



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO FORESTAL

MODELACIÓN ESPACIAL MULTIOBJETIVO PARA DEFINIR ÁREAS CON APTITUD PARA ESTABLECER PLANTACIONES FORESTALES

PEDRO HERNÁNDEZ ZARAGOZA

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2014

La presente tesis titulada: “**Modelación espacial multiobjetivo para definir áreas con aptitud para establecer plantaciones forestales**” realizada por el alumno: **Pedro Hernández Zaragoza**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

POSTGRADO EN CIENCIAS FORESTALES

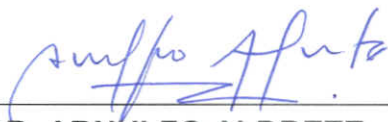
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



DR. J. RENÉ VALDEZ LAZALDE

ASESOR:



DR. ARNULFO ALDRETE

ASESOR:



DR. TOMÁS MARTÍNEZ TRINIDAD

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), que con su apoyo económico permitió que esta meta se realizara.

Al Postgrado Forestal del Colegio de Postgraduados por confiar en mí, dándome la oportunidad de formar parte de él y a todos los doctores que formaron parte de mi vida en dos años de investigación.

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y a la Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez” por haberme dado la oportunidad de prepararme académicamente.

Al Dr. José René Valdez Lazalde Profesor Consejero, por la buena disposición, experiencia y amistad para la realización del presente trabajo.

Al Dr. Arnulfo Aldrete, por sus oportunas sugerencias y apropiadas correcciones al presente trabajo.

Al Dr. Tomás Martínez Trinidad, por su apoyo incondicional desde el inicio de esta investigación.

Al M.C. Jorge Antonio Bustillos Herrera, por su amistad, participación y apoyo para la realización de la presente investigación.

A mis compañeros y amigos del Postgrado Forestal, así también a aquellos de otras especialidades, quienes me apoyaron en momentos de dificultad e hicieron agradable la vida de estudiante.

Por temor a omitir algún nombre, a todas aquellas personas que colaboraron en el proceso y contribuyeron de una u otra forma en la culminación de este trabajo, con el cual se cumple una de mis metas de mi vida profesional.

DEDICATORIA

A mis padres Pedro A. Hernández de la Cruz y Alicia Zaragoza Hernández; por el apoyo incondicional que siempre me han brindado, por sus palabras de motivación, entusiasmo, amor y cariño, les dedico especialmente este triunfo. *Gracias!*

A mis hermanos Alicia Eneida, Daniel y Omar, por ser mis mejores amigos les quiero agradecer por compartir conmigo tantos momentos felices y por brindarme su apoyo incondicional a quienes les deseo lo mejor y siempre estaré a su lado para apoyarlos en todo. *Gracias!*

A mi pueblo Tételes de Ávila Castillo Puebla, por darme los mejores recuerdos de mi vida y haberme enseñado a nunca olvidarme de mis raíces.

Es increíble como un ser tan pequeño puede convertirse en el motor que da vida, fuerza y sentido a toda una familia. A mi sobrino Alex Omar, pequeño tienes un tío que te quiere y que siempre estará contigo y a mis cuñadas Ivitalia Guzmán Mestiza y María Araceli Blanco Hernández, gracias por su apoyo.

A todos mis familiares, amigos y colegas a quienes tuvieron, tienen y tendrán mi más sincera e incondicional amistad, deseándoles siempre lo mejor de lo mejor en sus vidas.

ÍNDICE GENERAL

	Página
AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIA	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
RESUMEN	xiii
SUMMARY	xiv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. General.....	3
2.2. Particulares.....	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1. Aptitud de tierras.....	4
3.2. Plantaciones forestales a nivel mundial.....	4
3.3. Plantaciones forestales en México.....	5
3.4. Plantaciones forestales en el estado de Durango.....	6
3.5. Sistemas de información geográfica (SIG).....	8
3.6. Modelado cartográfico.....	9
3.7. Toma de decisiones.....	10
3.8. Toma de decisión multicriterio.....	13
3.9. Componentes de la evaluación multicriterio (EMC).....	14
3.10. Métodos de evaluación multicriterio.....	15
3.11. Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) y combinación lineal ponderada.....	17
3.12. Toma de decisión multiobjetivo.....	23
3.13. Evaluación multiobjetivo.....	24
3.14. Métodos usados en el análisis multiobjetivo.....	25

