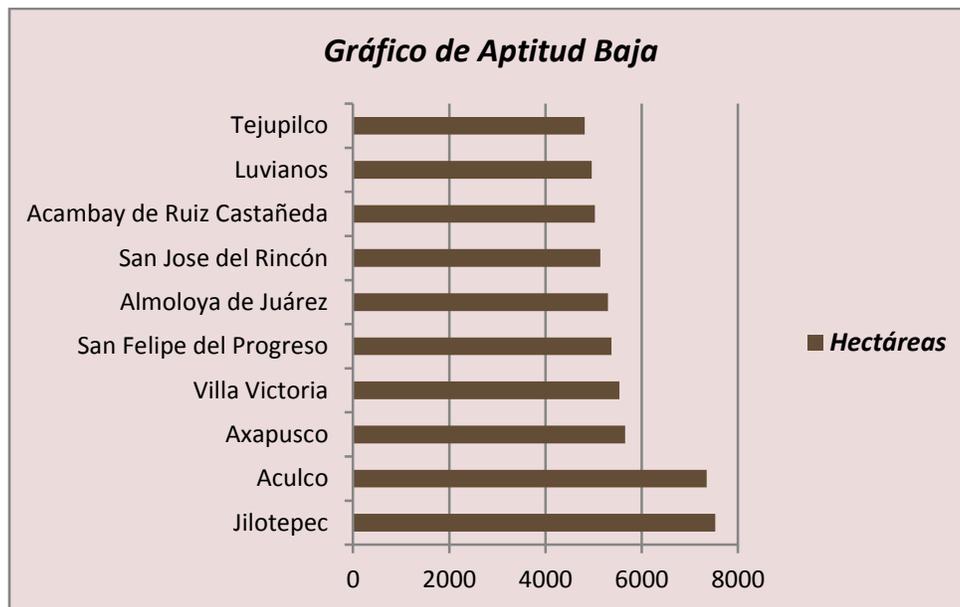


Figura 33.- Municipios con baja aptitud, del Estado de México

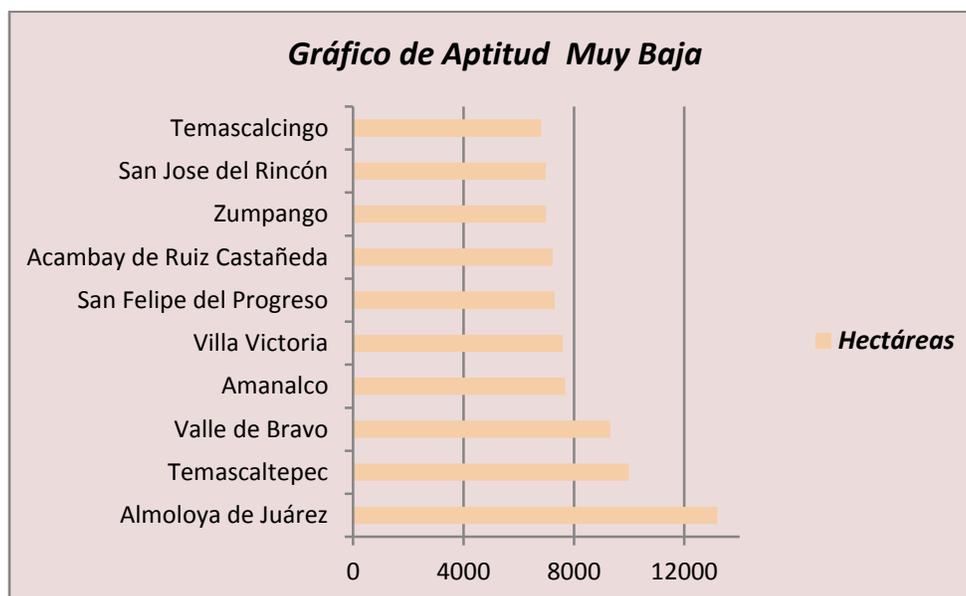


Figura 34.- Municipios con muy baja aptitud, del Estado de México

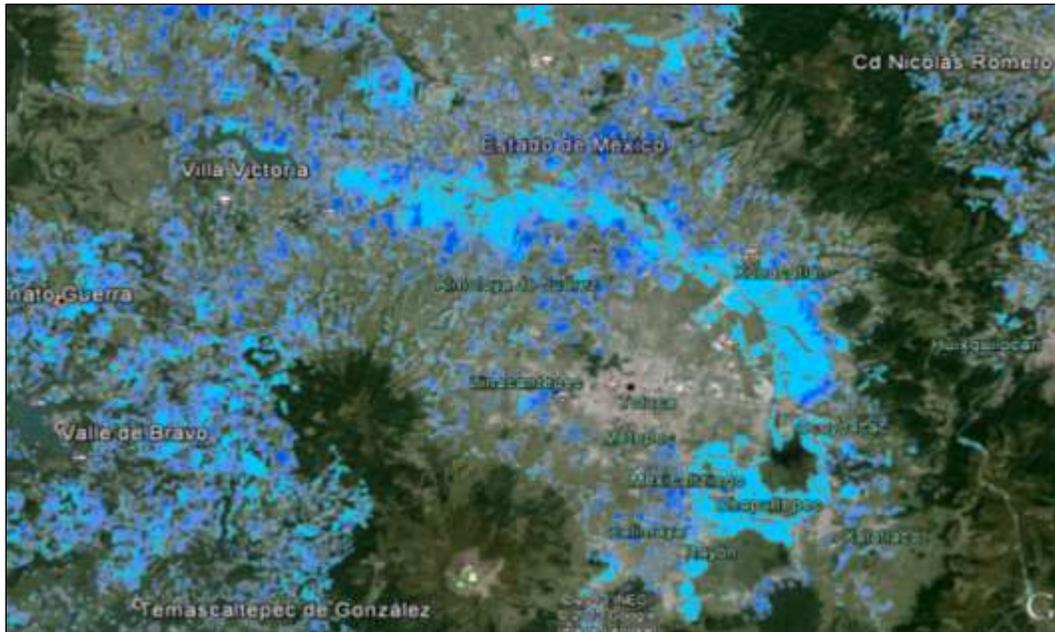


Figura 35.-Zonas representativas de baja aptitud, del Estado de México

Además cabe mencionar que las zonas no aptas, son aquellas en las que se encuentran ciertas restricciones o limitantes, tales como: áreas naturales protegidas, vías, cuerpos de agua, ríos, zonas urbanas.

3.4.- POLÍGONOS DE CONTENCIÓN URBANA

De acuerdo a los resultados anteriores, es necesario realizar una comparación con los polígonos de Contención Urbana, estos referidos a un modelo de desarrollo urbano, que tiene como objetivo consolidar ciudades competitivas, productivas y sustentables.

Según la SEDATU, existen Perímetros de Contención Urbana, que enfatizan que:

- La superficie de las ciudades debe crecer lo estrictamente necesario
- Los desarrollos habitacionales fuera de los contornos urbanos deben ser la excepción

Sus principales objetivos son:

1. Controlar la expansión desordenada de las manchas urbanas
2. Consolidar las ciudades
3. Reducir el rezago de vivienda y rehabilitar el parque habitacional existente
4. Promover sistemas de movilidad sustentables y eficientes

Por lo que estos perímetros de contención urbana se dividen en:

- **U1:** contorno central, con altas concentraciones de empleo, infraestructura y servicios.
- **U2:** contorno intermedio, se pueden encontrar niveles de cobertura de servicios hasta de 75%.
- **U3:** contorno de expansión y crecimiento urbano, adyacente a la mancha urbana consolidada.

Tal y como se muestra en la figura 36 y 37, son las zonas en color azul, verde y rojo las más adecuadas para consolidar las ciudades, de acuerdo a sus perímetros de contención urbana.

