



Universidad Autónoma del Estado de México
Facultad de Geografía

IDENTIFICACIÓN DE ZONAS ÓPTIMAS PARA PLANTACIONES FORESTALES COMERCIALES EN AMBIENTE SIG Y EVALUACIÓN MULTICRITERIO, CASO DE ESTUDIO, ESTADO DE MÉXICO

Reporte Final para obtener el grado de

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

19^a Promoción

**PRESENTA
Lic. En Ciencias Ambientales Alma Clara Salazar Romero**

**ASESOR
Dr. Noel Bonfilio Pineda Jaimes**

Toluca, México; Febrero 2015.

Índice General

Índice de Tablas.....	i
Índice de Figuras	i
Índice de Mapas	ii
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN.....	2
JUSTIFICACIÓN	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
OBJETIVO GENERAL.....	6
Objetivos Específicos.....	6
CAPITULO 1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	7
1.1 ANTECEDENTES	7
1.2 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)	14
1.2.1 ELEMENTOS DE LOS SIG	15
1.2.2 FUNCIONES DE LOS SIG	16
1.2.3 LA ESTRUCTURA DE LOS SIG Y CAPAS TEMÁTICAS.....	18
1.2.4 OBJETOS ESPACIALES EN LOS SIG.....	19
1.3 COMPONENTES DE LA EVALUACIÓN MULTICRITERIO EN EL ENTORNO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	21
1.3.1 OBJETIVOS	21
1.3.2 BUSQUEDA DE ALTERNATIVAS Y SELECCIÓN DE CRITERIOS	22
1.3.3 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS	26
CAPITULO 2. METODOLOGÍA	29
2.1 MÉTODOS.....	29
2.1.1 MÉTODOS DE CONCORDANCIA.....	29
2.1.2 DATOS BASE	31
2.2 SELECCIÓN DE ÁREAS ÓPTIMAS PARA PLANTACIONES FORESTALES COMERCIALES	35
2.2.1 CRITERIOS, RESTRICCIONES Y FACTORES	35

**IDENTIFICACIÓN DE ZONAS ÓPTIMAS PARA PLANTACIONES FORESTALES COMERCIALES EN
AMBIENTE SIG Y EVALUACIÓN MULTICRITERIO, CASO DE ESTUDIO, ESTADO DE MÉXICO.**

CAPÍTULO 3. RESULTADOS	51
3.1 MODELO DE ZONAS CON ALTA APTITUD PARA PFC	51
3.2 MODELO DE ZONAS CON MEDIA APTITUD PARA PFC	54
3.3 MODELO DE ZONAS CON BAJA APTITUD PARA PFC.....	56
CAPITULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	58
4.1 CONCLUSIONES	58
4.2 RECOMENDACIONES	59
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....	60

Índice de Tablas

Tabla 1. Factores.	23
Tabla 2. Escala de comparación por pares.	24
Tabla 3. Coberturas utilizadas en la base de datos.	33
Tabla 4. Especies forestales para Plantaciones Forestales Comerciales.	34
Tabla 5. Requerimientos ambientales para Plantaciones Forestales Comerciales.	34
Tabla 6. Restricciones de uso de suelo para Plantaciones Forestales Comerciales.	36
Tabla 7. Reclasificación de suelos según idoneidad.	40
Tabla 8. Matriz de comparación por pares tipo de suelo.	41
Tabla 9. Reclasificación de rocas según idoneidad.	42
Tabla 10. Matriz de comparación por pares tipo de roca.	42
Tabla 11. Reclasificación de textura del suelo según idoneidad.	44
Tabla 12. Matriz de comparación por pares.	44
Tabla 13. Aptitud del territorio a PFC.	51
Tabla 14a. Municipios con Alta Aptitud para PFC.	51
Tabla 15a. Continua. Municipios con Alta Aptitud para PFC.	52
Tabla 16. Municipios con Media Aptitud para PFC.	54
Tabla 17. Municipios con Baja Aptitud para PFC.	56

Índice de Figuras

Figura 1. Elementos de los SIG.	15
Figura 2. Capas temáticas de un SIG.	19
Figura 3. Tipos de objetos espaciales en los SIG.	20
Figura 4. Función borrosa.	25
Figura 5. Técnicas de EMC.	27
Figura 6. Método de Jerarquías Analíticas (MJA) de Saaty.	29
Figura 7. Modelo para Plantaciones Forestales Comerciales.	31
Figura 8. Reclasificación para generar mapas booleanos.	37
Figura 9. Mapa booleano restrictivo.	37
Figura 10. Altitud.	38
Figura 11. Normalización de altitud.	38
Figura 12. Mapa normalizado de altitud.	39
Figura 13. Módulo Surface para mapa de pendiente.	39
Figura 14. Normalización de la pendiente.	40
Figura 15. Mapa normalizado de pendiente.	40
Figura 16. Reclasificación suelos.	41
Figura 17. Normalización tipos de suelo.	42
Figura 18. Mapa normalizado de suelos.	42
Figura 19. Reclasificación tipos de rocas.	43
Figura 20. Normalización tipos de rocas.	43
Figura 21. Mapa normalizado de rocas.	43
Figura 22. Reclasificación textura del suelo.	45

Figura 23. Normalización textura del suelo.	45
Figura 24. Mapa normalizado de textura del suelo.	45
Figura 25. Temperatura Media Anual.	46
Figura 26. Normalización de temperatura.	46
Figura 27. Mapa normalizado de temperatura.	46
Figura 28. Precipitación Media Anual.	47
Figura 29. Normalización de precipitación media anual.	47
Figura 30. Mapa normalizado de precipitación media anual.	47
Figura 31. Modulo Evaluación Multicriterio (EMC).	48

Índice de Mapas

Mapa 1. Altitud.	49
Mapa 2. Pendiente.	49
Mapa 3. Suelo.	49
Mapa 4. Geología.	49
Mapa 5. Textura.	50
Mapa 6. Temperatura Media Anual.	50
Mapa 7. Precipitación Media Anual.	50
Mapa 8. Municipios con Alta aptitud para PFC.	53
Mapa 9. Municipios con Media aptitud para PFC.	55
Mapa 10. Municipios con Baja aptitud para PFC.	57

RESUMEN

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son una herramienta de gran utilidad, ya que por medio del análisis computarizado de diferentes factores es posible obtener modelos de la realidad los cuales ayudan a la identificación y planteamiento de propuestas ante determinadas problemáticas de la vida real.

En el presente estudio, la combinación de los SIG y la Evaluación Multicriterio contribuyeron a modelar la identificación de zonas óptimas para Plantaciones Forestales Comerciales (PFC) en el territorio Estatal, combinación con la cual se lograron identificar aquellas zonas con clasificadas en tres categorías: aptitud alta, media y baja, con una superficie de 186,390 ha, 74,741 ha y 4,676 ha respectivamente. Los municipios con alta aptitud se localizan principalmente en la zona oeste, suroeste, este y sureste del Estado de México.

Los métodos utilizados para realizar los modelos de adecuación para la identificación de las zonas óptimas fueron el Método de Jerarquías Analíticas de Saaty y Lógica Borrosa o Fuzzy, usando el programa IDRISI Selva. Dichos meteoros fueron los que mejor se adaptaron a los requerimientos del trabajo desarrollado.

Se considera que las PFC son una solución viable para la disminución de la explotación de bosques naturales y una fuente de materia prima para cubrir la demanda de madera a nivel nacional.

Palabras clave: SIG, Evaluación Multicriterio, Plantaciones Forestales Comerciales, Método de Jerarquías Analíticas, Lógica Borrosa.

INTRODUCCIÓN

Desde la aparición de las primeras civilizaciones humanas, la necesidad de madera de los pobladores, estaba cubierta, por lo que los recursos naturales permanecían inalterados. Sin embargo, la población fue en aumento y las sociedades comenzaron a expandirse, de igual manera los requerimientos de recursos y de madera, también se acrecentó; con ello se presentaron nuevas problemáticas como cambios de uso de suelo, donde las zonas agrícolas y pecuarias comenzaron a ocupar grandes extensiones de terreno forestal (Musálem, 2006).

Debido a la importancia que juegan los bosques dentro del equilibrio del ecosistema a nivel mundial, es necesario encaminar acciones tendientes a su protección y restauración. Actualmente México es uno de los primeros cinco países a nivel mundial catalogado como megadiverso, lo cual le confiere una importante responsabilidad para salvaguardar los recursos naturales y proveer de una mejor calidad de vida a la población que vive de los bosques.

Con base en la Serie III de Vegetación y Uso del Suelo de INEGI, se estima que México posee 33.5 millones de hectáreas de bosque, de las cuales más del 80% de los ecosistemas forestales, son de propiedad ejidal y comunal (CONABIO, 2008).

Sin embargo, la acelerada deforestación ha traído como consecuencia la alteración y pérdida de los ecosistemas forestales. El último reporte de la FAO, FRA 2005, menciona que la superficie deforestada en México entre 1990 y 2000 fue de 348 mil hectáreas anuales en promedio, y entre 2000 y 2005 se estima una pérdida de 260 mil hectáreas anuales en promedio, considerando exclusivamente la superficie clasificada como bosque y selva de la FAO (CONABIO, 2008).

Es por ello, que ante esta situación se deben buscar acciones para mitigar la deforestación tanto a nivel Nacional como Estatal, sin que estas medidas afecten

al resto de los sectores (Pineda et al., 2013). Con lo cual se busca formular un modelo que permita planificar el uso de sistemas forestales dentro de la Evaluación Multicriterio (EMC), enfocado a la toma de decisiones con el fin de contar con diferentes alternativas de actuación e hipótesis.

Con base en Pineda et al. (2013) los beneficios de utilizar la combinación Sistemas de Información Geográfica-EMC, es que permite diseñar modelos de adecuación óptima para diferentes usos y ocupaciones del suelo; como resultado de ello, en el presente trabajo se hace uso de dichas herramientas para identificar zonas óptimas para establecer Plantaciones Forestales Comerciales (PFC) dentro del Estado de México.

Las PFC se caracterizan por el manejo de especies forestales en terrenos de uso agropecuario o terrenos que han perdido su vegetación forestal natural, cuyo objetivo principal es producir materias primas maderables para su industrialización y comercialización. La CONAFOR ha definido 13.9 millones de hectáreas con los suelos y climas favorables para obtener un crecimiento rápido, mano de obra y un mercado interno que demanda materias primas forestales (CONAFOR, 2013).

Por su parte, el Estado de México tiene un potencial de 60,000 ha para plantaciones forestales comerciales según estudios realizados por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) (PROBOSQUE, 2014). Entre los principales beneficios ambientales destaca la captura de carbono, mantenimiento de la calidad del aire, zonas de captación de agua y apoyo a la productividad forestal (GEM, 2006).

JUSTIFICACIÓN

Las Plantaciones Forestales Comerciales han resultado ser de gran importancia como respuesta para satisfacer las necesidades de madera de la población actual en constante crecimiento, así como para contrarrestar la menor disponibilidad y otros productos forestales provenientes de bosques naturales. De igual manera, se necesita de repoblaciones forestales con el fin de rehabilitar aquellas zonas degradadas (FAO, 1998).

Con base en el Inventario Forestal Periódico de 1994 (GEM, 2006) en el Estado de México se han reportado 225,974 ha. perturbadas cuyos suelos han sido deforestados con fines agrícolas, ganaderos, infraestructura y/o para zonas urbanas. Además del cambio de uso del suelo, también hay otros factores como la tala ilegal, incendios forestales, plagas y enfermedades, que influyen en la pérdida de cobertura forestal.

Por tanto, es necesario plantear programas de conservación y restauración para zonas degradadas, específicamente en zonas con cobertura forestal, entre estas propuestas de restauración se encuentran las Plantaciones Forestales Comerciales con el fin de recuperar suelos erosionados y de repoblar aquellas zonas con vocación forestal y/o zonas desprovistas de vegetación.

Una de las principales razones por las que se proponen las PFC es para enfrentar la problemática actual de los bosques y suelos del Estado de México, como la degradación y disminución de los bosques naturales para fines industriales. Finalmente, con el uso de los SIG's y la EMC se busca contribuir que los tomadores de decisiones cuenten con un mayor número de herramientas para hacerlo de la mejor manera posible respondiendo a la demanda de las necesidades de la población y del ambiente.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Con base en el Inventario Forestal Periódico de 1994, el Estado de México, reporta 225,974 ha perturbadas, 61,154 ha de bosque fragmentado y 4,106 ha con erosión severa. Según datos del SEDEMEX y el Inventario Nacional Forestal de 1994 se estima una tasa de deforestación de 4,476 ha por año (GEM, 2006).

De igual manera en el Programa de Desarrollo Forestal Sustentable del Estado de México 2005-2015 se menciona que entre los principales factores que afectan el suelo, la cobertura y calidad de los bosques son a) la tala ilegal, actividad que por falta de oportunidades productivas alternas a las áreas forestales, han ido en aumento las cortas ilegales, que se consideran de gran magnitud aun cuando no se tienen los volúmenes exactos, ya que de ser una actividad realizada meramente por personas en pobreza paso a ser una actividad de lucro realizada por bandas organizadas de delincuentes a lo que el gobierno del Estado ha realizado estrategias para reducir sus efectos; b) incendios forestales, los cuales se presentan principalmente porque los productores en sus prácticas agropecuarias utilizan el fuego como herramienta tradicional, siendo ésta la causa más frecuente de los incendios; y c) plagas y enfermedades, en el Estado los principales tipos de plagas y enfermedades son insectos descortezadores, defoliadores y plantas parasitarias o muérdagos afectando cerca de 300 hectáreas de bosque.

Por tanto con el fin de revertir los daños ocasionados al suelo y al ecosistema forestal se proponen las plantaciones forestales comerciales como una acción para recuperar áreas arboladas y evitar continúe la degradación de suelos; además de ello se busca disminuir la presión y explotación de los bosques naturales, donde las PFC proveen de servicios ambientales como generación de oxígeno y captura de carbono (Pineda et al., 2013).

OBJETIVO GENERAL

Identificar las zonas óptimas para Plantaciones Forestales Comerciales por medio de SIG y Evaluación Multicriterio para el Estado de México.

Objetivos Específicos

- Analizar las variables climáticas, de relieve y suelo para establecer plantaciones forestales comerciales.
- Por medio de técnicas de análisis de Evaluación Multicriterio identificar las zonas con aptitud para plantaciones forestales comerciales.

CAPITULO 1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

El campo de los Sistemas de Información Geográfica es bastante amplio, ya que es una “caja de experimentación” (Bosque, 1997, citado por Gómez y Barredo, 2005) que permite al gestor del territorio plantearse diferentes escenarios para una determinada región, a partir de la ejecución de determinadas políticas (Gómez y Barredo, 2005).

Hoy día la decisión Multicriterio es un campo donde la aplicabilidad practica y las herramientas informáticas son muy importantes (Pineda, 2010) y donde la toma de decisiones a partir de una evaluación Multicriterio se entienden como aproximaciones, modelos y métodos que ayudan a evaluar, ordenar, jerarquizar o rechazar propuestas con base en criterios que representan metas o valores de referencia para determinado lugar (Colson y De Bruni, 1989, citado por Gómez y Barredo, 2005).

Con el fin de entender los Sistemas de Información Geográfica, la Evaluación Multicriterio, como teoría de decisión; es necesario explicar algunos de sus conceptos. Así como sus campos de aplicación y trabajos donde también se ha hecho uso de los SIG's y diferentes técnicas de EMC.

1.1 ANTECEDENTES

La Evaluación Multicriterio (EMC) es una metodología usada con la finalidad de generar modelos para la ayuda en la toma de decisiones y obtener mapas de adecuación y aptitud del territorio con base en criterios definidos para determinado uso (Pineda et al., 2013).

A nivel internacional se pueden documentar una serie de estudios de caso donde a partir de la Evaluación Multicriterio se han planteado propuestas de manejo para los recursos forestales. Uno de ellos es en Bolivia, Municipio de Sacaba, donde a partir del Análisis Espacial Multi-Criterio (AEMC) de ILWIS, se propusieron zonas

para plantaciones forestales de protección considerando factores como zonas vulnerables y restauración de zonas degradadas; zonas para plantaciones forestales comerciales considerando factores socioeconómicos y factores climáticos y edáficos, con el fin de definir el grado de aptitud de las especies seleccionadas. Con base en el AEMC se identificó una superficie de 67.21% para plantaciones comerciales y un 32.79% para plantaciones con fines de protección. Un aspecto importante dentro del presente caso de estudio, es que se definió el grado de aptitud de las plantaciones comerciales en función de las especies seleccionadas, por ejemplo el Aliso (*Alnus acuminata* O. Kuntze), Eucalipto (*Eucalyptos globulus* Labill) y Pino (*Pinus radiata* D.Don) están dentro de un rango bueno a excelente aptitud forestal; con moderada aptitud forestal están el Molle (*Schinus Molle* L.) y Tara (*Caesalpinia spinosa* O. Kuntze); y por último el Algarrobo (*Prosopis* sp.) de marginal a baja aptitud forestal (Medrano, 2012).

El Método Fuzzy como herramienta de análisis de la Evaluación Multicriterio también es ampliamente utilizada. En el presente estudio de caso se aplicó para identificar las zonas óptimas para la producción de leña a partir de plantaciones forestales. La zona de estudio fue en la Comuna de Empedrado en Chile, las variables analizadas se dividieron en tres grupos ambientales, sociales y económicos; sin embargo, fue posible notar que las variables de mayor importancia fueron las ambientales, entre éstas se consideraron precipitación, temperatura máxima y mínima, textura del suelo, profundidad, drenaje, altitud, pendiente y exposición. Además del proceso Fuzzy también se aplicó Sumatoria Lineal Ponderada; posteriormente, al normalizar y jerarquizar las variables se aplicó un peso a cada uno de las variables con base en información de investigadores expertos, con ello se obtuvo que en 22, 828 ha hectáreas de la comuna se pueden establecer plantaciones comerciales dendroenergéticas (Garfias et al., 2012).

Otro estudio de caso, es para el desarrollo de modelos basados en Análisis Multicriterio para la ordenación forestal en el Departamento de Casanare en

Bogotá, Colombia. El presente modelo se desarrolló con base en tres aspectos fundamentales el ambiental, económico y social y con trece indicadores (entre ellos flora, fauna, suelos, agua, paisaje; sistemas de producción, transformación y accesibilidad; así como también contempla las necesidades de la sociedad). Los métodos empleados, fue el Proceso de Jerarquía Analítica, obteniendo tres áreas de ordenación del territorio Protección, Producción y Protección (Franco, 2011).