3.15. Antecedentes de estudios sobre aptitud de tierras.....	28
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
4.1. Área de estudio.....	31
4.2. Especies de interés en la región de estudio.....	31
4.3. Metodología.....	33
4.4. Criterios para identificar las áreas aptas a plantar.....	33
4.5. Proceso Analítico Jerarquizado (AHP) y combinación lineal ponderada.....	35
4.6. Estandarización de criterios.....	35
4.7. Obtención de los pesos (W).....	38
4.8. Implementación del (AHP) y combinación lineal ponderada (WLC) en IDRISI.....	38
4.9. Asignación de tierras multiobjetivo (MOLA).....	40
4.10. Identificación, clasificación y agrupación de objetivos (Sp.).....	40
4.11. Ponderación de los objetivos y escenarios de decisión.....	41
4.12. Resolución de conflictos e Implementación de (MOLA) en IDRISI...	42
V. RESULTADOS.....	45
VI. DISCUSIÓN.....	78
VII. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES.....	81
VIII. LITERATURA CITADA.....	82
IX. ANEXOS.....	91

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Planta producida y superficie reforestada en el estado de Durango, durante el periodo 1993-2009.....	7
2	Escala fundamental utilizada en comparación por pares (Saaty, 1980).....	20
3	Ejemplo de matriz de comparación por pares.....	21
4	Valores para índice aleatorio (IA) (Saaty, 1980).....	22
5	Técnicas con objetivos y criterios múltiples.....	25
6	Especies de interés para el establecimiento de plantaciones forestales en la región de estudio.....	32
7	Subcriterios y escalas.....	34
8	Clasificación de los valores para estandarizar el criterio clima para <i>Pinus durangensis</i> Ehren.....	36
9	Clasificación de los valores para estandarizar el criterio suelo para <i>Pinus durangensis</i> Ehren.....	36
10	Clasificación de los valores para estandarizar el criterio topografía para <i>Pinus durangensis</i> Ehren.....	36
11	Valores para estandarizar el subcriterio precipitación para el análisis de aptitud para <i>Pinus durangensis</i> Ehren.....	37
12	Valores para estandarizar el subcriterio precipitación.....	37
13	Juicios de valor (pesos o importancia) de los expertos en el establecimiento de plantaciones forestales.....	38
14	Clasificación y agrupamiento de especies forestales maderables y no maderables que compiten por el espacio óptimo.....	41

15	Resultados del escenario extensión del turno de producción para cada especie de <i>Pinus</i> con diferentes pesos, superficies y porcentajes.....	49
16	Resultados del escenario calidad de la madera para cada especie de <i>Pinus</i> con diferentes pesos, superficies y porcentajes.....	50
17	Resultados del escenario supervivencia de la especie para cada especie de <i>Pinus</i> con diferentes pesos, superficies y porcentajes.....	51
18	Resultados del escenario susceptibilidad a plagas y enfermedades para cada especie de <i>Pinus</i> con diferentes pesos, superficies y porcentajes.....	52
19	Resultados del escenario productividad de la especie para <i>Acacia farnesiana</i> y <i>Prosopis laevigata</i> con diferentes pesos, superficies y porcentajes.....	55
20	Resultados del escenario comercialización de la especie para <i>Acacia farnesiana</i> y <i>Prosopis laevigata</i> con diferentes pesos, superficies y porcentajes.....	56
21	Resultados del escenario productividad de la especie para <i>Agave durangensis</i> y <i>Agave lechuguilla</i> con diferentes pesos, superficies y porcentajes.....	59
22	Resultados del escenario comercialización de la especie para <i>Agave durangensis</i> y <i>Agave lechuguilla</i> con diferentes pesos, superficies y porcentajes.....	60
23	Resultados del escenario productividad de la especie para <i>Agave lechuguilla</i> y <i>Agave angustifolia</i> con diferentes pesos, superficies y porcentajes.....	63
24	Resultados del escenario comercialización de la especie para <i>Agave lechuguilla</i> y <i>Agave angustifolia</i> con diferentes pesos, superficies y porcentajes.....	64
25	Resultados del escenario productividad de la especie para <i>Lippia berlandieri</i> , <i>Euphorbia antisiphilitica</i> y <i>Dasyllirion</i> sp., con diferentes pesos, superficies y porcentajes.....	67
26	Resultados del escenario comercialización de la especie para <i>Lippia berlandieri</i> , <i>Euphorbia antisiphilitica</i> y <i>Dasyllirion</i> sp., con diferentes pesos, superficies y porcentajes.....	68