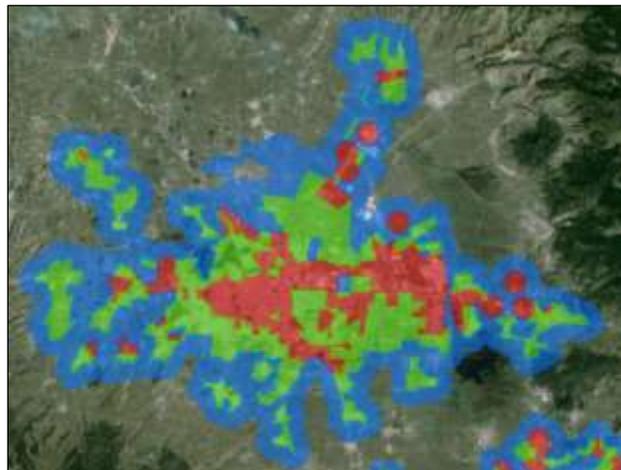


Figura 36.- Polígonos de Contención Urbana de Toluca, Estado de México

MAPA FINAL CON POLÍGONOS DE CONTENCIÓN URBANA

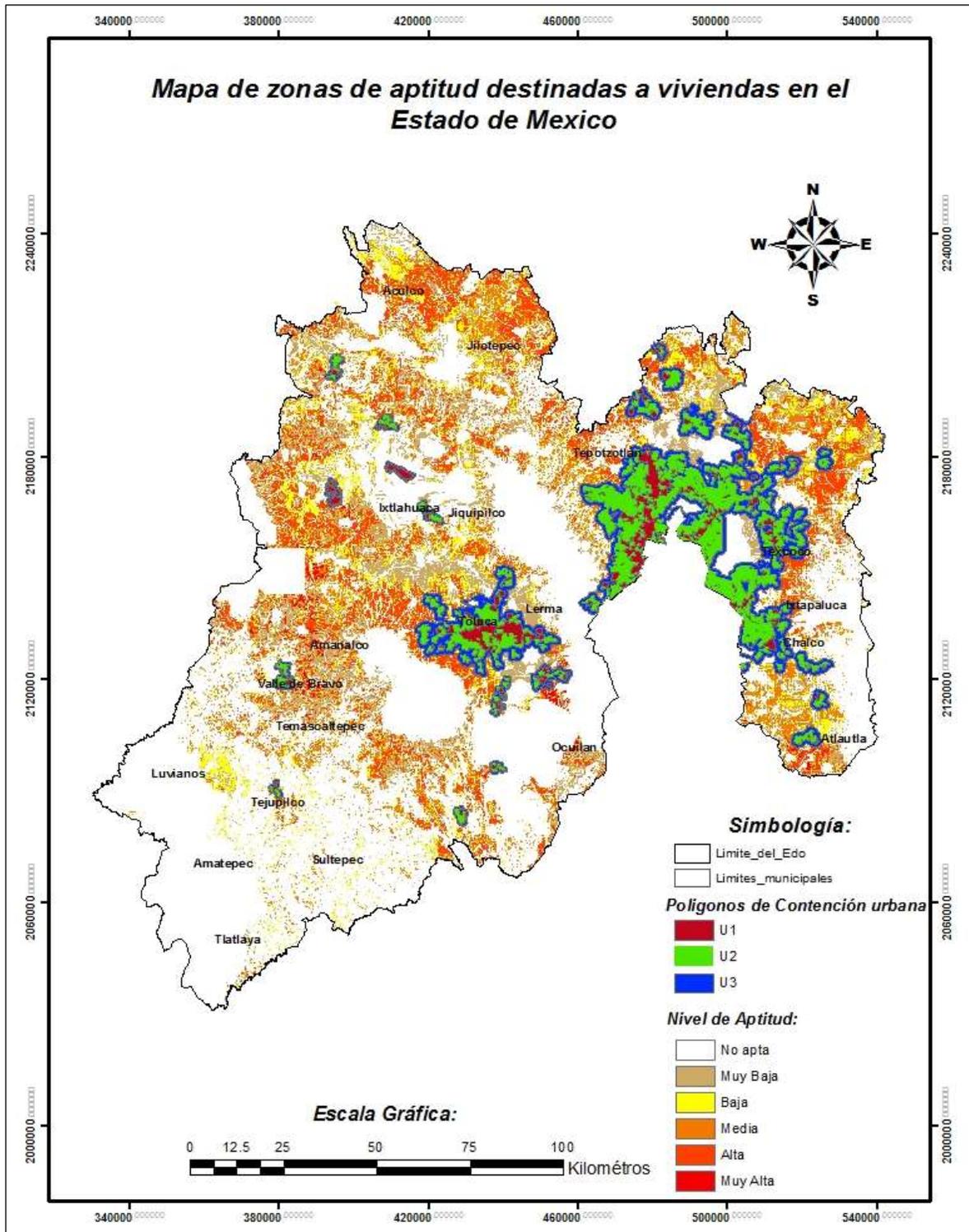


Figura 37.- Mapa final con Polígonos de Contención Urbana, Estado de México

3.5.- RESULTADO: MAPA FINAL

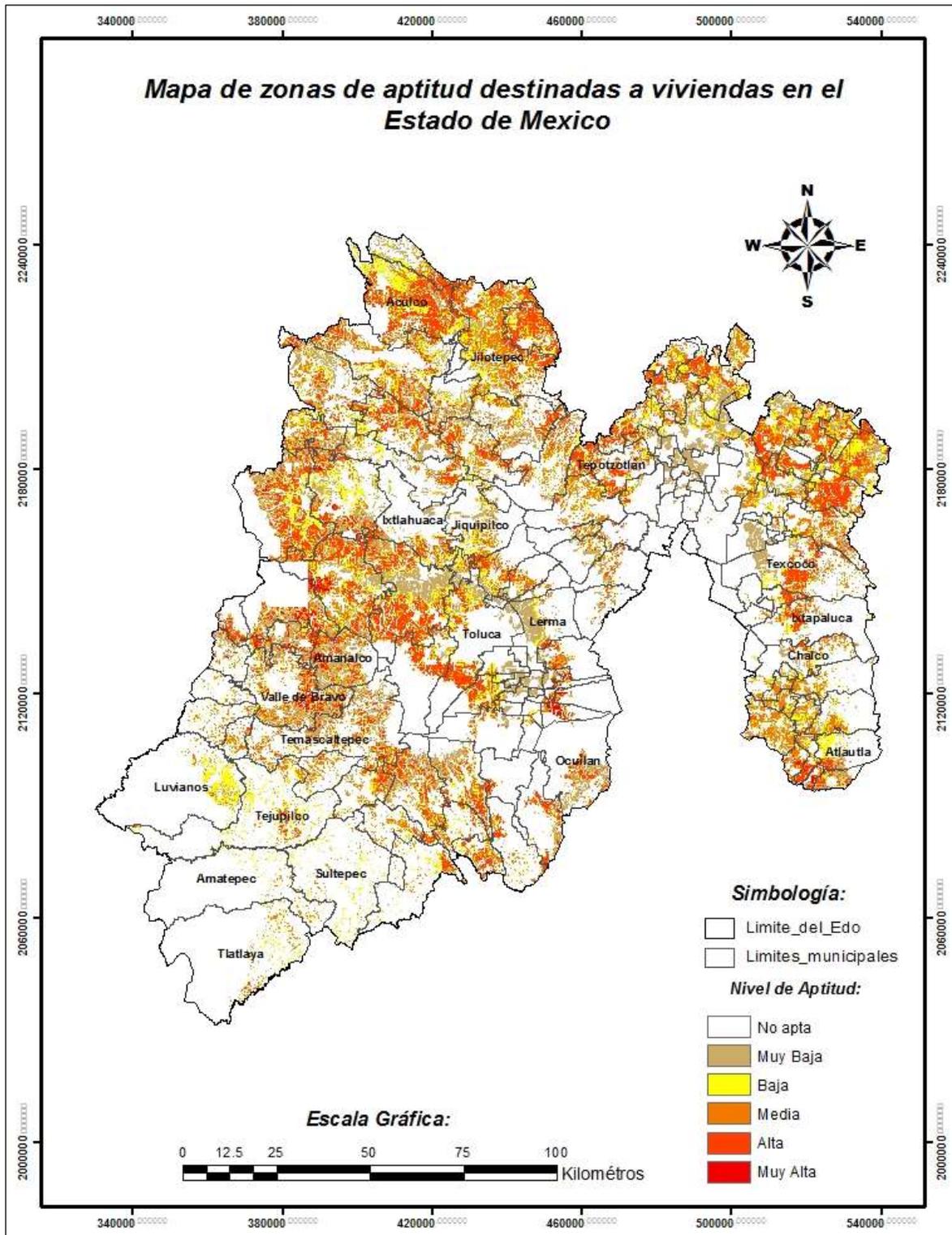


Figura 38.- MAPA FINAL, DE ZONAS APTAS DESTINADAS A VIVIENDAS, DEL ESTADO DE MÉXICO

El resultado final del proceso de la Evaluación Multicriterio, muestra que las zonas con un muy alto nivel de adecuación destinadas a vivienda, se encuentran principalmente en los municipios de Valle de Bravo, Villa de Allende; con alto nivel de aptitud, Almoloya de Juárez y Aculco, y con una media aptitud Jilotepec y Villa Victoria. Esto es debido a que se le dio mayor peso a que las zonas mas optimas para vivienda son aquellas que no tienen pendientes muy abruptas, además del tipo de suelo que en estos municipios predomina.