Cabe destacar que la Evaluación Multicriterio junto con los SIG, son una combinación idónea para la toma de decisiones y el análisis del estado actual de recursos naturales. En Madrid se realizó un estudio interesante acerca del estado de conservación y valor de la flora de zonas no protegidas que estuvieran cerca de la Sierra de Guadarrama y que fueran susceptibles de ser protegidos como resultado de su importancia ecológica y para mantener la conectividad de las áreas naturales. Con base en ello se identificaron criterios como representatividad, naturalidad, nivel de rareza local y nacional, así como flora amenazada o en riesgo; dichos criterios fueron normalizados con el módulo de Weigth en IDRISI con el fin de poder ser comparables. Los resultados arrojaron que las zonas más cercanas a la Sierra de Guadarrama, zonas de piedemonte, presentaron los valores más altos. Y aquellas zonas dentro de la cuenca sedimentaria, los valores más bajos. En general, los resultados arrojaron que la zona no protegida de Madrid, no representaba una amplia extensión de flora de gran valor. Ya que la expansión de los cultivos y el proceso urbanizador ha condicionado aquellos espacios con algún valor ambiental o ecológico (Vía et al., 2006).

En cuanto al uso del binomio SIG-EMC (Sistemas de Información Geográfica-Evaluación Multicriterio), las aplicaciones y funcionalidades son amplias ya que su combinación permite que la toma de decisiones sea la adecuada con base en la problemática planteada. Como resultado de ello, en España se han realizado trabajos de investigación usando reglas aditivas de decisión como Sumatoria Lineal Ponderada, Análisis de la concordancia y Jerarquía analíticas, las cuales son de gran utilidad durante el proceso de decisión; siendo así que se usaron

dichas técnicas para identificar aquellas zonas óptimas para uso residencial y/o urbano bajo un sistema de desarrollo sostenible, considerando variables de gran relevancia como georriesgos y georecursos. Se tuvieron dos objetivos definidos: uno fue analizar la localización óptima para zonas residenciales, donde cada pixel representaba una alternativa de localización, aplicando sumatoria lineal ponderada; y el segundo objetivo fue análisis de la alternativa óptima por medio de la metodología PROMETHEE-2. Con el uso de dichas metodologías fue posible identificar aquellas zonas óptimas para uso residencial (Lamelas, 2012).

Además del uso de la EMC para manejo forestal, también se ha empleado para la modelación del paisaje. Como lo mencionan Paegelow et. al (2003) en su estudio realizado para el valle de los Garrotxes en Francia y la Alta Alpujarra en España el uso de las Cadenas de Markov, Evaluación Multicriterio y Evaluación Multiobjetivo les permitió analizar y modelar los cambios en las áreas montañosas, y en los bosques de coníferas, las cuales son zonas que se han visto afectadas por el crecimiento social, económico y de cierta manera paisajístico, por tanto con el fin de reconstruir la tendencia y precisar el cambio en el paisaje, han optado por la combinación de dichos métodos para proveer de una estabilidad paisajística y del uso del suelo en ambas zonas. Entre algunas de las variables consideradas para realizar el modelo fueron altitud, pendiente, orientación y uso del suelo, con ello fue posible obtener la tendencia de cambio en la ocupación del suelo para ambas regiones y así poder predecir la transformación del suelo en la región montañosa.

Para el caso de México, si bien se ha hecho uso de los Sistemas de Información Geográfica para el análisis del territorio, el uso de la Evaluación Multicriterio para la toma de decisiones también ha ido cobrando mayor relevancia. Uno de los estudios de caso ha sido en el norte del país, en el centro-sur del Estado de Sinaloa, donde a partir del Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ) y con Lógica Borrosa (Fuzzy), se buscó la localización de zonas con aptitud ecológica para establecer plantaciones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. Entre algunos de los criterios contemplados fueron suelo, clima, topografía, precipitación,

temperatura máxima y mínima, profundidad, textura y pH. Por tanto, con base en el presente análisis fue posible obtener las zonas con las mejores condiciones para dichas plantaciones (Bustillos et al., 2007).

Un ejemplo del uso del SIG para definir zonas para plantaciones forestales comerciales de pino (*Pinus spp*), es el estudio realizado por el INIFAP en la región Norte de México, donde para alcanzar el objetivo se usaron ortofotos, datos meteorológicos, Modelo Digital de Elevación (MDE), variables físicas del territorio (suelo, clima, relieve, altitud) y el índice de sitio, el cual define la influencia de las variables físicas sobre el crecimiento de los árboles, productividad de los bosques (Prieto y Martínez, 2011). Dentro de este estudio se identificó que la profundidad del suelo, precipitación, pendiente y exposición, son variables que influyen significativamente sobre la distribución de áreas potenciales (Castaño 1962, citado en Prieto y Martínez, 2011). Posteriormente, para definir aquellas zonas óptimas para plantaciones forestales comerciales, primero se definió la influencia de las variables físicas en diferentes estaciones y después los datos se analizaron en SIG por medio de álgebra de mapas, métodos de interpolación como Distancia Media Ponderada (IDW) y reclasificaciones, así como análisis de varianza; para unir por medio de método algebraico los modelos de relieve, suelo y clima y así obtener las zonas potenciales para PFC. Si bien, en el presente estudio se hace uso de SIG no así de la EMC como un módulo de análisis dentro de un software específico.

Otro caso de estudio importante, es el realizado en el noreste de Oaxaca y el sureste de Veracruz, para la empresa Plantaciones de Tehuantepec S.A de C.V (PLANTEH), con el objetivo de identificar los grados de aptitud de una área para realizar plantaciones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden y *E. urophylla* S.T. Blake para la producción de celulosa y maderables. Para dicho estudio se aplicó el método AHP a los atributos para identificar las áreas con aptitud para plantaciones; se identificaron las restricciones obteniendo mapas booleanos y posteriormente se realizó el Proceso de Análisis Jerarquizado, Método Fuzzy el

método de Sumatoria Lineal Ponderada, así como la asignación de pesos a cada uno de los criterios ya definidos, finalmente se obtuvo el mapa de aptitud mediante la multiplicación del área factible por la aptitud final con el fin de discriminar las áreas no aptas.

Como es posible observar, en el mayor número de casos donde se ha empleado la EMC se emplea conjuntamente la sumatoria lineal ponderada y el método Fuzzy para la toma de decisiones. Tanto para plantaciones forestales como para cultivos se ha hecho uso de la EMC, tal es el caso de la investigación desarrollada en el Estado de Durango, específicamente en los municipios de Nombre de Dios, Durango y Suchil, con el fin de identificar áreas con aptitud para plantaciones de maguey cenizo (*Agave duranguensis*). En dicho estudio se consideraron tres aspectos importantes 1) las características de la especie en estudio, 2) los criterios para la selección de áreas con aptitud y 3) el método por el cual se haría el análisis de ambos factores para seleccionar las zonas aptas; cuyos criterios de decisión fueron clima, suelo y topografía, y los subcriterios temperatura máxima y mínima, precipitación; profundidad, textura y pH del suelo, y por último altitud y pendiente. Con base en los tres aspectos y en los criterios y subcriterios, se jerarquizó el problema de decisión, se clasificaron los valores para estandarizar los subcriterios por medio de una matriz de comparación por pares, para finalmente asignar pesos (Weight) en IDRISI y obtener los mapas temáticos, se obtuvo finalmente el mapa de aptitud para establecer plantaciones de maguey. Dicha metodología y los resultados obtenidos son de gran utilidad para los productores de mezcal en la región, además de ello se busca un aprovechamiento sustentable del recurso con el fin de evitar su sobreexplotación en zonas no aptas (Valdez et al., 2007).

Entre aquellos estudios de caso donde se hace uso del binomio EMC-SIG, también destacan estudios para cultivos, tal como lo presentan Ceballos y López (2010) para la delimitación de áreas adecuadas para los cultivos de amaranto y nopal dentro del Distrito de Desarrollo Rural Toluca (DDR) en el Estado de México;

donde a partir de información biofísica como clima, suelo, relieve y uso de suelo identificaron 1048 ha. con alto potencial para el cultivo de amaranto y 4747 ha. con aptitud alta para el cultivo de nopal. Fue necesario procesar una imagen Landsat TM de 1996 con el fin de identificar el uso actual del suelo. Posteriormente se utilizó la Matriz de Comparación Pareada (MCP) para identificar las variables de mayor importancia; así como también se aplicó el método de Fuzzy para la estandarización de las diferentes variables a comparar. Un aspecto importante dentro del estudio fue la identificación de las variables de relevancia a partir del conocimiento agronómico experto local, lo cual fue de gran relevancia durante el proceso de alimentación de la EMC. Además de ello, entre los resultados obtenidos fueron mapas con adaptabilidad a las características de los diferentes cultivos como ciclos del cultivo, fases fenológicas y requerimientos ambientales específicos, tanto para el amaranto como para el nopal.

Por otro lado, un estudio interesante es el realizado por Pineda et al. (2013) donde a partir de la combinación SIG-EMC hace un análisis para repoblamiento de bosque en el Estado de México con el objetivo de definir zonas para plantaciones forestales comerciales, plantaciones forestales de restauración y protección, y plantaciones agroforestales. El uso de los sistemas de información geográfica y la Evaluación Multicriterio le permitió diseñar modelos de adecuación para diferentes usos de suelo y donde aplicó el Método de Jerarquías Analíticas (MJA), donde se definen objetivos, criterios y alternativas, posteriormente se realiza una comparación por pares, obteniendo como resultado un valor global para la jerarquía, con este análisis se da valores numéricos a los juicios de valor, lo cual permite medir la influencia que tiene cada elemento sobre el elemento inmediato superior. El resultado obtenido permitió definir las zonas óptimas para el repoblamiento forestal y el estado actual de la cobertura del bosque. De los estudios consultados, el presente es el que más se acerca a lo que se busca realizar en el trabajo, por tanto es la principal fuente de consulta y la base para lo que se desarrollará en el reporte final.

En cada uno de los casos consultados, se empleó tanto un ambiente SIG para realizar modelos e identificar la potencialidad del suelo para un uso específico, así como diferentes técnicas de la EMC para la toma de decisiones, sin embargo cabe destacar que la Sumatoria Lineal Ponderada y el Método Fuzzy, son los procedimientos más usados dentro de la Evaluación Multicriterio para el análisis de las variables consideradas dentro de un estudio y que sirven a los expertos para la toma de decisiones.

Por último, es importante mencionar que cada uno de los casos aporta información relevante para el presente reporte, enfocado a la aplicación de la Evacuación Multicriterio para identificar zonas óptimas para Plantaciones Forestales Comerciales en el Estado de México.

Finalmente, es importante mencionar que a nivel global la FAO (2002) tiene documentados estudios en los cuales se señala la extensión de las plantaciones comerciales donde los países con una mayor superficie en plantaciones forestales comerciales son China con una superficie de 45 083 ha; India con 32 578 ha y la Federación Rusa con 17 340 ha.

1.2 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

Diversos han sido los conceptos planteados por investigadores y analistas, sin embargo, la definición planteada por el National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA, 1990, citado por Gómez y Barredo, 2005) abarca la dimensión del presente proyecto entendiendo los SIG's como "sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión".

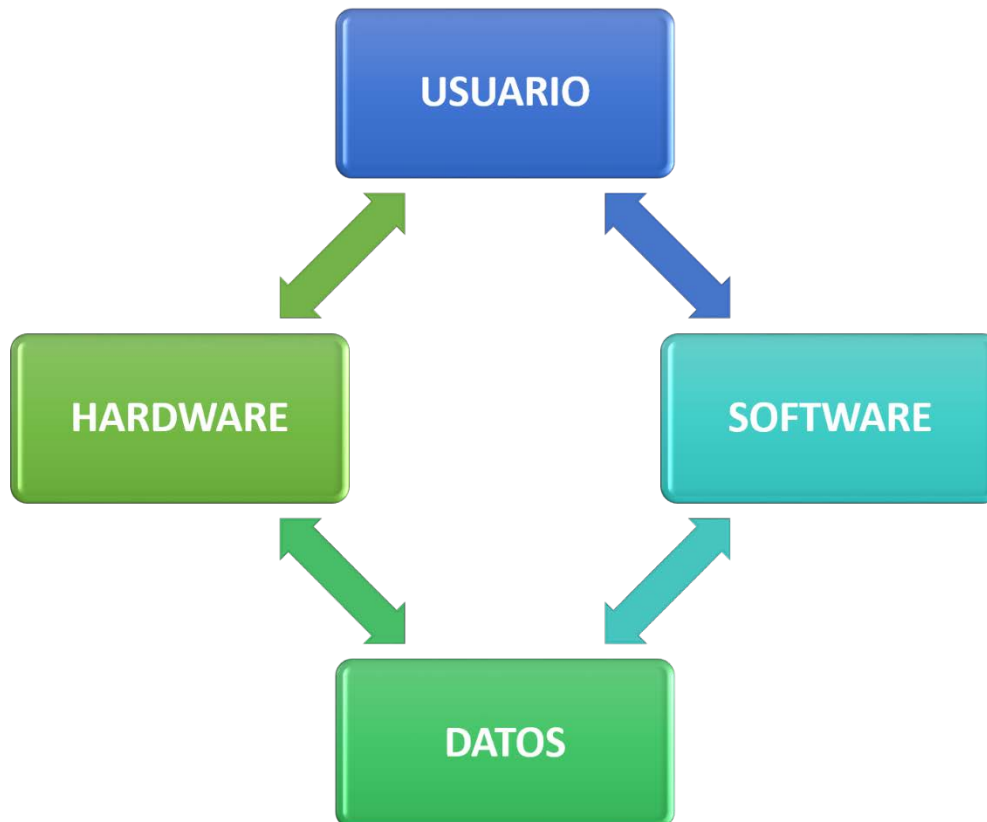
En este sentido, se han integrado técnicas ajenas a los SIG con el fin de buscar soluciones a los problemas de planificación y gestión. Una de estas técnicas es la

Evaluación Multicriterio (EMC) y Multiobjetivo (Gómez y Barredo, 2005), de las cuales se hablará más adelante.

1.2.1 ELEMENTOS DE LOS SIG

Los Sistemas de Información Geográfica se componen básicamente de cuatro elementos: Hardware, Software, Datos y el Liveware o la parte viva del sistema (ver figura 1) (Maguire, 1991).

Figura 1. Elementos de los SIG.



Fuente. Gómez y Barredo, 2005.

El *hardware* está compuesto por la parte física donde se asienta el SIG como los ordenadores personales, estaciones de trabajo, escáner, plotters y unidades de almacenamiento y procesamiento de datos para poder desarrollar la parte operativa de los SIG.

El segundo elemento, el *software*, es el programa que se encarga de realizar las operaciones y la manipulación de datos, donde el usuario establece las operaciones a realizar. Así como también debe decidir cuál es el mejor software que se adapta a las necesidades del proyecto.

El tercer elemento, es el dato, y quizá el de mayor importancia ya que con base en la información disponible se pueden realizar todas las operaciones posibles de desarrollar en un SIG. Por tanto, al plantear un proyecto de ordenación territorial es necesario tomar en cuenta la disponibilidad de la información, la proporción de la misma en formato digital para ser procesada.

Por último, el cuarto elemento definido por Maguire (1991) es el *liveware* o “las personas encargadas del diseño e implementación de un SIG”, éstas son las que gestionan y desarrollan las posibilidades que ofrece un SIG, produciendo resultados, soluciones, selecciones y análisis a partir de las bases de datos espaciales, junto con un equipo planificador que maneje información espacial.

1.2.2 FUNCIONES DE LOS SIG

Con base en Gómez y Barredo (2005) las funciones de los SIG se agrupan en cuatro aspectos fundamentales, los cuales se describen a continuación:

a) Entrada de información.

Es una etapa fundamental para disponer de una base de datos operativa y libre de errores, sobre la que se sostendrá el proceso de análisis y funcionamiento del SIG.

Un aspecto importante es que los datos espaciales y sus características provienen de diferentes fuentes y en distintos formatos. Por lo que es necesario que dicha información sea homogeneizada y corregida con el fin de poder ser procesada.

b) Gestión de datos

Esta función abarca específicamente operaciones de almacenamiento y recuperación de los datos de la base de datos ya creada, es decir, la forma en que se organizan los datos espaciales y temáticos en la base de datos.

c) Transformación y análisis de datos

Las funciones de transformación y análisis de datos son las que proveen de “nuevos” datos a partir de los ya existentes, es aquí donde el usuario define cómo utilizar los datos, con el fin de resolver los problemas espaciales y establecer soluciones a través de un SIG.

Bosque (1997) citado por Gómez y Barredo (2005) mencionan que dentro de esta función se realizan procesos de combinación, reclasificación, superposición, entre otras, que permiten el desarrollo y modelado espacial que dan pauta para las posibles soluciones al problema planteado. Así como también dichas funciones analíticas permiten ver un modelo de los posibles resultados o plantear escenarios para evaluar la implementación de políticas o medidas de planificación.

Si bien el análisis espacial y modelado en los SIG es importante, cuenta con un importante número de carencias analíticas, específicamente en el modelado para procesos de planificación o estudios de localización (Openshaw, 1991, 1991b; Fotheringham y Rogerson, 1993; Fisher y Nijkap, 1992, 1993; Anselin y Getis, 1993; citados por Gómez y Barredo, 2005), por ello se han integrado técnicas de análisis y modelado a los SIG como lo es la EMC.

d) Salida de datos

Con base en los requerimientos del usuario, son las diferentes formas de salida de datos en los SIG, entre los más utilizados están los mapas analógicos, tablas de valores, gráficos, simulaciones de vuelos, entre otros. Con la salida de datos se

representa la información de la base de datos y los resultados obtenidos a partir de los diferentes procesos realizados.