27	Resultados del escenario productividad de la especie para <i>Dasyilirion</i> sp., <i>Parthenium argentatum</i> , <i>Yucca</i> spp., y <i>Simmondsia chinensis</i> con diferentes pesos, superficies y porcentajes.....	71
28	Resultados del escenario comercialización de la especie para <i>Dasyilirion</i> sp., <i>Simmondsia chinensis</i> , <i>Parthenium argentatum</i> y <i>Yucca</i> spp., con diferentes pesos, superficies y porcentajes.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Proceso de la toma de decisiones.....	11
2	Estructura y análisis del problema en la toma de decisiones.....	11
3	Clasificación de técnicas de EMC según (Gómez y Barredo, 2005).....	16
4	Solución compromiso del proceso de evaluación multiobjetivo (Tomado de Gómez y Barredo, 2005).....	26
5	Modelo para la asignación multiobjetivo de tierras (Eastman <i>et al.</i> , 1995).....	27
6	Localización del área de estudio (Tomado de Olivas, 2006).....	31
7	Estructura jerárquica de los criterios y subcriterios considerados en el estudio (Olivas, 2006).....	35
8	Agregación de clases y pesos sobre las jerarquías según la secuencia del AHP (Olivas, 2006).....	39
9	Diagrama del procedimiento de asignación de tierras multiobjetivo (MOLA).....	44
10	Localización de áreas con aptitud para <i>Pinus</i> mediante evaluación espacial multicriterio.....	47
11	Localización de áreas en conflicto para las especies de <i>Pinus</i>	48
12	Distribución espacial multiobjetivo para cada especie de <i>Pinus</i> , con el escenario extensión del turno de producción.....	49
13	Distribución espacial multiobjetivo para cada especie de <i>Pinus</i> , con el escenario calidad de la madera.....	50
14	Distribución espacial multiobjetivo para cada especie de <i>Pinus</i> , con el escenario supervivencia de la especie.....	51
15	Distribución espacial multiobjetivo para cada especie de <i>Pinus</i> , con el escenario susceptibilidad a plagas y enfermedades.....	52

16	Localización de áreas con aptitud para <i>Acacia farnesiana</i> y <i>Prosopis laevigata</i> mediante evaluación espacial multicriterio.....	53
17	Localización de áreas en conflicto para <i>Acacia farnesiana</i> y <i>Prosopis laevigata</i>	54
18	Distribución espacial multiobjetivo para <i>Acacia farnesiana</i> y <i>Prosopis laevigata</i> , con el escenario productividad de la especie.....	55
19	Distribución espacial multiobjetivo para <i>Acacia farnesiana</i> y <i>Prosopis laevigata</i> , con el escenario comercialización de la especie.....	56
20	Localización de áreas con aptitud para <i>Agave durangensis</i> y <i>Agave lechuguilla</i> mediante evaluación espacial multicriterio.....	57
21	Localización de áreas en conflicto para <i>Agave durangensis</i> y <i>Agave lechuguilla</i>	58
22	Distribución espacial multiobjetivo para <i>Agave durangensis</i> y <i>Agave lechuguilla</i> , con el escenario productividad de la especie.....	59
23	Distribución espacial multiobjetivo para <i>Agave durangensis</i> y <i>Agave lechuguilla</i> , con el escenario comercialización de la especie.....	60
24	Localización de áreas con aptitud para <i>Agave lechuguilla</i> y <i>Agave angustifolia</i> mediante evaluación espacial multicriterio.....	61
25	Localización de áreas en conflicto para <i>Agave lechuguilla</i> y <i>Agave angustifolia</i>	62
26	Distribución espacial multiobjetivo para <i>Agave lechuguilla</i> y <i>Agave angustifolia</i> , con el escenario productividad de la especie.....	63
27	Distribución espacial multiobjetivo para <i>Agave lechuguilla</i> y <i>Agave angustifolia</i> , con el escenario comercialización de la especie.....	64
28	Localización de áreas con aptitud para <i>Lippia berlandieri</i> , <i>Euphorbia antisyphilitica</i> y <i>Dasyllirion</i> sp., mediante evaluación espacial multicriterio.....	65