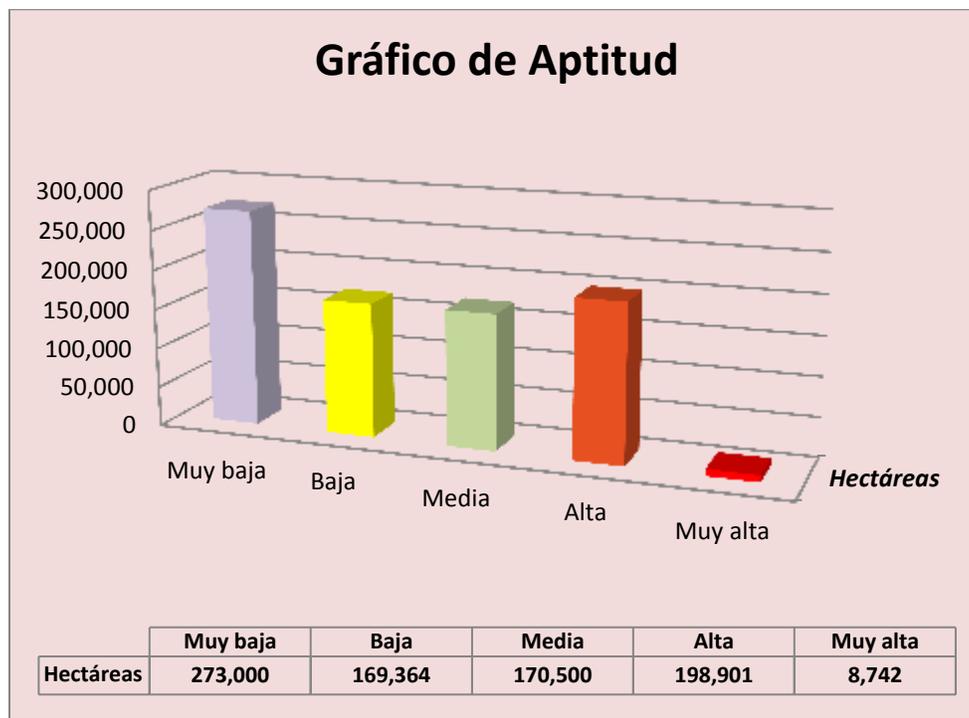


Figura 39.- Número de hectáreas según el grado de aptitud

CONCLUSIONES

Lo expuesto en este proyecto, ha tenido como objetivo el dar a conocer ciertas consideraciones sobre algunas de las técnicas de análisis para la realización de mapas de acogida del territorio , en este caso de estudio para la determinación de zonas aptas para la implantación de viviendas en el Estado de México.

Los resultados que se muestran es este tipo de estudios pueden contribuir de una manera importante al proceso de toma de decisiones ante cualquier problemática, ya que la información generada puede ser de gran utilidad para futuros planes de Desarrollo Urbano.

El análisis multicriterio y la incorporación de los factores y restricciones, permitieron la determinación de la localización óptima de zonas destinadas para viviendas, a través de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), con el software Idrisi permitiendo una análisis espacial de su Modelo.

En el mismo contexto, el proceso de Sumatoria Lineal Ponderada, es uno de los métodos de Evaluación Multicriterio para la toma de decisiones mas utilizados en la actualidad, y en el presente estudio, contribuyó a sistematizar procesos complejos, brindando una optimización en los mismos para el mejor manejo de la información.

Sin embargo, debe considerarse que los métodos de Evaluación Multicriterio manejan algún grado de incertidumbre en la asignación de los juicios de valor, debido a que las categorías asignadas a las clases de los mapas, operan en función de criterio cualitativos y subjetivos, de modo que en cuanto más conocimiento se tenga sobre el tema tratado, los supuestos y los coeficientes empleados, los resultados serán mas acertados.

Si bien es cierto, que los modelos son subjetivos, la base matemática que conllevan, soportan todo el peso para que este tipo de estudios sean aceptables y tomados en cuenta para la toma de decisiones.

Por otro lado, es necesario enfatizar que para este estudio se tomaron en cuenta sólo algunas capas de información disponibles, que sirvieron como factores y restricciones que determinaron en gran parte las características o limitantes para la implantación de viviendas, sin embargo, existe información a la que no hubo acceso y es de suma importancia para que este Modelo sea más consistente, y que deberían tomarse en cuenta, como lo son: la tenencia de la tierra, protección y dominios públicos, accesibilidad a equipamientos entre otros.

En el mismo contexto, la calidad de los resultados dependerá de la calidad de los datos espaciales y de la escala de los mismos.