1.2.3 LA ESTRUCTURA DE LOS SIG Y CAPAS TEMÁTICAS

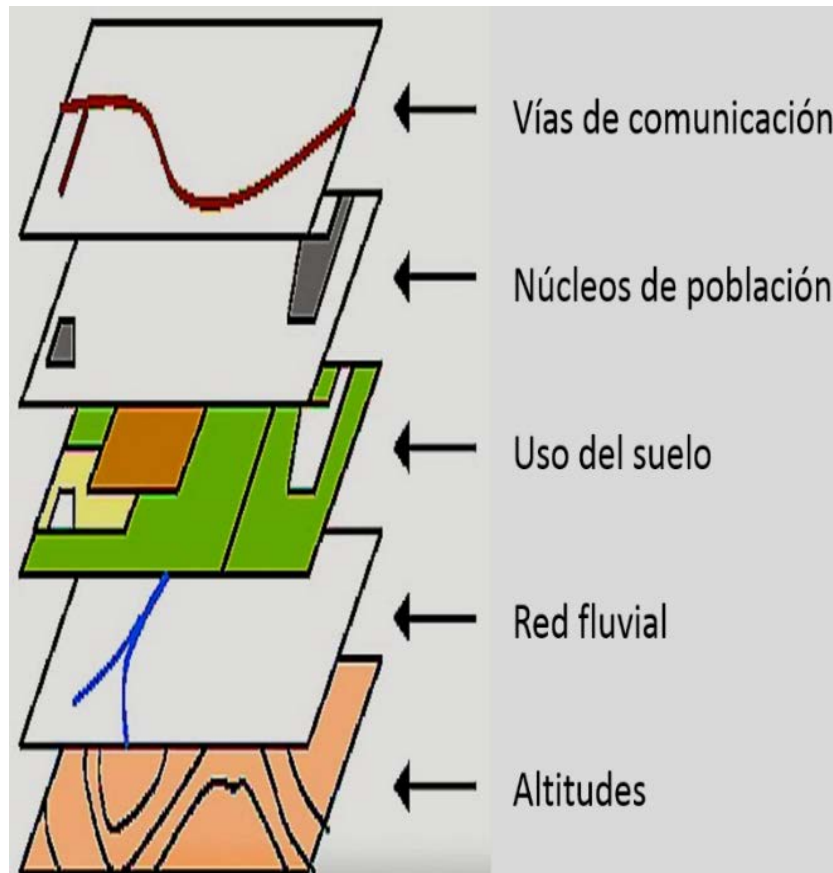
Cada uno de los datos espaciales en los SIG, se concibe como un conjunto de mapas de una porción específica de la superficie, cada uno de los cuales representa un aspecto temático, por ejemplo cada una de las capas temáticas de la figura 2, es una variable introducida en un SIG y que representa un aspecto del mundo real (Gómez y Barredo, 2005).

Los datos espaciales, al estar estructurados en un SIG se entienden como una representación abstracta y estratificada de la realidad donde cada capa es definida por objetos espaciales como puntos, líneas (arcos), áreas (polígonos) o celdas (pixeles), concebido todo esto como un modelo de datos espaciales.

Cada uno de los objetos pertenecientes a una capa de información presenta cierta dificultad para representarlos espacialmente, ya que posee información acerca de su posición (X,Y), relaciones topológicas y atributos de los objetos. Dichas características topológicas y espaciales de los objetos es lo que diferencia a los SIG de otros sistemas de información. Sin embargo, una característica importante es que las capas que componen un SIG cuenta con la misma localización X,Y que el resto de las capas, lo cual permite una superposición y análisis espacial entre las diferentes capas que integran el SIG.

Por tanto Bosque (1997) citado por Gómez y Barredo (2005) menciona que un SIG debe tener la capacidad de manejar tanto características espaciales (geometría o localización absoluta y topología o relaciones cualitativas entre ellos) como aspectos temáticos asociados a los objetos de observación.

Figura 2. Capas temáticas de un SIG.

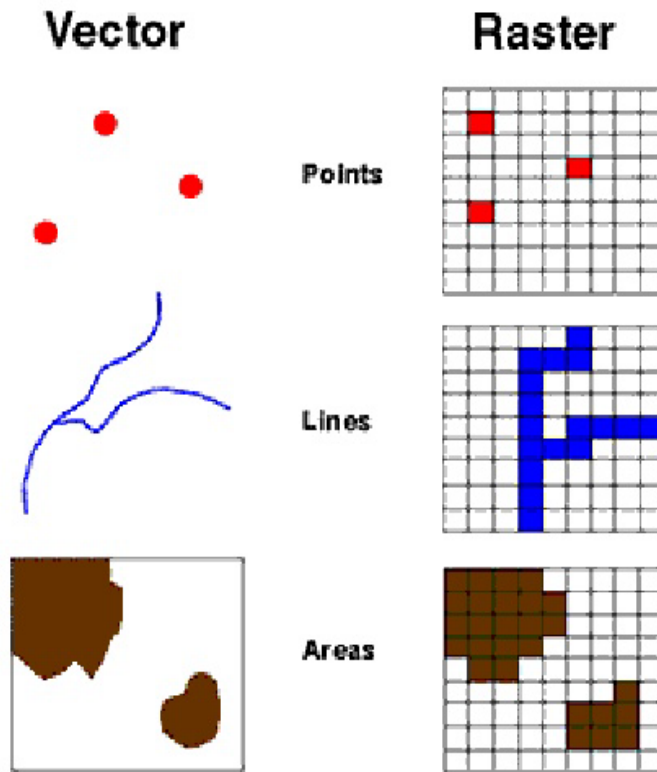


Fuente. GIS, 2014.

1.2.4 OBJETOS ESPACIALES EN LOS SIG

Los objetos espaciales se entienden como la representación de los hechos espaciales en una capa temática. De esta manera, con base en las propiedades de la geometría de un hecho espacial real, se pueden representar cada una de las capas por medio de los objetos establecidos que son puntos (0-dimensionales), líneas (1-dimensionales) y áreas (2-dimensionales) en modelo vectorial o raster (ver figura 3).

Figura 3. Tipos de objetos espaciales en los SIG.



Fuente. Herrera, 2014.

Por tanto, con base en los objetos espaciales que contenga cada una de las capas, sus propiedades serán diferentes, por lo que las técnicas de análisis y la organización de las capas también será diferente (Bosque, 1997, citado por Gómez y Barredo, 2005). Estos datos son obtenidos de la realidad por lo que al aplicar un proceso de abstracción y discretización, y según el modelo a utilizar, es representada a través de puntos, líneas, áreas o celdas.

Cada una de los objetos espaciales de los que dispone una capa temática, son de gran relevancia dentro del proceso de EMC, ya que cada uno de los objetos representa una alternativa de selección, por tanto el proceso de análisis tendrá que basarse en la selección, clasificación y rechazo del conjunto de objetos del que se dispone. Por tanto, si el modelo de decisión se obtuvo en un SIG raster las alternativas serán las celdas de dicho modelo.

1.3 COMPONENTES DE LA EVALUACIÓN MULTICRITERIO EN EL ENTORNO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Con el fin de paliar las carencias dentro de los Sistemas de Información Geográfica con respecto a las herramientas óptimas para auxiliar en la toma de decisiones, se ha hecho uso de la Evolución Multicriterio.

Colson y De Bruni (1989) citado por Gómez y Barredo (2005) definen a la EMC 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 en una evaluación según los criterios planteados, los cuales representan objetivos, metas y niveles de aspiración o aptitud.

Dentro de la teoría decisional Multicriterio, se plantea la resolución de problemas decisionales complejos, donde los criterios y objetivos planteados pueden ser múltiples e incluso entrar en conflicto.

Teniendo lo anterior como antecedente, a continuación se describen los diferentes componentes de la Evaluación Multicriterio en un entorno SIG.

1.3.1 OBJETIVOS

Eastman et al. (1993) citado por Gómez y Barredo (2005) plantea para la EMC, un objetivo como una función a desarrollar, donde el objetivo indica la estructuración de una regla de decisión o el tipo de regla a utilizar, que responda de manera adecuada al problema planteado e integre cada uno de los criterios establecidos a partir de dicho objetivo.

1.3.2 BUSQUEDA DE ALTERNATIVAS Y SELECCIÓN DE CRITERIOS

Como se mencionaba los objetivos buscan responder a la solución de un problema, donde estos objetivos y decisiones son planteados sobre un elemento determinado, es decir, sobre un conjunto de alternativas.

Las **alternativas**, vistas desde un punto de vista de la planificación territorial, son parte del territorio susceptible a ser evaluadas y sobre las que se realizará la selección final, según la regla de decisión definida por los tomadores de decisiones (Gómez y Barredo, 2005). Y cada alternativa se define por los diferentes criterios y factores que son parte de la evaluación.

Eastman et al. (1993) citado por Gómez y Barredo (2005) define un **criterio** como la base para tomar una decisión, dicha base puede ser medida y evaluada, ya que es la evidencia sobre la cual se basa una decisión.

Con base en el anterior planteamiento, los criterios pueden ser de dos tipos: factores y limitantes o restricciones. Un **factor** es un criterio que puede definirse a favor de una alternativa y en contra de otra (Santos y Borderías, 202; citado por Pineda, 2010). Por otro lado, las **limitantes o restricciones**, precisamente limitan la posibilidad de considerar alguna alternativa, excluyéndola de forma definitiva; normalmente se genera una capa binaria (0 ó 1) para este tipo de criterios (Pineda, 2010).

Una vez que se tienen los criterios de análisis, es necesario asignar pesos, en donde se define el valor asignado a cada uno de los criterios. A esta fase se le llama **ponderación de criterios**, para lo cual se cuenta con diferentes técnicas, sin embargo en el presente proyecto se utilizará la Matriz de Comparación por Pares desarrollada por Saaty.

En esta técnica, matriz de comparación por pares, se establece una matriz cuadrada donde el número de filas y columnas está definida por el número de criterios a ponderar (Saaty, 1980, citado por Gómez y Barredo, 2005). En este

procedimiento es necesario que los pesos asignados a los criterios sumen uno. De esta manera se establece una matriz entre pares de criterios, comparado con la importancia de cada uno de ellos con los demás, con lo cual se obtiene el eigenvector¹ principal que establece los pesos (w_j) proporcionando una medida cuantitativa de la consistencia de los juicios de valor entre pares de factores (Pineda, 2010).

Tabla 1. Factores.

Factores	A	B	C
A	1		
B		1	
C			1

Fuente. Gómez y Barredo, 2005.

Con base en una escala establecida por el procedimiento, se asignan juicios de valor a todas las celdas de la matriz, en donde a la diagonal sólo se le asignarán valor de uno, que denota la igualdad en la comparación del factor consigo mismo (Gómez y Barredo, 2005).

La escala de medida para establecer los juicios de valor en este método es de tipo continuo que va del valor mínimo 1/9 hasta 9, como se muestra en la tabla 2.

Una vez establecida la escala de medida se asigna a cada par de criterios un juicio de valor según la actividad propuesta, es este caso para las Plantaciones Forestales Comerciales. Posterior a la asignación de pesos se otorga una medida operativa de la consistencia de la matriz, que permite valorar la relación de los criterios entre si determinando su coherencia y pertinencia (Pineda, 2010).

¹ Un eigenvector o vector propio es un vector no nulo que, cuando son transformados por el operador, dan lugar a un múltiplo escalar de sí mismos con lo que no cambian su dirección o valor propio común.

Tabla 2. Escala de comparación por pares.

Importancia	Valor	Definición	Descripción
Menos importante	1/9	Importancia extrema	A es extremadamente menos importante que B
	1/7	Importancia muy fuerte	A es mucho menos importante que B
	1/5	Importancia fuerte	A es menos importante que B
	1/3	Importancia moderada	A es ligeramente menos importante que B
Igual	1	Igual de importante	A y B tienen la misma importancia
Más Importante	3	Importancia moderada	A es ligeramente más importante que B
	5	Importancia fuerte	A es más importante que B
	7	Importancia muy fuerte	A es mucho más importante que B
	9	Importancia extrema	A es extremadamente más importante que B

Fuente. Elaboración propia con base en Pineda, 2010; Gómez y Barredo, 2005.

El valor que ofrece este procedimiento para el cálculo de la consistencia es la razón de consistencia (*consistency ratio*, c.r.), el cual está diseñado de tal manera que si es menor a 0.10 la proporción indica un nivel razonable de coherencia en la comparación por pares, pero si el valor es mayor o igual a 0.10, el valor indica juicios inconsistentes, por lo cual es necesario revisar los pesos asignados (Gómez y Barredo, 2005).

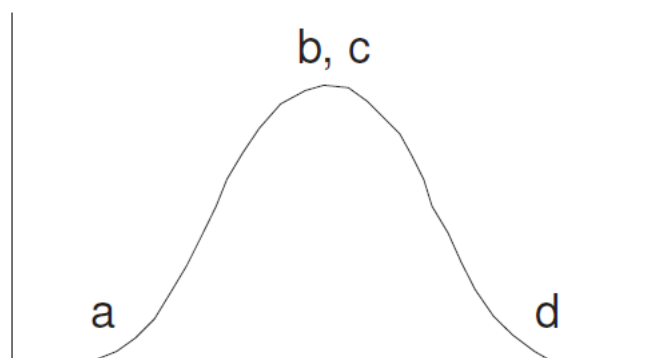
Como se mencionaba en párrafos anteriores, al contar con diferentes criterios, valores y capas de información, independiente del método de evaluación, es recomendable que se realice sobre una escala comparable en tipo, rango de extensión, unidad de medida, dispersión, etc.; es decir se debe buscar,

estandarizar o normalizar los criterios en una escala de medida común (Pineda, 2010).

A este proceso se le llama **normalizar**, y uno de los procesos utilizados para normalización de datos son aquellos basados en funciones de pertenencia borrosa. La lógica borrosa o difusa, es una técnica que ayuda a la representación más exacta de la información imprecisa, incompleta o incierta (Prakash, 2003; citado por Pineda 2010). Esta teoría matemática de la lógica borrosa se basa en la existencia de diferentes grados de pertenencia que comprende entre lo “falso” y lo “verdadero”, lo “deseado” y “no deseado”; utilizando valores como “moderado”, “bajo”, “medio” y “alto” en lugar de un “sí” y “no” como en la lógica booleana (Pineda, 2010).

Una función borrosa se caracteriza por un grado de pertenencia difusa o posibilidad que oscila entre 0,0 a 1,0, indicando un aumento continuo de la no pertenencia a la pertenencia completa. Las funciones borrosas son de gran aplicabilidad al momento de normalizar factores de una EMC. Para construir estas funciones es necesario especificar la posición de cuatro puntos de inflexión en el eje de las X (donde aparece representada la variable en cuestión) que gobiernan la forma de la curva. Así la posición de estos puntos permite generar una función de pertenencia borrosa sigmoide, en este caso, con forma simétrica (ver figura 4).

Figura 4. Función borrosa.



Fuente. Tomado de Eastman, 2006, citado por Pineda (2010).

Para la normalización de los criterios o factores en IDRISI existe un módulo llamado Fuzzy, dicho modulo usa un rango completo de funciones de pertenencia de grupos borrosos. Dicho modulo cuenta con la opción de normalizar en una escala de números reales de 0,0 a 1,0, o en una escala byte de 0,0 a 255. En este caso se recomienda usar la segunda escala de medida ya que el módulo de MCE, también en Idrisi, ha sido optimizado para usar una estandarización de 0,0 a 255. Finalmente, el valor más alto de la escala estandarizada debe representar el caso de mayor probabilidad de pertenencia al grupo de decisiones (Pineda, 2010).

De acuerdo a Eastman (2006) citado por Pineda (2010), un aspecto importante a tomar en cuenta al momento de la normalización es la elección de los puntos finales en los cuales la pertenencia del grupo alcanza 0,0 ó 1,0, o 0,0 y 255, según sea el caso. Por lo cual, no se debe usar una escala lineal a ciegas entre los valores mínimos y máximo. Por tanto al generar factores estandarizados usando el módulo Fuzzy, se debe considerar cuidadosamente el significado de los puntos finales elegidos.

1.3.3 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

Una vez asignados los pesos de los factores, es necesario evaluar cada alternativa, es decir, el nivel de adecuación de cada dato espacial en función de los criterios propuestos, con el fin de conseguir el objetivo planteado (Gómez y Barredo, 2005).

Por tanto la toma de decisiones, necesita de una **regla de decisión**, que oriente la evaluación del proceso. Gómez y Barredo (2005) definen a una regla de decisión como un procedimiento del que se obtiene una evaluación particular, siendo susceptible de comparar distintas evaluaciones con dicha regla, con el fin de variar algún aspecto en caso de ser necesario.

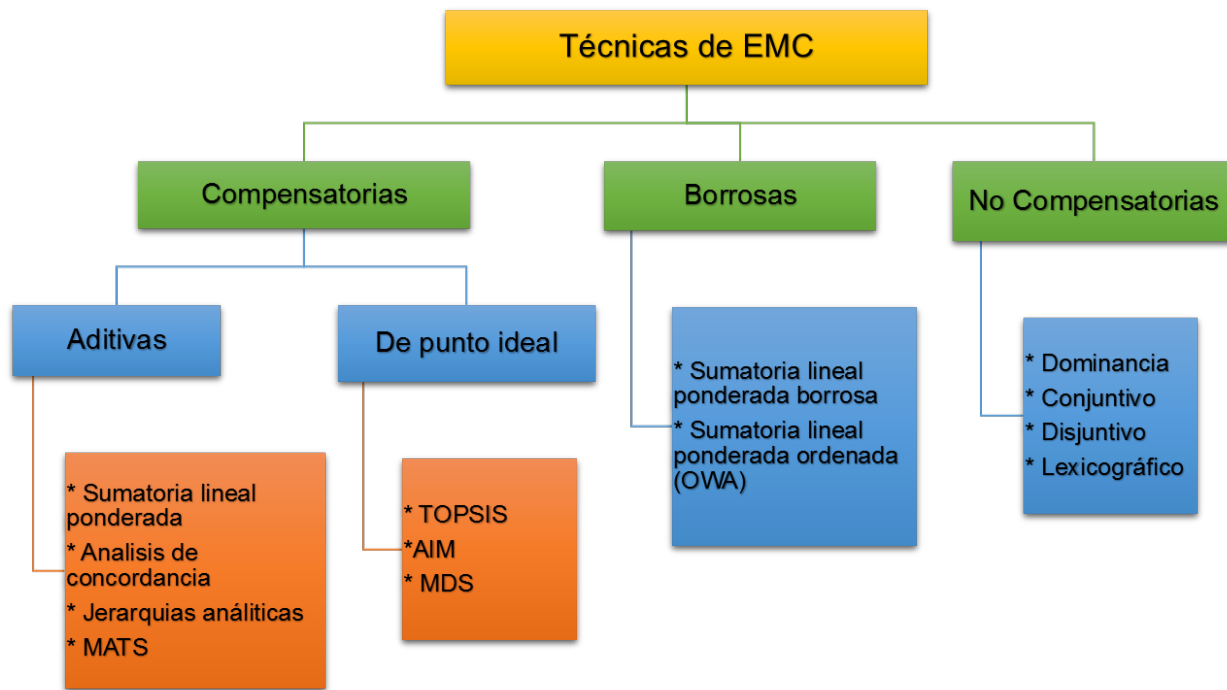
Existen dos procedimientos para establecer una regla de decisión a) la función de selección y b) la selección heurística. En el primer caso la regla de decisión ofrece

un medio matemático para comparar las alternativas; realizando algún tipo de optimización, ya sea maximizar o minimizar alguna característica medible, para lo que se requiere que cada alternativa sea evaluada (Eastman, 2006, citado por Gómez y Barredo, 2005).