29	Localización de áreas en conflicto para <i>Lippia berlandieri</i> , <i>Euphorbia antisyphilitica</i> y <i>Dasyilirion</i> sp.....	66
30	Distribución espacial multiobjetivo para <i>Lippia berlandieri</i> , <i>Euphorbia antisyphilitica</i> y <i>Dasyilirion</i> sp., con el escenario productividad de la especie.....	67
31	Distribución espacial multiobjetivo para <i>Lippia berlandieri</i> , <i>Euphorbia antisyphilitica</i> y <i>Dasyilirion</i> sp., con el escenario comercialización de la especie.....	68
32	Localización de áreas con aptitud para <i>Dasyilirion</i> sp., <i>Parthenium argentatum</i> , <i>Simmondsia chinensis</i> y <i>Yucca</i> spp., mediante evaluación espacial multicriterio.....	69
33	Localización de áreas en conflicto para <i>Dasyilirion</i> sp., <i>Parthenium argentatum</i> , <i>Simmondsia chinensis</i> y <i>Yucca</i> spp.....	70
34	Distribución espacial multiobjetivo para <i>Dasyilirion</i> sp., <i>Parthenium argentatum</i> , <i>Yucca</i> spp., y <i>Simmondsia chinensis</i> , con el escenario productividad de la especie.....	71
35	Distribución espacial multiobjetivo para <i>Dasyilirion</i> sp., <i>Simmondsia chinensis</i> , <i>Parthenium argentatum</i> y <i>Yucca</i> spp., con el escenario comercialización de la especie.....	72

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1	Descripción de las especies de interés (Tomado de Valdez <i>et al.</i> , 2003).....	91
2	Matrices de comparación pareada y valores estándar (rating) utilizados para estandarizar los subcriterios utilizados en el estudio.....	98
3	Valores utilizados para estandarizar los criterios y subcriterios asignados a cada especie.....	100
4	Matrices de traslape de especies forestales maderables y no maderables con los niveles de aptitud alta y media para cada especie que compiten por el espacio óptimo en hectáreas.....	120
5	Formato (Encuesta a expertos).....	122
6	Superficies (ha) con aptitud para las especies de interés por municipio, mediante AHP-WLC.....	129

MODELACIÓN ESPACIAL MULTIOBJETIVO PARA DEFINIR ÁREAS CON APTITUD PARA ESTABLECER PLANTACIONES FORESTALES

Pedro Hernández Zaragoza, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2014.

RESUMEN

La selección del sitio adecuado en el establecimiento de plantaciones forestales es crucial para maximizar la probabilidad de éxito. Mediante un análisis espacial multicriterio-multiobjetivo se optimizó la selección del sitio para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales con especies maderables y no maderables de interés en los municipios de Durango, Nombre de Dios, Súchil, Mapimí, Nazas y Rodeo del estado de Durango, México. Inicialmente, a través de evaluación multicriterio se identificaron áreas con aptitud para establecer plantaciones con cada una de las especies de interés. En una etapa posterior, mediante un proceso de análisis multiobjetivo, se optimizó la selección de los sitios de plantación para cada especie considerando varios escenarios de decisión; longitud del turno de producción, calidad de la madera, supervivencia, susceptibilidad a plagas y enfermedades, productividad de la especie y comercialización. Los resultados indican que *Pinus engelmannii*, *P. durangensis* y *Acacia farnesiana* presentan la mayor cantidad de áreas óptimas para establecer plantaciones forestales maderables. *Agave durangensis*, *A. lechuguilla*, *Lippia berlandieri* y *Dasyllirion* sp., son las especies no maderables con la mayor adecuación óptima para establecer plantaciones en el área de estudio. La combinación de técnicas de evaluación multicriterio (AHP, WLC) y multiobjetivo (MOLA) con los sistemas de información geográfica permitieron identificar y resolver conflictos de aptitud de la tierra entre las especies de interés.