Por último, la adecuada integración de la información en una EMC con los SIG, en un ejemplo concreto resuelto con IDRISI, puede ofrecer una buena perspectiva en la evaluación de soluciones específicas a cualquier problemática, destacando que esta metodología pudiera ser extrapolada a diferentes escenarios para poder enriquecerla con nuevos criterios (factores y restricciones) y así obtener mejores resultados, para futuras tomas de decisiones.

BIBLIOGRAFÍA

- Bosque, Sendra Joaquin (2006), "SIG y evaluación multicriterio", Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá.
- Cacace, Graciela, "Análisis de evaluación multicriterio para la localización de establecimientos de educación primaria básica en la ciudad de Lujan (Provincia de Buenos Aires).
- Chakhar, S. 2003. Enhancing Geographical Information Systems Capabilities with Multi-Criteria Evaluation Functions. Journal of Geographic Information and Decision Analysis 2003, Vol. 7, No. 2, pp. 47 – 71
- Escobedo Miramontes, Escobedo. 1992, "El crecimiento urbano de la ciudad de Mexico y su imoacto ambiental".
- Eastman, J.R. 2003b. IDRISI Kilimanjaro. Tutorial. Clark Labs. Clark University. Worcester, MA.USA.
- Galacho Jiménez, F. B., Ocaña Ocaña, C., "Tratamiento con Sig y Técnicas de Evaluación Multicriterio de la Capacidad de Acogida del Territorio para Usos Urbanísticos: Residenciales y Comerciales" .,(2006).
- Gómez, Montserrat & Barredo J. Ignacio, (2005). "Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio, en la ordenación del Territorio". Editorial Alfaomega- Ra-Ma, segunda edición noviembre de 2005.
- "Guía para la interpretación de cartografía " . Uso potencial del suelo. INEGI
- Héctor R. Núñez Estrada (1992), "Crecimiento sin control o control del crecimiento, Reflexiones sobre el Área Metropolitana de la Ciudad de México" .
- Jankowski, P. (1995): "Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making methods". International Journal of Geographical Information Systems, 9, 3, pp. 251-273.

- Limon, Francisco (2013), "Determinacion de zonas optimas para suelo urbanizable utilizando Evaluacion Multicriterio y Sistemas de Informacion Geografica, en el Municipio de Ocoyoacac, Edo. De México".
- María, Andrés (2007) " El proceso de análisis jerárquico con base en funciones de producción para planear la siembra de maíz de temporal".
- "Plan Intermodal de Transportes del Perú - Ministerio de Transportes y Comunicaciones/OGPP". Informe Final - Parte 4, Capítulo 9. Consorcio BCEOM-GMI-WSA. Junio de 2005.
- Plan de desarrollo Urbano del Estado de México, 2008
- Portal del Gobierno del Estado de México. DISPONIBLE EN:
<http://portal2.edomex.gob.mx/edomex/estado/geografiayestadistica/index.htm>, CONSULTADO: Enero 2014.
- Rivera, H.H. (2001), "Aplicación de la evaluación Multicriterio para la asignación de funciones al territorio de la Reserva Nacional de Valdivia", Corporación Nacional Forestal. Proyecto de manejo sustentable del bosque nativo (CONAF/GTZ), Chile, DISPONIBLE EN :
<http://ecologia.umayor.cl/ordenarch/evaluac%F3n%20multicriterio.PDF>.
CONSULTADO: Diciembre 2013.
- Santos, J.M. et al 2006, "Los SIG raster en el campo medioambiental territorial" Ejercicios prácticos con IDRISI Y MIRAMON. Editorial Universidad nacional de educación a distancia, primera edición septiembre de 2006., impreso en España.
- Santos, P. (1997), "El planeamiento teórico Multiobjetivo/Multicriterio y su aplicación a la resolución de problemas medioambientales y territoriales, mediante los SIG, raster", Espacio, Tiempo y Forma, serie VI, Geografía, t. 10, pp 129-151.

- Secretaria de desarrollo urbano. DISPONIBLE EN:
<http://portal2.edomex.gob.mx/sedur/index.htm?ssSourceNodeId=8013&ssSourceSiteId=sedur>. CONSULTADO: Diciembre 2013.
- Secretaria de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, SEDATU. “Política Nacional Urbana y de Vivienda” 2013
- Tkach, R.J., and Simonovic, S. 1997. A new approach to multi-criteria decision making in water resources. *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, vol.1, pp.25-44
- Topelson, Sara, “Guia para la redensificación habitacional en la Ciudad Interior”, SEDESOL, 2010.