Por su parte la selección heurística señala un procedimiento a seguir, en lugar de una función a evaluar. El uso de este tipo de selección es muy común debido a su simplicidad de comprensión e implementación; dicho procedimiento busca obtener una selección de sólo algunas alternativas del conjunto global de éstas (Eastman, 2006, citado por Gómez y Barredo, 2005). No obliga a cuantificar cada criterio en cada alternativa, sino que basta con un conocimiento ordinal (Pineda, 2010).

El proceso de aplicación de la regla de decisión sobre los criterios, se le denomina **evaluación** y será el que producirá finalmente el modelo de decisión. Existen diferentes métodos para realizar la EMC y se distinguen por los procedimientos aritmético-estadísticos que utilizan (ver figura 5).

Figura 5. Técnicas de EMC.



Fuente. Tomado de Gómez y Barredo, 2005.

Por un lado existen las técnicas no compensatorias las cuales no pueden “compensar” o equilibrar un valor bajo en un criterio por un valor alto en otro criterio; y por otro están las técnicas compensatorias que si pueden “compensar” un valor alto de una alternativa en un criterio por un valor bajo de misma alternativa en otro criterio. Las técnicas compensatorias se pueden subdividir en técnicas aditivas, entre las que destacan la sumatoria lineal ponderada, el análisis de concordancia y las jerarquías analíticas y técnicas basadas en la aproximación al punto ideal como el método TOPSIS (Pineda, 2010).

CAPITULO 2. METODOLOGÍA

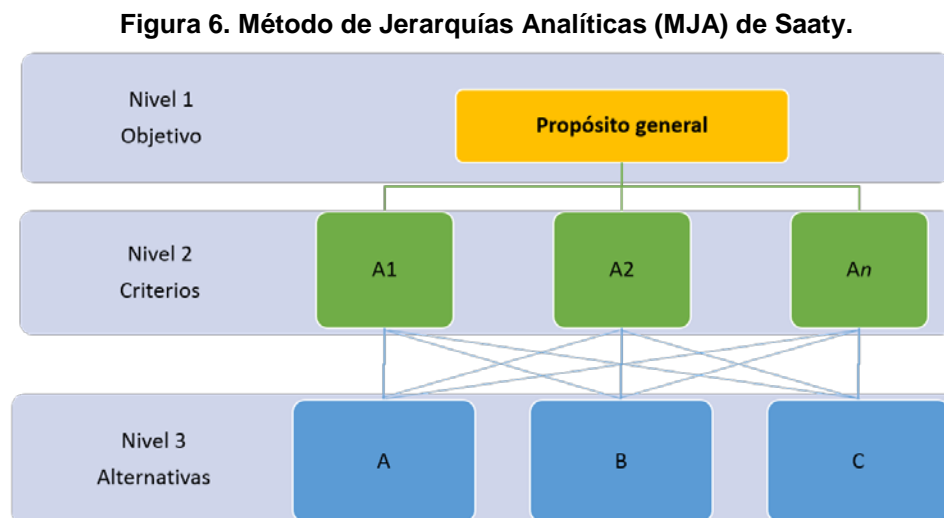
2.1 MÉTODOS

En la metodología que a continuación se presenta se integran los métodos de la EMC y SIG como herramienta de apoyo para realizar procesos de apoyo para el modelado espacial.

2.1.1 MÉTODOS DE CONCORDANCIA

Este método se basa en la comparación por pares de las diferentes alternativas cuyo fin es obtener una relación ordenada de las mismas para poder realizar una selección final. La medida de concordancia representa la dominancia de una alternativa sobre otra. Por otra parte, mide la discordancia que estaría en función del grado de dominancia de la alternativa i' sobre i , en todos los criterios en los que i' es mejor que i . El método de jerarquías analíticas se basa en este procedimiento de análisis por pares (Gómez y Barredo, 2005).

El **Método de Jerarquías Analíticas** (MJA) de Saaty consiste en la estructuración de un problema Multicriterio, partiendo de la construcción de un modelo que consta de tres niveles a) objetivo, b) criterios y c) alternativas (ver figura 6) (Pineda, 2010).



Fuente. Pineda 2010.

Posteriormente se realizan comparaciones por pares de los elementos de cada nivel de jerarquía, donde la suma de los resultados parciales ofrece un valor global para el último nivel de la jerarquía, su importancia radica en que permite asignar valores numéricos a los juicios de valor, con ello se mide cómo contribuye cada elemento de la jerarquía al nivel inmediatamente superior del cual se desprende.

Para obtener la evaluación final de las alternativas se aplicó la Sumatoria Lineal Ponderada, donde el nivel de adecuación de cada alternativa se obtiene sumando el resultado de multiplicar el valor de cada criterio por su peso (Pineda, 2010). Así se tiene la siguiente formula:

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

Donde:

r_i = nivel de adecuación de la alternativa i

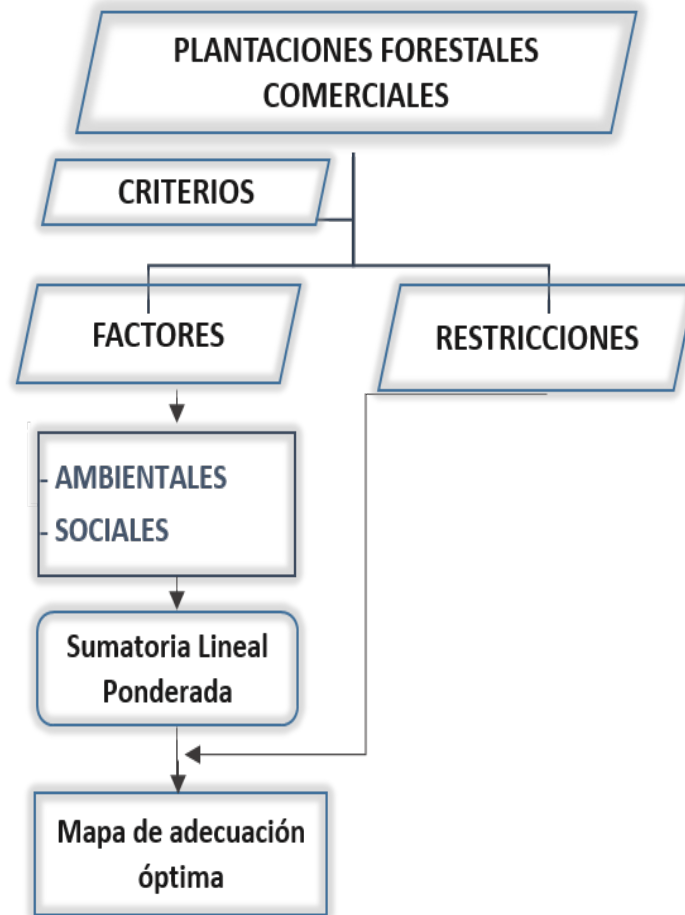
w_j = peso del criterio j

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

Con el fin de obtener el modelo para las zonas más adecuadas para plantaciones forestales comerciales se aplicaron los diferentes procedimientos antes mencionados y en la figura 7 se muestra el procedimiento de manera esquemática.

Por otro lado a partir de los criterios definidos, fueron obtenidos los factores y restricciones para las PFC; donde los factores fueron clasificados en ambientales los cuales se ponderaron con MJA para definir la jerarquía relativa según la importancia de los factores. Una vez ponderados los factores se hizo una superposición de capas aplicando la regla de decisión que fue la Sumatoria Lineal Ponderada y así generar los mapas de adecuación óptima.

Figura 7. Modelo para Plantaciones Forestales Comerciales.



2.1.2 DATOS BASE

Esta fase del proyecto al igual que las anteriores es de gran importancia ya que es donde se analizan los factores con base en los criterios seleccionados.

Con base en lo que menciona Gómez Orea (1985) citado por Gómez y Barredo (2005), los factores de localización de actividades se analizan con base en cuatro factores, los cuales se orientan para la evaluación de una actividad en el territorio. Estos factores se mencionan a continuación:

- Factores basados en patrones pasados de desarrollo: éste es la base de mayor influencia para la localización al patrón espacial actual existente

- Factores del medio natural: en este aspecto se consideran aquellos elementos del medio que incidan como inductores o limitantes para la actividad evaluada, entre los de mayor representatividad son: morfología del terreno, vegetación, paisaje, riesgos naturales, entre otros.
- Factores referentes a las características espaciales: estos factores atañen a factores como distancia, accesibilidad, aglomeración y tamaño. Así como elementos relacionados a vías de comunicación.
- Factores basados en otras determinantes: como desarrollo económico, aspectos sociales, políticas de índole territorial. Estos factores debido a su carácter cualitativo, pueden ser altamente complejos. En este conjunto de factores se tiene cierto grado de aleatoriedad como en la mayoría de los casos sociales y de decisión humana.

Por tanto, una vez definidos los tipos de factores considerados para evaluar una actividad según las condiciones del territorio, a continuación se presentan los factores de tipo ambiental y social que se seleccionaron con base en la bibliografía consultada para la modelación de las zonas aptas para Plantaciones Forestales Comerciales en el Estado de México.

Todas las variables se transformaron a formato raster para facilitar el análisis espacial y con base en la revisión bibliográfica y las fichas técnicas de las especies forestales emitidas por CONAFOR, la base de datos finalmente compilada está compuesta por las coberturas que aparecen en la siguiente tabla.

Tabla 3. Coberturas utilizadas en la base de datos.

Factores	Cobertura	Fuente	Escala
<i>Físico-geográficas</i>	Geología	INEGI	1: 250 000
	Suelos		
	Uso de suelo		
	Relieve		
	Precipitación media anual		
	Temperatura media anual		
	Hidrología		
	Altitud		
	Pendiente		
<i>Marco legal</i>	Áreas Naturales Protegidas	CEPANAF	1:250 000
<i>Vías de comunicación</i>	Carreteras estatales y Caminos	INEGI	1: 250 000

A nivel estatal se implementa el programa de Plantaciones Forestales Comerciales (PFC) en el cual el Gobierno del Estado de México en cumplimiento a la normatividad y tomando como base el principio de desarrollo sustentable, busca un aprovechamiento racional de las áreas forestales, con participación de los sectores involucrados donde se revierta el deterioro y la pérdida del potencial productivo de los recursos forestales. Por tanto se busca, generar beneficios para los dueños y poseedores de las tierras de manera directa y para la sociedad en general de manera indirecta. Las PFC representan una alternativa para la generación de empleos, producción de materias primas para la industria forestal, garantizando la sustentabilidad de los recursos forestales (PROBOSQUE, 2014).

Por tanto las especies forestales autóctonas del Estado de México y que se recomienda para plantaciones forestales comerciales son:

Tabla 4. Especies forestales para Plantaciones Forestales Comerciales.

Tipo de Vegetación	Especie
Bosques de coníferas	<i>Pinus Montezumae</i>
	<i>Pinus Douglasiana</i>
	<i>Pinus Leiophylla</i>
	<i>Pinus Patula</i>
	<i>Pinus Pringlei</i>
	<i>Pinus Pseudostrobus</i>
	<i>Pinus Rudis</i>
	<i>Pinus Teocote</i>

Una vez seleccionadas las especies forestales con aptitud para plantaciones comerciales, se definieron los requerimientos ambientales para cada una con base en las fichas técnicas emitidas por la CONAFOR:

Tabla 5. Requerimientos ambientales para Plantaciones Forestales Comerciales.

Requerimientos ambientales	Plantaciones Forestales Comerciales	Unidad de medida
Altitud	2489	msnm
Pendiente	<25	%
Suelo	Andosol	-
Roca	Volcánica	-
Textura del suelo	Media	-
Temperatura Media Anual	14	°C
Precipitación Media Anual	1133	mm/año

Fuente. Elaboración propia con base en CONAFOR (2013).

Donde los valores de la columna de Plantaciones Forestales Comerciales se obtuvieron a partir de un promedio.

Una vez seleccionadas las variables, se emplearon los procedimientos necesarios para definir el modelo e identificar las áreas óptimas para Plantaciones Forestales Comerciales.

2.2 SELECCIÓN DE ÁREAS ÓPTIMAS PARA PLANTACIONES FORESTALES COMERCIALES

2.2.1 CRITERIOS, RESTRICCIONES Y FACTORES

Como se mencionaba en apartados anteriores, para definir las áreas óptimas para PFC es necesario definir criterios los cuales deben contener los distintos tipos de variables los cuales pueden ser tanto factores como restricciones. Por un lado los factores, se miden en escalas continuas y las restricciones son de tipo excluyente por lo que deben ser una capa binaria (Pineda, 2010). Los criterios seleccionados fueron únicamente ambientales y sociales.

2.2.1.1 *Criterios*

Con base en la revisión bibliográfica y criterios definidos por expertos como en Pineda (2010), los criterios considerados aptos para definir las áreas óptimas para Plantaciones Forestales Comerciales son:

- ✓ Espacios con un potencial del suelo adecuado que incluya aspectos geográficos y topográficos para plantaciones forestales comerciales.
- ✓ Terrenos donde sea posible introducir una cubierta vegetal que permita conservar lo suelos.
- ✓ Espacios donde las actividades forestales no presenten conflicto con las Áreas Naturales Protegidas.
- ✓ Espacios con adecuada accesibilidad a las vías de comunicación.
- ✓ Espacios cercanos a fuentes de agua con el fin de que sean suministrada a las plantaciones forestales
- ✓ Espacios para el establecimiento de Plantaciones Forestales Comerciales con el fin de disminuir la presión sobre los bosques naturales.

2.2.1.2 Restricciones

Las restricciones o limitantes precisamente restringen la posibilidad de algunas alternativas en función de la actividad evaluada, es decir, se genera una capa binaria donde se tiene dos códigos numéricos, 1 corresponde al lugar ideal para desarrollar la actividad propuesta y el valor 0, que indica aquellas zonas excluidas del análisis, es decir, las zonas no aptas.

Por tanto entre las principales restricciones para limitar el crecimiento de plantaciones forestales comerciales es en vías de comunicación como caminos, carreteras y Áreas Naturales Protegidas. Así como también hay restricciones para establecer plantaciones comerciales en diferentes usos de suelo, como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 6. Restricciones de uso de suelo para Plantaciones Forestales Comerciales.

Ocupación y Uso del Suelo	Plantaciones Forestales Comerciales
Bosque de coníferas primario	x
Bosque de coníferas secundario	
Bosque de latifoliadas primarios	x
Bosque de latifoliadas secundario	x
Bosque mixto primario	x
Bosque mixto secundario	
Bosque mesófilo de montaña	x
Selva baja caducifolia primaria	x
Selva baja caducifolia secundaria	x
Matorral primario	
Matorral secundario	
Pastizal Inducido	
Otros tipos de vegetación	x
Desprovisto de vegetación	
Agricultura de riego	x
Agricultura de temporal	
Plantación comercial	x
Asentamientos humanos	x
Cuerpos de Agua	x

En la tabla anterior se marcan con una “x” los usos del suelo en los cuales hay limitaciones para establecer plantaciones comerciales. Donde se limita el

crecimiento en aquellos usos con bosques primarios o naturales, ya que una regla de las PFC es que no se permite realizar cortes de bosques naturales para establecer plantaciones comerciales (CONAFOR, 2013).

Como se mencionaba en párrafos anteriores, para las restricciones fue necesario generar mapas booleanos (0,1) donde 0 indica aquellas zonas excluidas del análisis y el 1, al lugar candidato para desarrollar la actividad (Pineda, 2010) (ver figuras 8 y 9).

Figura 8. Reclassificación para generar mapas booleanos.

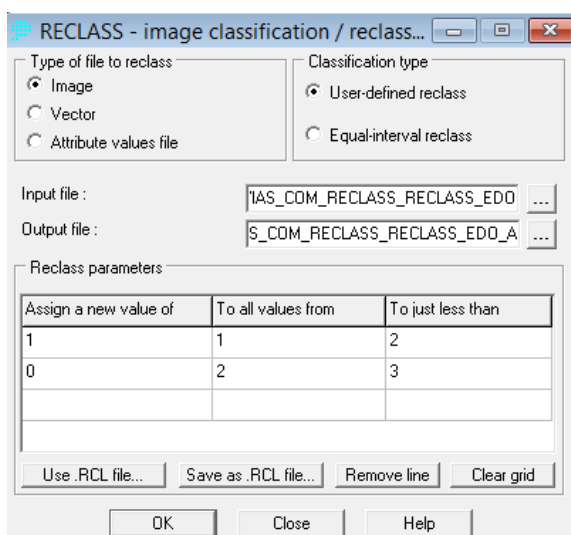
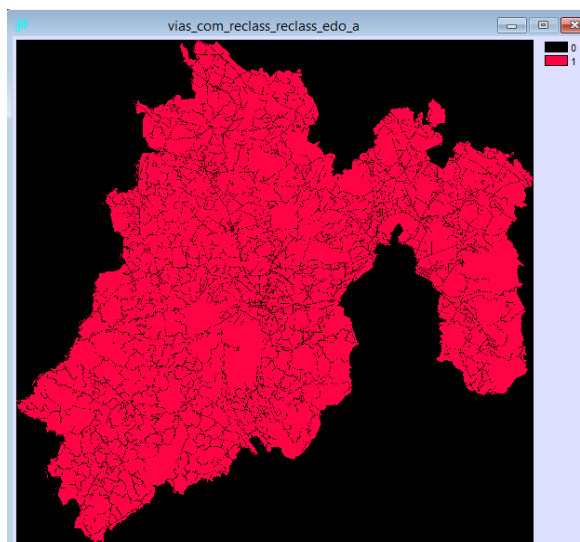


Figura 9. Mapa booleano restrictivo.



Dicho procedimiento fue realizado para las tres variables restrictivas. Para el caso de vías de comunicación se consideraron como restricción los caminos pavimentados, la terracería, brecha y caminos revestidos de algún tipo material, a dichas categorías se les asignó un valor de 0 y a todo fuera de ellas un valor de 1. En el caso de las ANP se le asignó valor de 0 sólo a aquellas áreas que con base en sus características y políticas de manejo no se permite establecer PFC como las Ciénegas de Lerma, y valor de 1 a aquellas que si se permite un aprovechamiento forestal sustentable o que su plan de manejo lo permite como las Áreas de Recursos Naturales. Para el caso de las restricciones en el uso de suelo,

se asignó valor de 0 a los usos que se han marcado con una x en la tabla 14, y valor de uno las que no tienen dicha letra.

2.2.1.3 Factores Ambientales

Con base en las fichas técnicas emitidas por CONAFOR, entre los principales requerimientos ambientales para el establecimiento de PFC son altitud, pendiente, temperatura media anual, precipitación media anual, suelo, tipo de roca y textura del suelo.

Altitud: Con base en los parámetros definidos para establecer PFC la altitud óptima es de 2489 msnm. El factor se normalizó con la función Sigmoidal del módulo Fuzzy (ver figura 10 y 11) donde se requieren puntos de control que son **a**, **b-c**, **d**. El punto de control **a** es la altitud mínima, los puntos **b-c** son la altitud optima y el punto **c** es la altitud máxima obteniendo así el mapa de la figura 12.

Figura 10. Altitud.

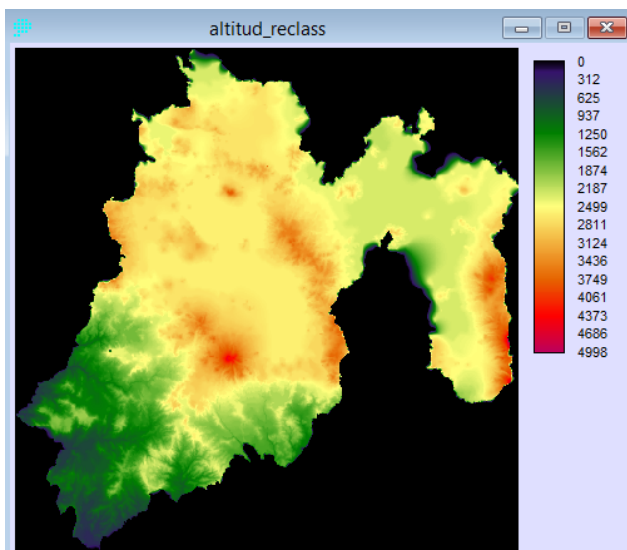


Figura 11. Normalización de altitud.

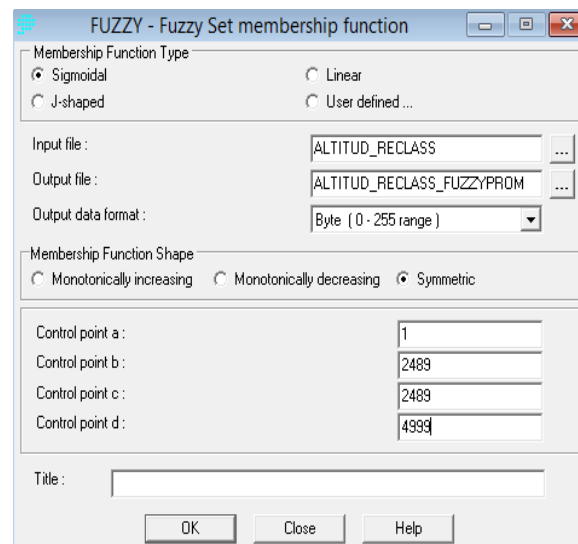
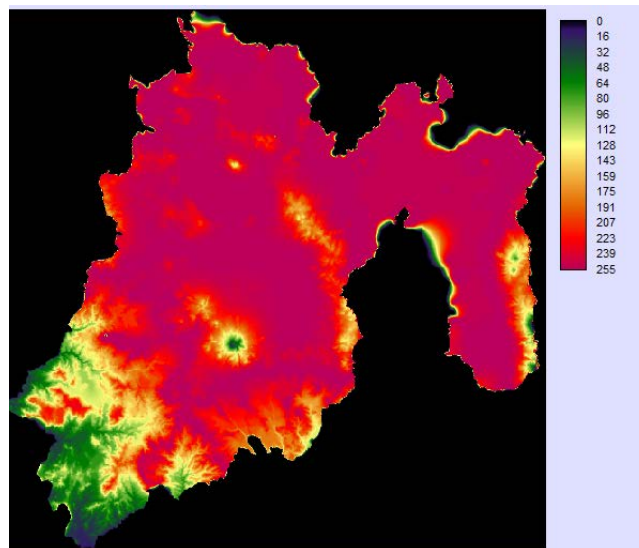


Figura 12. Mapa normalizado de altitud.



Pendiente: con base en las fichas técnicas de los requerimientos ambientales la pendiente óptima para el establecimiento de Plantaciones Forestales Comerciales debe ser menor al 25%.

Para este factor se utilizó el módulo Surface (ver figura 13) en el cual se obtuvo el mapa de pendiente en porcentaje, posteriormente se normalizó el archivo resultante en el módulo Fuzzy con el fin de tener un mapa en un rango de 0-255, con el fin de poder ser analizada en el módulo MCE (Evaluación multicriterio) (ver figuras 14 y 15).

Figura 13. Módulo Surface para mapa de pendiente.

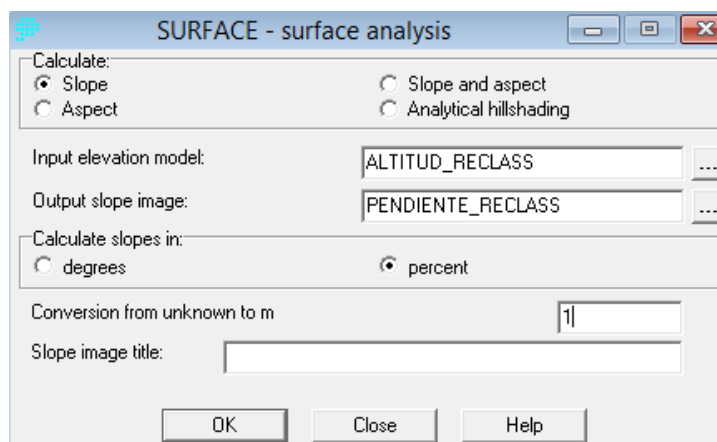


Figura 14. Normalización de la pendiente.

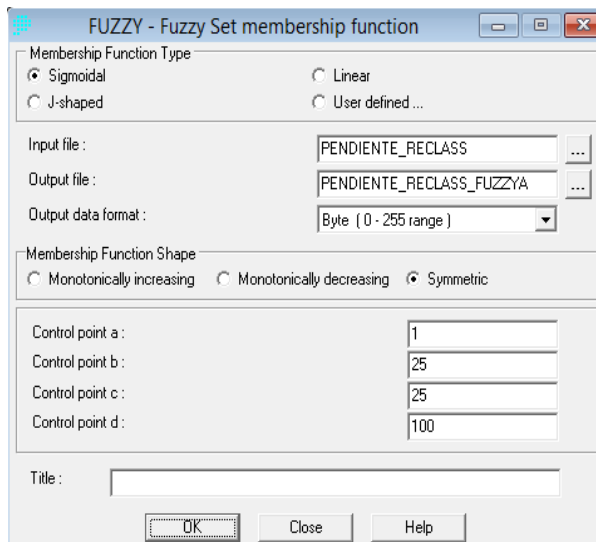
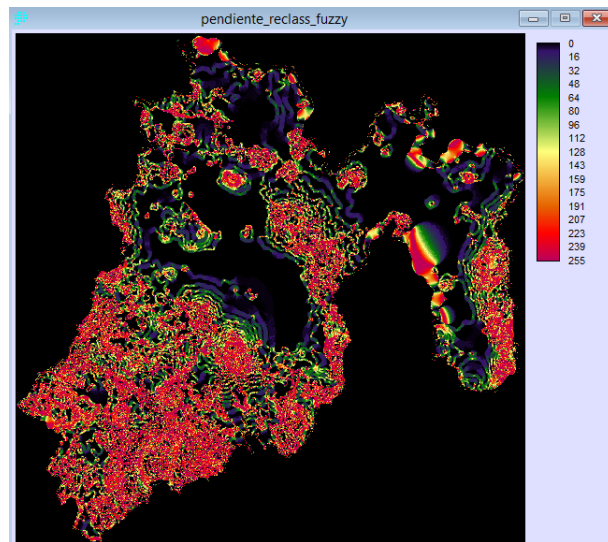


Figura 15. Mapa normalizado de pendiente.



Suelo: la zona de estudio cuenta con suelos de origen volcánico donde los principales tipos son Andosoles, Cambisoles, Histosoles y Otros. Esta variable al ser categórica fue necesario reclasificarla (ver tabla 15) y asignarle pesos de acuerdo a su importancia (ver tabla 16), los cuales quedaron de la siguiente manera:

Tabla 7. Reclasificación de suelos según idoneidad.

Suelo	Idoneidad	Clasificación
Andosol	Muy alta	1
Cambisol	Alta	2
Histosol	Media	3
Otros	Baja	4

Posteriormente la variable se procesó con el módulo Weight por medio del método de Saaty de comparación por pares con el fin de calcular el peso para cada tipo de suelo, donde la consistencia debe ser menor a 1 si es así la asignación de los juicios de valor es consistente y aceptable. Los pesos fueron asignados con base en las fichas técnicas de CONAFOR y revisión bibliográfica.

Tabla 8. Matriz de comparación por pares tipo de suelo.

Tipo de suelos					Peso
-	1	2	3	4	-
1	1	-	-	-	0.5822
2	1/3	1	-	-	0.2381
3	1/5	1/2	1	-	0.1348
4	1/9	1/6	1/4	1	0.0449

Se tuvo una consistencia de radio de 0.03, es una consistencia aceptable.

Una vez obtenidos los pesos se reclasificaron con el módulo Reclass con el fin de clasificar cada uno de los suelos de acuerdo a los pesos obtenidos del módulo Weight (ver figura 16) y finalmente se normalizaron los valores para obtener un nivel de adecuación de 0-255 (ver figura 17 y 18).

Figura 16. Reclasificación suelos.

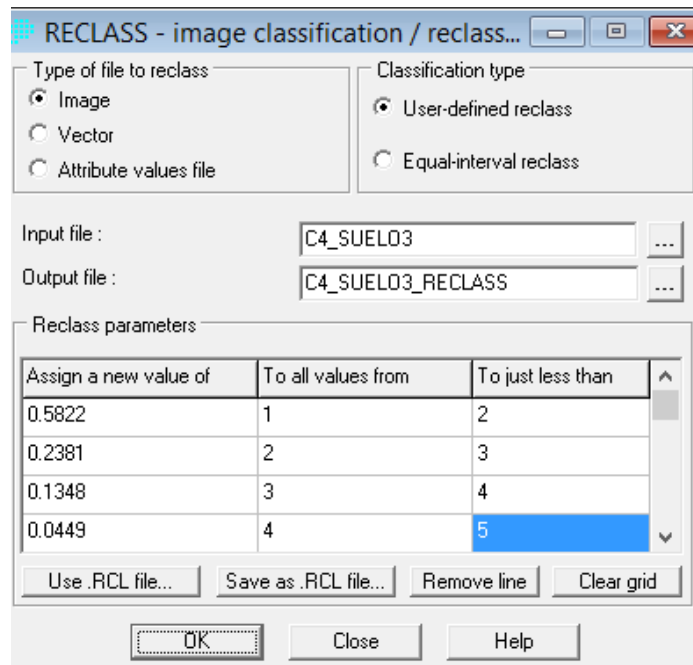


Figura 17. Normalización tipos de suelo.

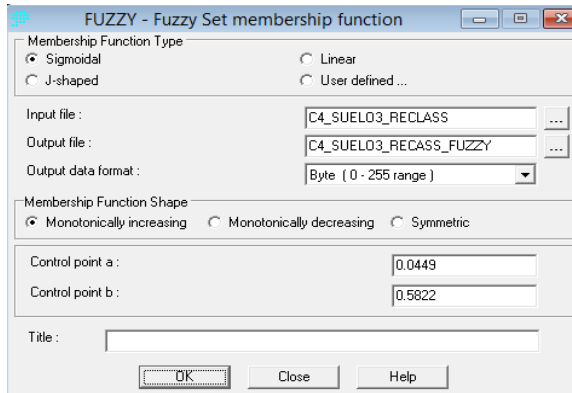
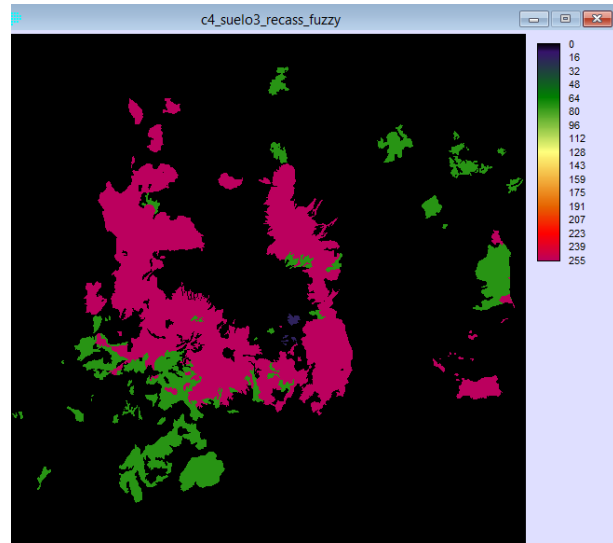


Figura 18. Mapa normalizado de suelos.



Roca: componente físico que se refiere a la estructura geológica del territorio, en este caso los principales tipos de roca son de origen volcánico y de acuerdo a las fichas técnicas de CONAFOR la roca volcánica es la idónea para las especies propuestas (ver tabla 17).

Tabla 9. Reclasificación de rocas según idoneidad.

Roca	Idoneidad	Clasificación
Roca Volcánica	Alta	1
Rocas Clásticas y Volcánicas	Media	2
Otras	Baja	3

Al igual que la variable de suelo también fue necesario calcular el peso para cada tipo de roca utilizando el módulo Weight por medio de comparación por pares (ver tabla 18) cuya consistencia debe ser menor a 1 si es así la asignación de los juicios de valor es consistente y aceptable.

Tabla 10. Matriz de comparación por pares tipo de roca.

	Tipo de roca			Peso
	1	2	3	
1	1	-	-	0.6586
2	1/3	1	-	0.2628
3	1/9	1/6	1	0.0786

Radio de consistencia 0.03 la consistencia es aceptable.

Posteriormente fue necesario reclasificar con el módulo Reclass con base en los pesos obtenidos del Weight y finalmente normalizar la variable en un nivel de adecuación de 0-255 (ver figuras 19, 20 y 21).

Figura 19. Reclasificación tipos de rocas.

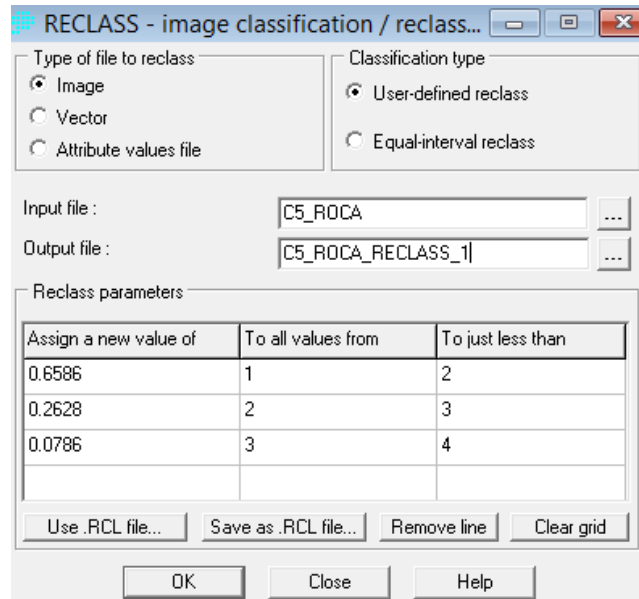


Figura 20. Normalización tipos de rocas.

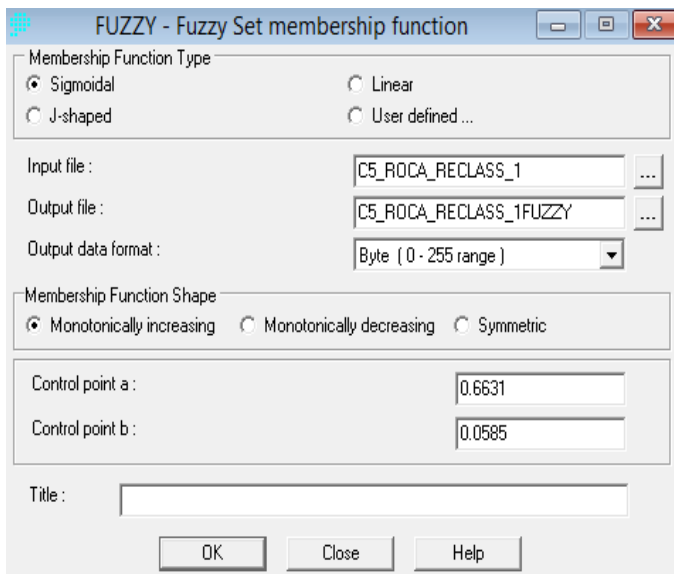
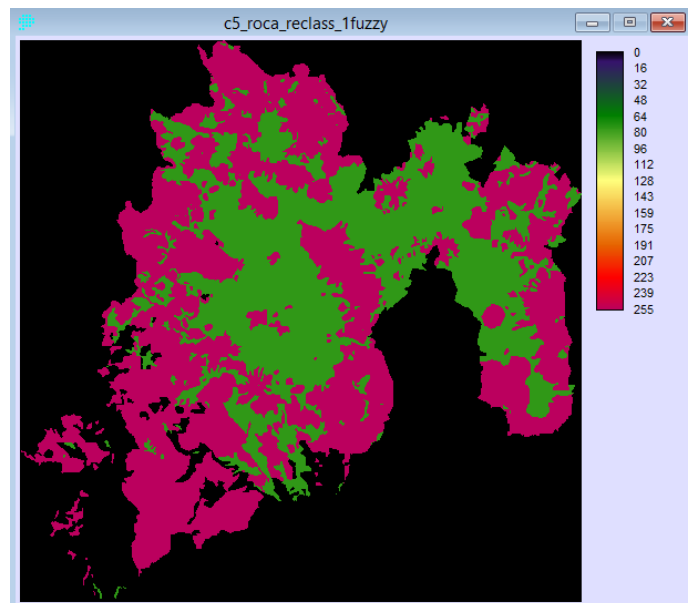


Figura 21. Mapa normalizado de rocas.



Textura del suelo: variable del suelo de tipo física que permite el crecimiento de las especies forestales. La textura media es la óptima para las especies propuestas por lo que el equilibrio entre el porcentaje de arenas, limos y arcillas contenidas en el suelo proporciona la textura óptima para las plantaciones forestales comerciales. Por ser una variable categórica también fue necesario normalizar y reclasificar (ver tabla 11).

Tabla 11. Reclasificación de textura del suelo según idoneidad.

Textura del suelo	Idoneidad	Clasificación
Media	Alta	1
Fina	Media	2
Gruesa	Baja	3

También se utilizó la técnica de comparación por pares del módulo Weight (ver tabla 12) para calcular el peso de cada tipo de textura cuya consistencia debe ser menor a uno si es así la asignación de los juicios de valor es consistente y aceptable.

Tabla 12. Matriz de comparación por pares.

	Tipo de roca			Peso
-	1	2	3	
1	1	-	-	0.6586
2	1/3	1	-	0.2628
3	1/7	1/4	1	0.0786

Radio de consistencia 0.03 la consistencia es aceptable.

Como se mencionaba en párrafos anteriores, al ser una variable categórica también fue necesario reclasificar y normalizar con base en los pesos obtenidos del módulo Weight (ver figura 22, 23 y 24).

Figura 22. Reclasificación textura del suelo.

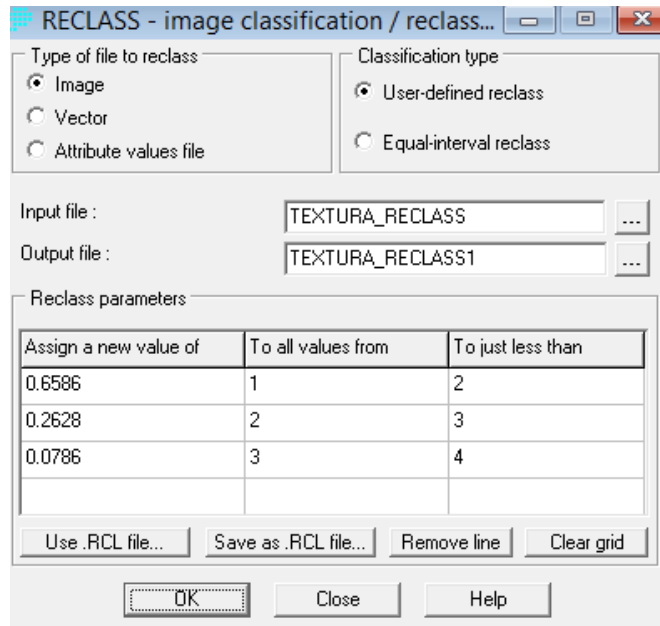
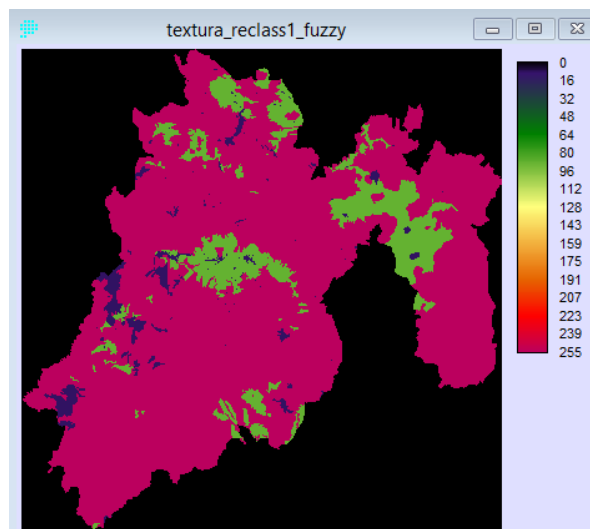
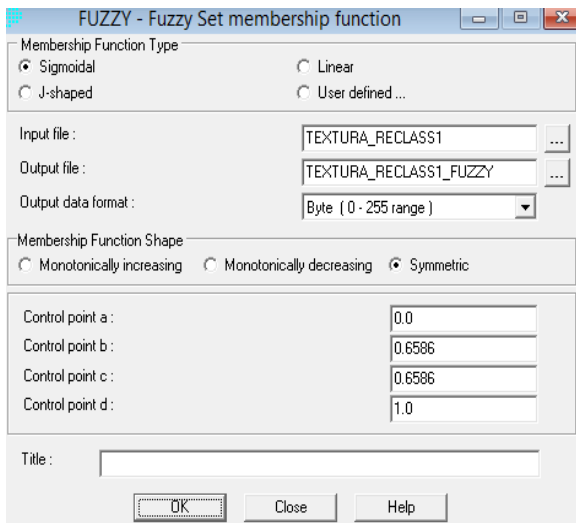


Figura 23. Normalización textura del suelo.

Figura 24. Mapa normalizado de textura del suelo.



Temperatura Media Anual: la temperatura óptima para las PFC de acuerdo a las fichas técnicas de CONAFOR es de 14° hasta 20°C se utilizó el módulo Fuzzy para normalizar y contar con un nivel de adecuación de 0-255 (ver figuras 25, 26 y 27).

Figura 25. Temperatura Media Anual.

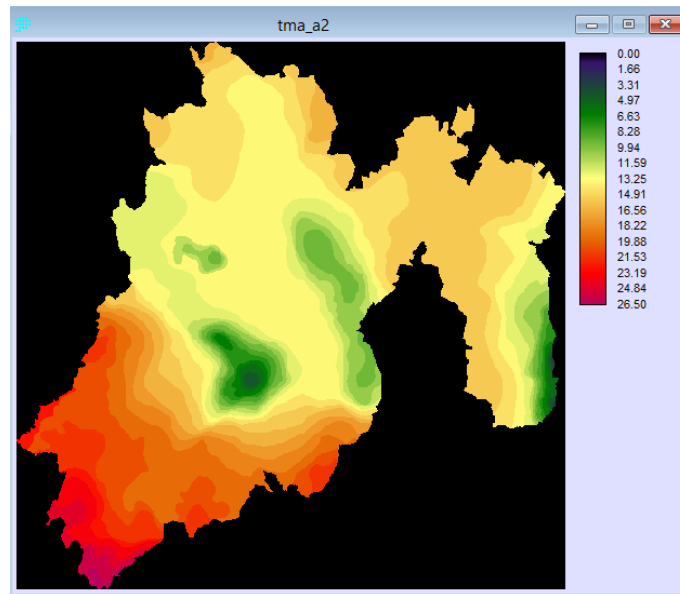


Figura 26. Normalización de temperatura.

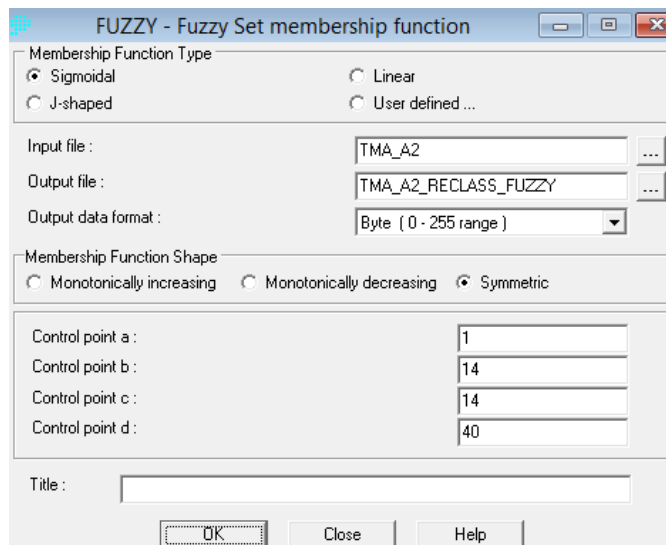
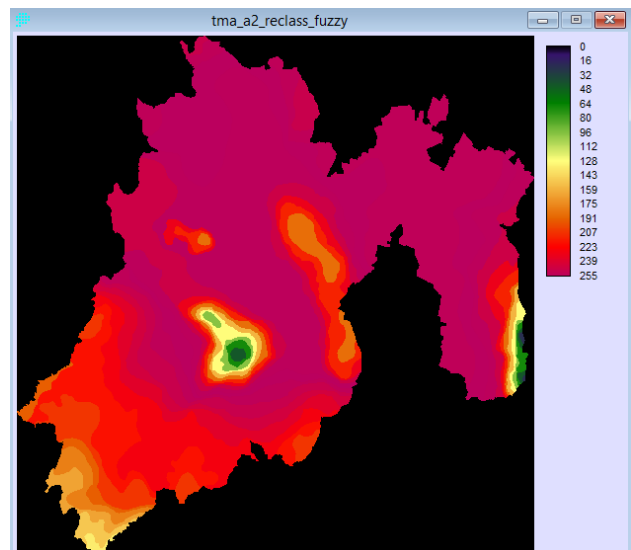


Figura 27. Mapa normalizado de temperatura.



Precipitación Media Anual: variable ambiental que tiene como rango optimo 1133 mm anuales para las especies seleccionadas. Esta variable también fue normalizada con el módulo Fuzzy con un nivel de adecuación de 0-255 (ver figuras 28, 29 y 30).

Figura 28. Precipitación Media Anual

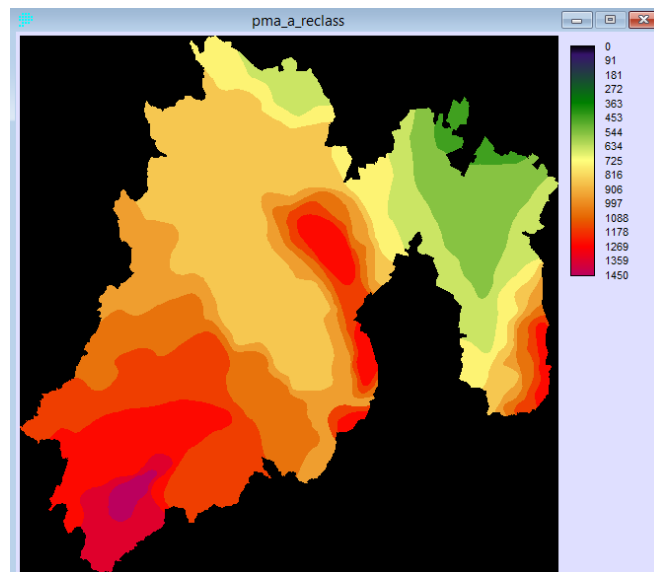


Figura 29. Normalización de precipitación media anual.

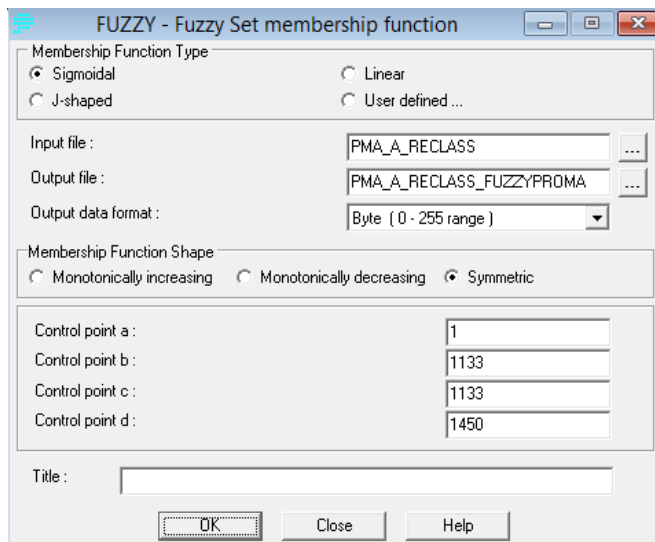
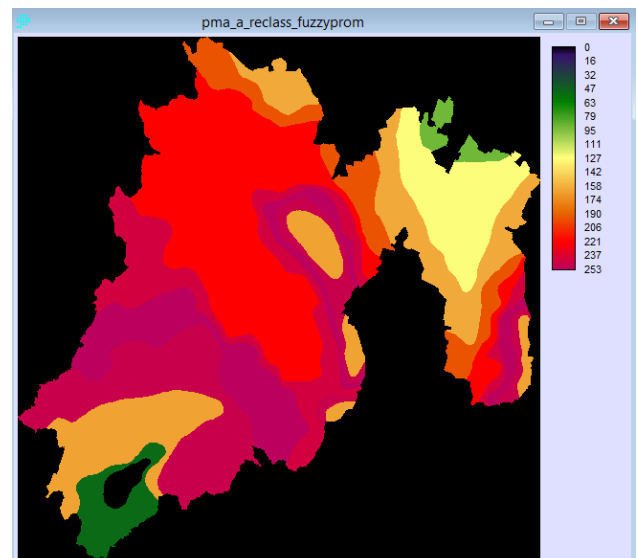


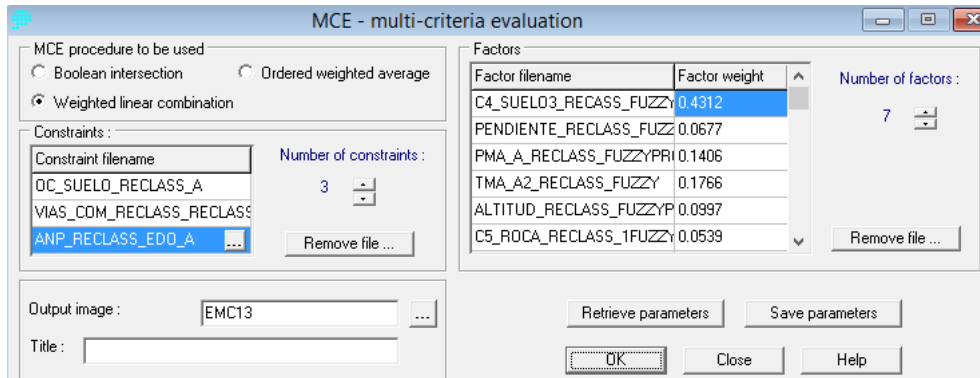
Figura 30. Mapa normalizado de precipitación media anual.



Modelo de adecuación para Plantaciones Forestales Comerciales: una vez que las restricciones y los factores fueron calibrados o normalizados con un nivel de adecuación de 0 a 255, los factores nuevamente fueron analizados en el módulo Weight con el fin de obtener su peso de uno con respecto al otro. Una vez con los pesos de cada factor, fueron introducidos en el módulo de Evaluación Multicriterio (MCE, por sus siglas en inglés) asignándoles los pesos respectivos según los valores arrojados en la ponderación hecha en el módulo Weight (ver figura 31). Finalmente con ello se identificaron las zonas con aptitud a establecer plantaciones forestales comerciales en el Estado de México.

Los pesos para cada uno de los factores son: suelo 0.4312, temperatura 0.1766, precipitación 0.1406, altitud 0.0997, pendiente 0.0677, roca 0.0539 y textura de suelo 0.0304 (ver figura 31), los cuales indican el nivel de importancia para las PFC, por tanto con base en el modelo el suelo es el de mayor importancia.

Figura 31. Modulo Evaluación Multicriterio (EMC).

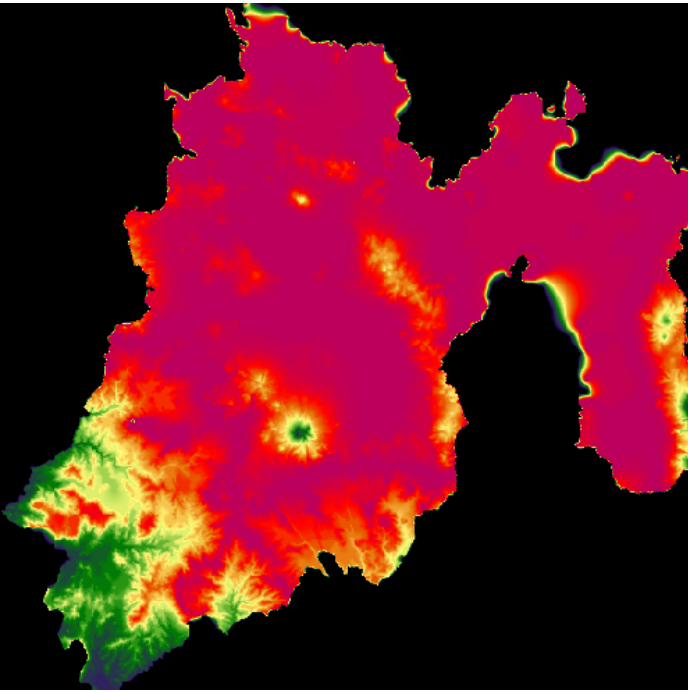


Por otro lado el mapa resultante de la evaluación multicriterio muestra las zonas óptimas para establecer plantaciones comerciales y cuyos valores van de 0 a 255, lo cual indica que entre más cercanos sea a 255 la zona tiene una mayor aptitud para dicho uso y entre más cercano a 0 esta capacidad disminuye.

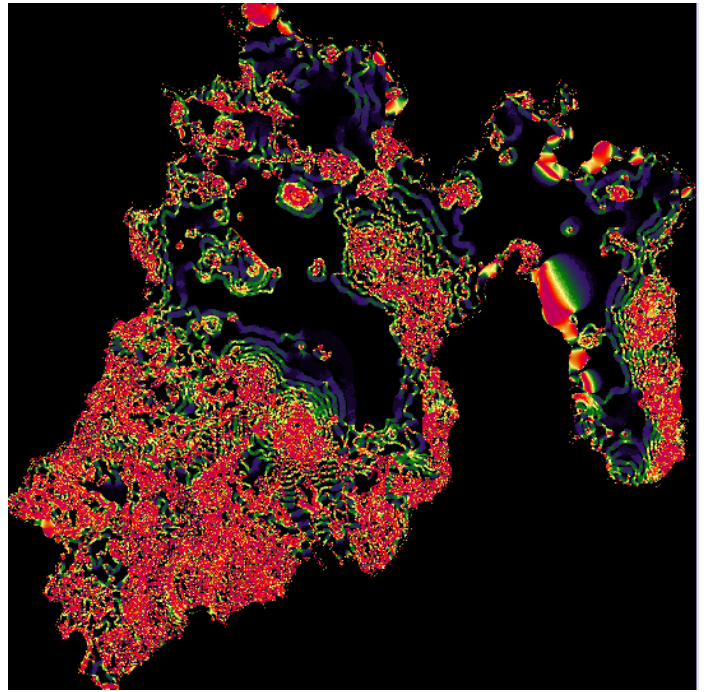
Según Gómez y Barredo (2005) la clasificación de los rangos de aptitud varían entre 20 y 30 su valor, es decir si el valor máximo de aptitud es 255 se restan 30 y el primer rango es de 225, el segundo rango es 195 y el tercero de 165, quedando las categorías como Alto, Medio y Bajo.

IDENTIFICACIÓN DE ZONAS ÓPTIMAS PARA PLANTACIONES FORESTALES COMERCIALES EN AMBIENTE SIG Y EVALUACIÓN MULTICRITERIO, CASO DE ESTUDIO, ESTADO DE MÉXICO.

Mapa 1. Altitud.



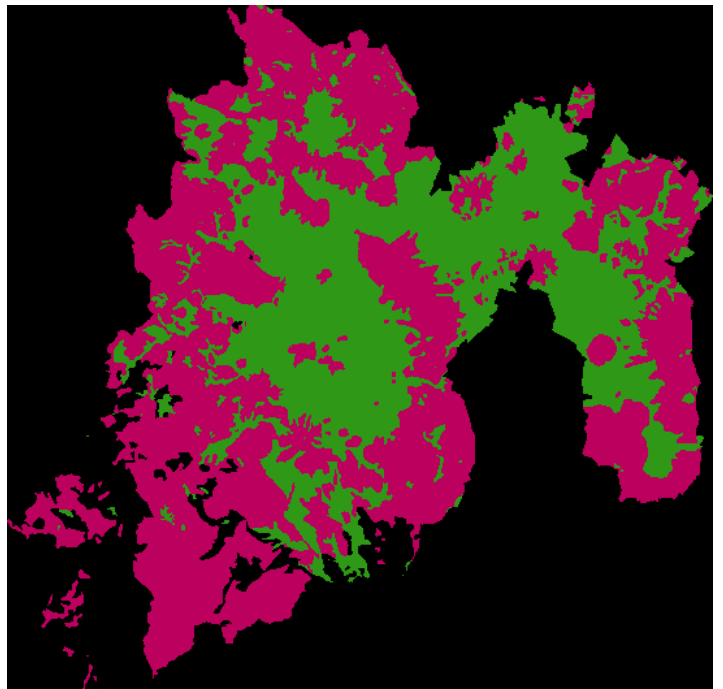
Mapa 2. Pendiente.



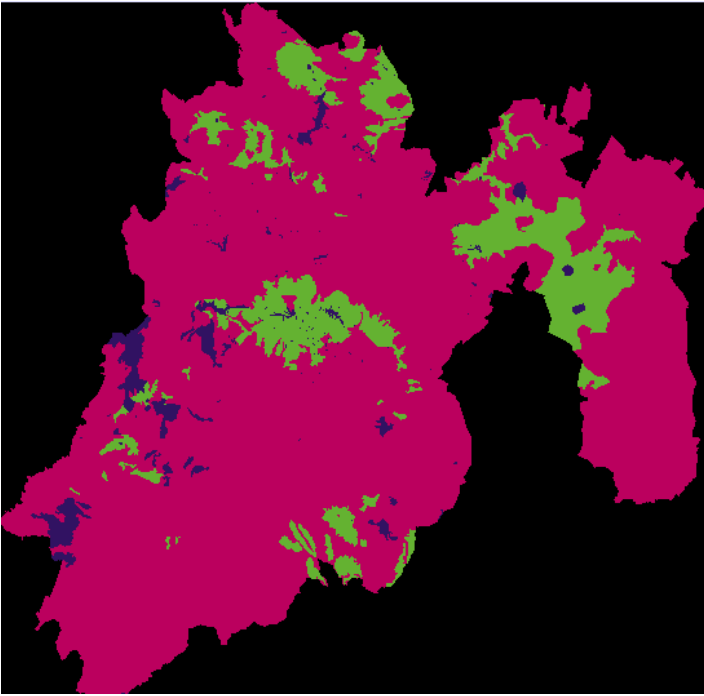
Mapa 3. Suelo.



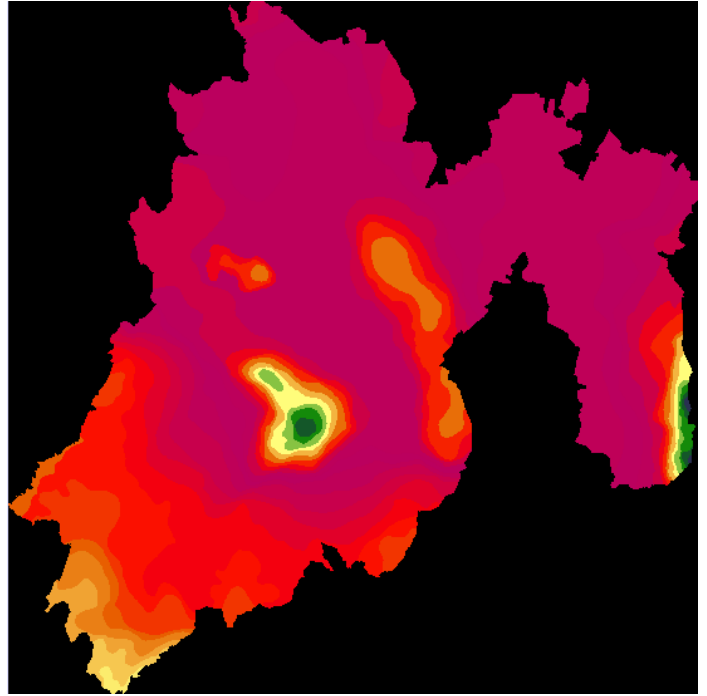
Mapa 4. Geología.



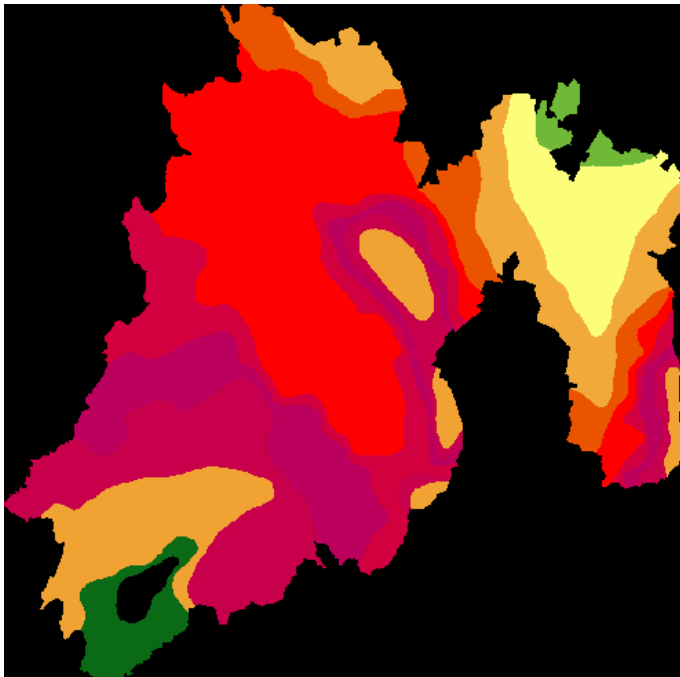
Mapa 5. Textura.



Mapa 6. Temperatura Media Anual.



Mapa 7. Precipitación Media Anual.



CAPÍTULO 3. RESULTADOS

Con el fin de obtener las zonas óptimas para Plantaciones Forestales Comerciales para el Estado de México se utilizó el método de Evaluación Multicriterio donde a partir del Método de Jerarquías Analíticas de Saaty y el Método de Lógica Borrosa o fuzzy se analizaron factores ambientales como altitud, pendiente, precipitación media anual, temperatura media anual, suelo, roca y textura del suelo, gracias a lo cual se obtuvieron los siguientes resultados.

3.1 MODELO DE ZONAS CON ALTA APTITUD PARA PFC

Con base en la categorización propuesta por Gómez y Barredo (2005) las Plantaciones Forestales Comerciales con Alta aptitud son 186,390 hectáreas, las zonas con Media aptitud son 74,741 hectáreas y por último las zonas con Baja aptitud son 4,676 hectáreas distribuidas a nivel Estado.

Tabla 13. Aptitud del territorio a PFC.

Aptitud	Hectáreas
Alta	186,390
Media	74,741
Baja	4,676

Los municipios que reportan una Alta aptitud son en total 57, sin embargo los primeros diez con mayor superficie son San José del Rincón seguido de Villa de Allende, Villa Victoria, San Felipe del progreso, Ocuilán, Amanalco, Villa Guerrero, Valle de Bravo, Tengo del Valle y por ultimo Tianguistenco. En las siguientes tablas se muestra más detalladamente cada municipio y su superficie:

Tabla 14a. Municipios con Alta Aptitud para PFC.

No.	NOMBRE MUNICIPIO	ha	No.	NOMBRE MUNICIPIO	ha
1	San José del Rincón	30810	7	Villa Guerrero	6524
2	Villa de Allende	15326	8	Valle de Bravo	6398
3	Villa Victoria	13626	9	Tenango del Valle	5469
4	San Felipe del Progreso	10413	10	Tianguistenco	5132
5	Ocuilán	9779	11	Donato Guerra	5129
6	Amanalco	8468	12	Temascaltepec	4968

Tabla 15a. Continua. Municipios con Alta Aptitud para PFC.

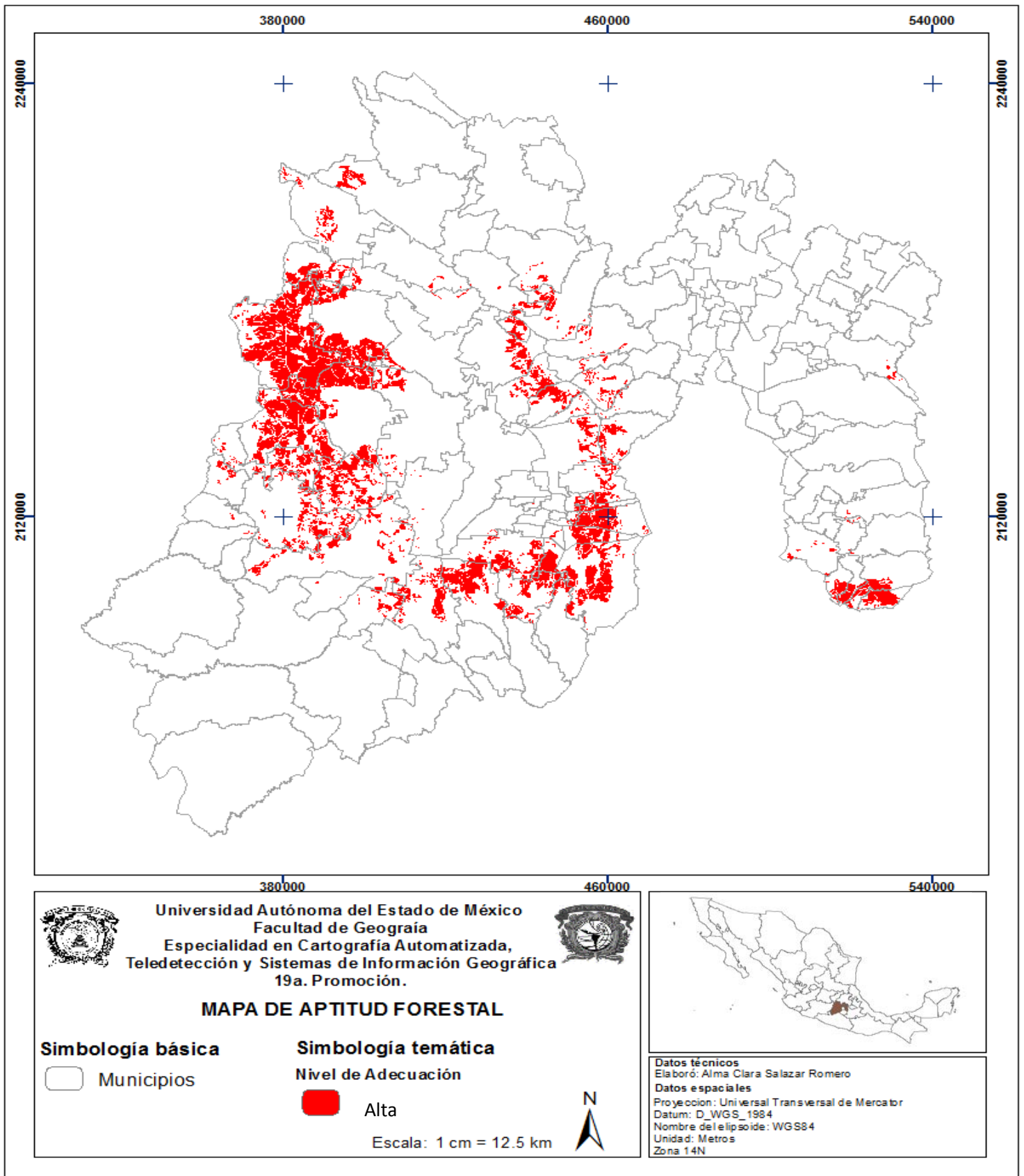
No.	NOMBRE MUNICIPIO	ha	No.	NOMBRE MUNICIPIO	ha
13	Coatepec Harinas	4353	36	Jocotitlán	813
14	Xalatlaco	4320	37	Chapa de Mota	801
15	Tenancingo	4237	38	Ixtapan del Oro	698
16	El Oro	3894	39	Capulhuac	643
17	Temoaya	2863	40	Nicolás Romero	637
18	Lerma	2679	41	Ixtlahuaca	595
19	Ecatzingo	2615	42	Juchitepec	531
20	Joquicingo	2579	43	Isidro Fabela	434
21	Ocoyoacac	2560	44	Tepetlaoxtoc	329
22	Jiquipilco	2553	45	Atlacomulco	329
23	Almoleya de Juárez	2524	46	Xonacatlán	315
24	Otzolotepec	2514	47	Zinacantepec	240
25	Atlautla	2301	48	Texcalyacac	176
26	Morelos	2212	49	Naucalpan de Juárez	175
27	Temascalcingo	2064	50	Calimaya	128
28	Villa del Carbón	2048	51	Zumpahuacán	126
29	Huixquilucan	2012	52	Otzoloapan	89
30	Acambay de Ruiz Castañeda	1858	53	Tlalmanalco	87
31	Jilotzingo	1485	54	Almoleya del Río	86
32	Ozumba	1485	55	Amecameca	76
33	Texcaltitlan	1452	56	San Simón de Guerrero	52
34	Tepetlixpa	1227	57	Chapultepec	34
35	Malinalco	1116		TOTAL	186,390

Con base en el modelo obtenido, los municipios muestran su aptitud para establecer un aprovechamiento forestal ya que de acuerdo a los factores ambientales analizados cumplen con las condiciones óptimas para este tipo de plantación forestal. Entre las principales características de los municipios es que son zonas con vocación forestal y suelos de origen volcánico. Aquellos municipios que no aparecen, es porque tienen una aptitud media, baja o no tiene aptitud para PFC.

A continuación se muestra el mapa a nivel Estatal de aptitud Alta para Plantaciones Forestales Comerciales.

IDENTIFICACIÓN DE ZONAS ÓPTIMAS PARA PLANTACIONES FORESTALES COMERCIALES EN AMBIENTE SIG Y EVALUACIÓN MULTICRITERIO, CASO DE ESTUDIO, ESTADO DE MÉXICO.

Mapa 8. Municipios con Alta aptitud para PFC.



3.2 MODELO DE ZONAS CON MEDIA APTITUD PARA PFC

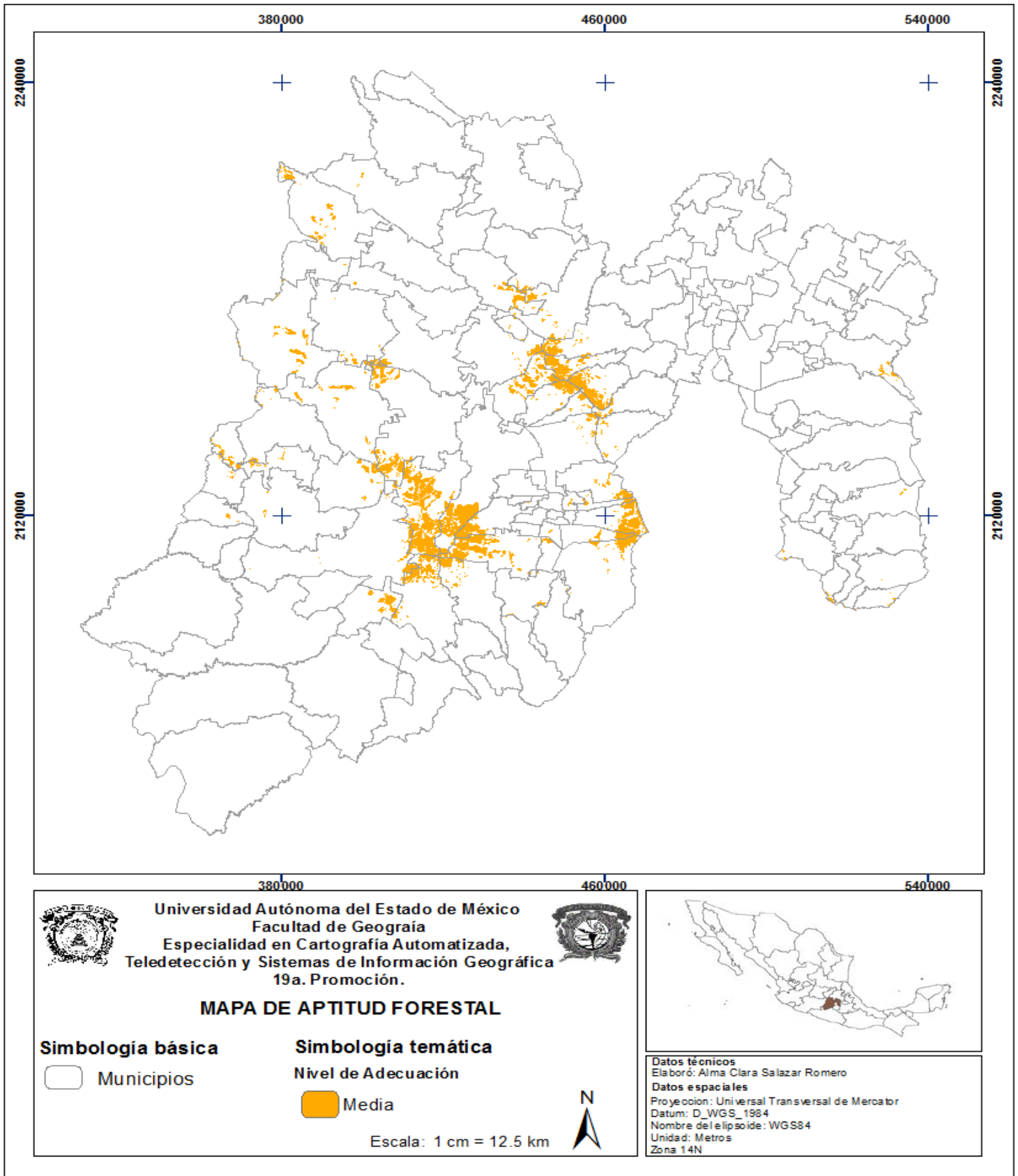
Los municipios que presentaron media aptitud para plantaciones forestales en total son 53. Gran parte de estas zonas ya sea que se encuentran cerca de áreas urbanas o en su caso gran parte de su territorio presenta restricciones para las PFC como es el caso de la Ciudad de Toluca, si bien cuenta con aptitud media para este aprovechamiento gran parte de su territorio ya se encuentra urbanizado. En la tabla siguiente se presentan los municipios con media aptitud para Plantaciones Forestales Comerciales.

Tabla 16. Municipios con Media Aptitud para PFC.

No.	NOMBRE MUNICIPIO	ha	No.	NOMBRE MUNICIPIO	ha
1	Zinacantepec	11742	29	Xonacatlán	601
2	Toluca	5447	30	Villa de Allende	564
3	Tenango del Valle	5172	31	Naucalpan de Juárez	556
4	Almoloya de Juárez	4172	32	Tepetlaoxtoc	526
5	Jilotzingo	3508	33	Huixquilucan	382
6	Xalatlaco	3505	34	Ixtlahuaca	373
7	Coatepec Harinas	3269	35	Chapa de Mota	287
8	Temoaya	3160	36	Joquicingo	279
9	Isidro Fabela	2799	37	Ixtapan del Oro	229
10	Calimaya	1937	38	Tenancingo	219
11	Otzolotepec	1799	39	Tepetlixpa	187
12	Nicolás Romero	1797	40	Capulhuac	173
13	Temascaltepec	1778	41	Juchitepec	153
14	Ocuilán	1728	42	Valle de Bravo	137
15	San José del Rincón	1691	43	Ecatzingo	136
16	Temascalcingo	1666	44	Acambay de Ruiz Castañeda	97
17	Tianguistenco	1581	45	Tlalmanalco	81
18	Villa Victoria	1552	46	Atlautla	75
19	Texcaltitlán	1552	47	Texcalyacac	62
20	Morelos	1432	48	Ozumba	56
21	Villa del Carbón	1341	49	Jocotitlán	48
22	Villa Guerrero	1211	50	El Oro	44
23	Donato Guerra	1166	51	Malinalco	20
24	Ocoyoacac	1083	52	Zumpahuacan	16
25	Amanalco	909	53	Chapultepec	14
26	San Felipe del Progreso	896	54	Mexicaltzingo	14
27	Jiquipilco	823		TOTAL	74,741
28	Lerma	693			

IDENTIFICACIÓN DE ZONAS ÓPTIMAS PARA PLANTACIONES FORESTALES COMERCIALES EN AMBIENTE SIG Y EVALUACIÓN MULTICRITERIO, CASO DE ESTUDIO, ESTADO DE MÉXICO.

Mapa 9. Municipios con Media aptitud para PFC.



3.3 MODELO DE ZONAS CON BAJA APTITUD PARA PFC

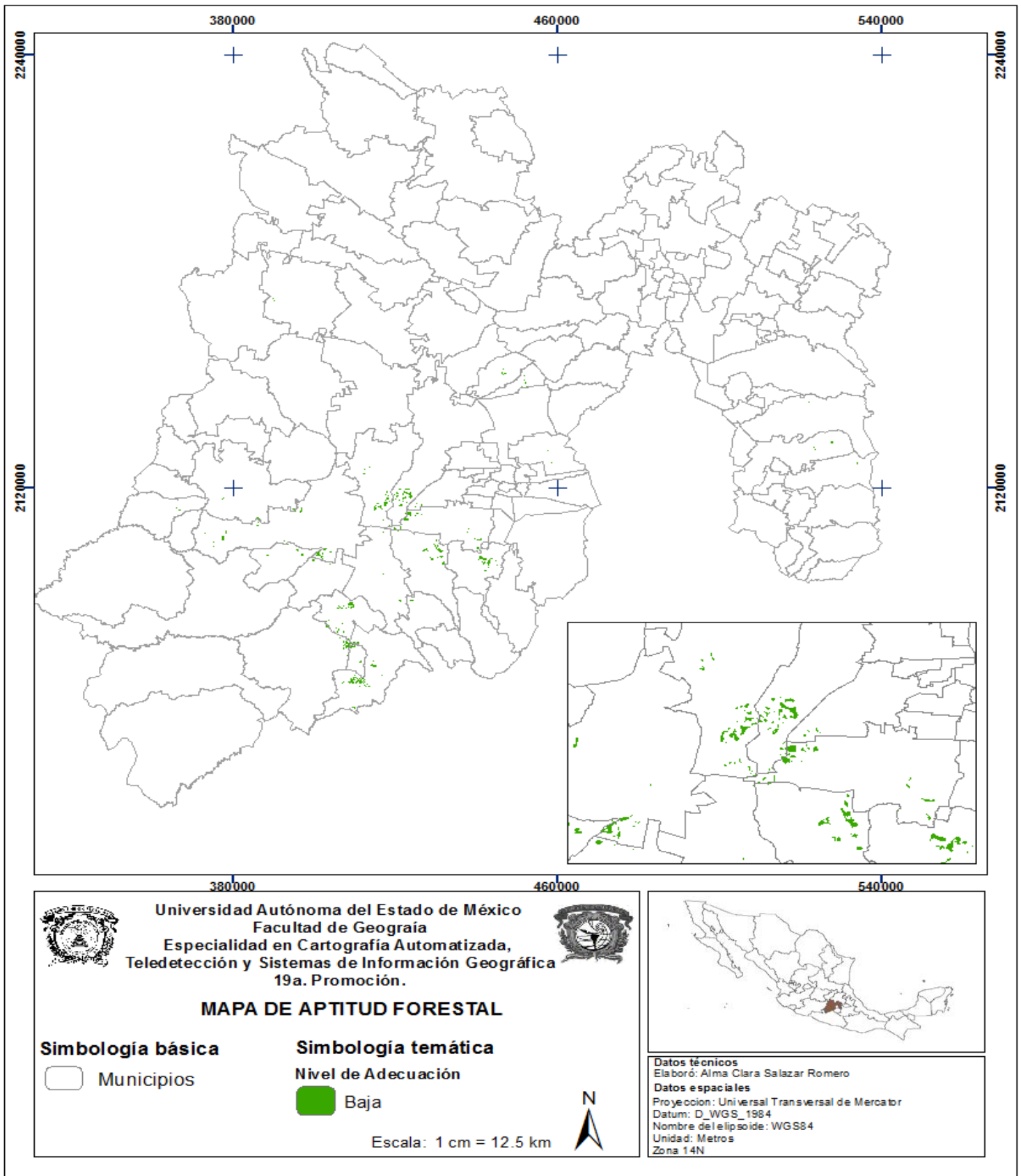
Finalmente las zonas que presentan una Baja aptitud para establecer PFC en total son 28 las cuales representan un total de 4,676 hectáreas del territorio Estatal. Algunos de estos municipios cuentan mayoritariamente con una ocupación del suelo diferente al forestal, lo cual hace que sean menos apto para las PFC.

Tabla 17. Municipios con Baja Aptitud para PFC.

No.	NOMBRE MUNICIPIO	ha	No.	NOMBRE MUNICIPIO	ha
1	Zacualpan	713	16	Otzoloapan	44
2	Almoloya de Alquisiras	501	17	Tlalmanalco	31
3	Toluca	475	18	Coatepec Harinas	25
4	Zinacantepec	464	19	Calimaya	25
5	Villa Guerrero	379	20	Ocoyoacac	23
6	Tenancingo	379	21	Ixtapan de la Sal	22
7	Tenango del Valle	373	22	Naucalpan de Juarez	20
8	Temascaltepec	364	23	San Felipe del Progreso	19
9	Sultepec	345	24	Ocuilan	9
10	San Simon de Guerrero	141	25	Huixquilucan	8
11	Valle de Bravo	83	26	Ixtapaluca	8
12	Chalco	61	27	Lerma	5
13	Xonacatlan	56	28	Chapa de Mota	3
14	Otzolotepec	52		TOTAL	4676
15	Texcaltitlan	48			

IDENTIFICACIÓN DE ZONAS ÓPTIMAS PARA PLANTACIONES FORESTALES COMERCIALES EN AMBIENTE SIG Y EVALUACIÓN MULTICRITERIO, CASO DE ESTUDIO, ESTADO DE MÉXICO.

Mapa 10. Municipios con Baja aptitud para PFC.



CAPITULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

La aplicación de la metodología Evaluación Multicriterio ha permitido identificar aquellas zonas aptas para establecer Plantaciones Forestales Comerciales a nivel Estatal, con lo cual se muestra la utilidad de dicho proceso metodológico para dar solución a problemáticas de índole ambiental.

Con base en los análisis realizados y la matriz de Saaty se obtuvo que el factor de mayor importancia para las plantaciones forestales comerciales es el suelo, seguido de la temperatura, precipitación, altitud, pendiente, roca y por último textura.

Las zonas con mayor aptitud para Plantaciones Forestales Comerciales se localizan en la zona oeste, suroeste, este, suroeste y en menor porcentaje en la zona noroeste del territorio Estatal, lo cual indica que dichas zonas cubren todos los requerimientos ambientales de las especies seleccionadas para el aprovechamiento forestal que se propone.

Con los resultados obtenidos es posible darse cuenta de que el modelo es de gran utilidad para tomadores de decisiones como planificadores, geógrafos, ambientólogos, así como áreas afines.

Incentivar las plantaciones forestales comerciales ha sido una iniciativa del gobierno, por lo que contar con herramientas computarizadas para la generación de modelos óptimos con base en el análisis de diferentes factores (ambientales, sociales o económicos) es un gran campo de oportunidad para el aprovechamiento más óptimo de recursos.

De igual manera el presente estudio aporta información valiosa a nivel Estatal acerca de las superficies y municipios que cuentan con las condiciones ambientales para realizar este tipo de aprovechamiento forestal.

4.2 RECOMENDACIONES

Si bien en el presente estudio únicamente se retomaron variables ambientales, es importante mencionar que analizar factores de índole social y económica también es de gran importancia.

Un aspecto importante a considerar son aquellas zonas catalogadas como ANP ya que si bien dentro del estudio se tomó como restricción, muchas de éstas con base en su Programa de Manejo permiten realizar algún tipo de actividad para aprovechamiento sustentable del bosque, por lo que sería importante considerarlas como posibles zonas para PFC.

El presente estudio únicamente fue realizado a nivel estatal sin embargo es posible ampliarlo y hacerlo a una escala nacional, ya que se cuenta con la información necesaria de índole ambiental para hacer la modelación e identificar zonas con algún tipo de aptitud para Plantaciones Forestales Comerciales.

Entre algunas de las limitantes es la disponibilidad de información de los aspectos sociales y económicos, sin embargo con realizar una gestión de la misma se podrían obtener mayores resultados.

Uno de los aspectos de mayor importancia es la asignación de juicios de valor a cada uno de los factores analizados en la matriz de Saaty, ya que al desconocer la importancia de un factor con respecto al otro, podría sesgar los resultados del estudio.

En el presente trabajo se realizó un análisis de aptitud para plantaciones forestales comerciales de manera general, sin embargo se recomienda hacerlo de manera específica por tipo de especie.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Ceballos, S. A. P. y López, B. J. (2010), "Delimitación de áreas adecuadas para cultivos de alternativa: una Evaluación Multicriterio-SIG". Terra Latinoamérica, Vol. 28, Núm. 2, pp. 109-118. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. México.
- CONABIO (Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad). (2008), "La diversidad biológica forestal en México". Consultado el 20 de noviembre de 2014, http://www.conabio.gob.mx/institucion/cooperacion_internacional/doctos/dbf_mexico.html#_ftn1. INEGI, 2005, Serie III de Vegetación y Uso de Suelo.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). (2013), "Programa de Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales". Consultado el 23 de noviembre de 2014 http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/documentos/PROGRAMA_DE_DESARROLLO_DE_PFC_A_15_ANOS_DE_SU_CREACION.PDF
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (1998), "El estado actual de las plantaciones forestales en América Latina y el Caribe y examen de las actividades relacionadas con el mejoramiento genético". Servicio de desarrollo de los recursos Forestales, Dirección de Recursos Forestales, Departamento de Montes. Roma.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2002), "Capítulo 3. Plantaciones Forestales" en Evaluación de los recursos forestales mundiales 2000, Informe principal. Roma.
- Franco P.C.A. (2011), "Desarrollo de un modelo basado en Análisis Espacial Multicriterio para la determinación de unidades de ordenación. Caso Departamento del Casanare". Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía. Colombia.
- Garfias S.R, Castillo S.M. y Yañez L.A, 2012, Método Fuzzy para la identificación de áreas potenciales para la producción de leña aplicación de caso: Comuna de Empedrado, Región del Maule, Chile. Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza. Universidad de Chile. Casilla 9206, Santiago de Chile. Geographicalia Núm. 61, pp. 5-23.

GEM (Gobierno del Estado de México). (2006), "Programa de Desarrollo Forestal Sustentable del Estado de México 2005-2025". Secretaria de Desarrollo Agropecuario. Protectora de Bosques. México.

GIS (Sistema de Información Geográfica). (2014). Consultado el 1 de diciembre de 2014: http://elsistemadeinformaciongeografica.blogspot.mx/2013/11/sistema-de-informacion-geografica-sig_19.html , Blogspot.

Gómez D.M. y Barredo C.J. (2005), "Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la ordenación del territorio". 2ª Edición. Ed. Alfaomega. México.

Lamelas G.M.T. (2012), "Comparación de técnicas de Evaluación Multicriterio en sistemas de ayuda a la decisión espacial para la localización óptima de uso residencial". Centro Universitario de la defensa de Zaragoza. Academia General Militar. España.

Maguire D.J. (1991), "An overview and definition of GIS". Consultado el 25 de Noviembre de 2014. <http://lidecc.cs.uns.edu.ar/~nbb/ccm/downloads/Literatura/OVERVIEW%20AND%20DEFINITION%20OF%20GIS.pdf>

Medrano J.C. (2012), "Determinación de sitios potenciales para plantaciones forestales". V Reunión Nacional de Investigación Forestal (V RNIF) 14 al 16 de Noviembre. Cochabamba, Bolivia.

Musálem M.A. (2006), "Silvicultura de Plantaciones Forestales Comerciales, División de Ciencias Forestales". Departamento de ecología y silvicultura. Programa de Posgrado. Chapingo, México.

Pineda J.N.B. (2010). "Descripción, análisis y simulación de procesos forestales en el Estado de México mediante tecnología de la información geográfica". Tesis Doctoral. Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá. Madrid.

Pineda J.N. B, Bosque S.J, Gómez D.G.M, Antonio N.X y Balderas M.A. (2013), "Modelos de Simulación para localizar zonas adecuadas para repoblaciones forestales mediante técnicas de Evaluación Multicriterio y SIG. El caso del Estado de México" en Estudios Geográficos con Técnicas de Evaluación Multicriterio. Monroy G.J.F, Campos V.M.M y Pineda J.N.B. pag. 109-174. Ed. AM.

PROBOSQUE (Protectora de Bosques). (2014), "Programa de Incentivos de Plantaciones Forestales Comerciales (Reconversión Productiva)". Consultado el 22 de Noviembre de 2014.

[http://portal2.edomex.gob.mx/probosque/inicio/eventosyconvocatorias/PROBOSQUE
CON CYROPPFC13](http://portal2.edomex.gob.mx/probosque/inicio/eventosyconvocatorias/PROBOSQUE_CON_CYROPPFC13)

Valdez L. R.J, Olivas G. U.E., Aldrete A., González G.M. de J. y Vera C.G. (2007), "Áreas con aptitud para establecer plantaciones de maguey cenizo: definición Mediante Análisis Multicriterio y SIG". COLPOS y UACH. México. Fitotecnia Mexicana. Vol. 30 (4), pp. 411 – 419.

Vía G.M., Muñoz M.C. y Martín B. (2006), "SIG y Evaluación Multicriterio en la valoración de la vegetación y flora de las áreas no protegidas de la comunidad de Madrid". XII Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica. El acceso a la información espacial y nuevas tecnologías geográficas. 12 al 22 de Septiembre. Universidad de Granada. España.