Palabras clave: Aptitud de tierras, AHP, evaluación multicriterio, análisis multiobjetivo.

SPATIAL MODELLING MULTIOBJECTIVE FOR DEFINING SUITABILITY AREAS TO ESTABLISH FOREST PLANTATIONS

Pedro Hernández Zaragoza, M.Sc.
Colegio de Postgraduados, 2014.

SUMMARY

The selection of a suitable site for the establishment of forest plantations is crucial to maximize their probability of success. Through a multicriteria-multiobjective spatial analysis, site selection for the establishment of forest plantations with commercial timber and non-timber species of interest in the municipalities of Durango, Nombre de Dios, Suchil, Mapimi, Nazas and Rodeo of the state of Durango, Mexico was optimized. Initially, through a multicriteria evaluation process suitable areas to establish plantations were identified for each one of the species of interest. At a later stage, through a process of multiobjective analysis, selection of sites for planting each species was optimized considering several scenarios of decision: rotation period length, quality of wood, survival, and susceptibility to pests and diseases, productivity of the species and marketing. The results indicate that *Pinus engelmannii*, *P. durangensis* and *Acacia farnesiana* exhibit the greatest amount of area for the optimal establishment of forest timber plantations. *Agave durangensis*, *A. lechuguilla*, *Lippia berlandieri* and *Dasyilirion* sp. are the non-timber species with the most optimal matching to establish plantations in the study area. The combination of multicriteria evaluation techniques (AHP, WLC) and multiobjective (MOLA) with geographic information systems allowed to identify and resolve conflicts of land suitability between the species of interest.

Key words: Land suitability, AHP, multi-criteria evaluation, multiobjective analysis.

I. INTRODUCCIÓN

La demanda creciente de productos forestales maderables y no maderables a nivel nacional e internacional exige cada vez mayor cantidad y calidad de estos productos. Este requerimiento sugiere la necesidad de complementar el esquema actual de aprovechamiento de bosques naturales con plantaciones forestales comerciales manejadas con criterios y objetivos sostenibles. Lo anterior, considerando que en 2010 las plantaciones forestales representaron sólo el siete por ciento de la superficie forestal mundial, que es de aproximadamente 264 millones de hectáreas (FAO, 2010).

Debido a su ubicación geográfica, diversidad de climas y de suelos, así como de sus condiciones fisiográficas y ecológicas, México posee un gran potencial para el establecimiento de plantaciones forestales en diversos ecosistemas (tropicales, templados y semidesérticos). Actualmente la superficie de plantaciones forestales comerciales es de 224 mil ha, de las cuales las especies maderables cubren un 66.8%, mientras que las especies no maderables ocupan 33.2% (CONAFOR, 2013).

La selección del sitio adecuado para plantar es crucial si se desea maximizar el éxito en el establecimiento de plantaciones forestales (González, 2006). Por tanto, se debe realizar un análisis de aptitud de las tierras que considere los requerimientos ecológicos de las especies a plantar, y que dé garantías de la plena utilización del potencial productivo de los suelos y las condiciones climáticas existentes para el crecimiento óptimo de las especies elegidas. Existen varios sistemas de evaluación para este propósito, por lo que la elección del método depende de los objetivos específicos (Santé y Crecente, 2005).

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), combinados con técnicas de evaluación espacial multicriterio y multiobjetivo proveen un conjunto de herramientas útiles para el análisis y mapeo de la aptitud de tierras para propósitos diversos (Malczewski, 2004): estas herramientas permiten incorporar y analizar información del ambiente y la experiencia de personas en el proceso de evaluación. En México, particularmente en el

sector forestal, poco se han utilizado estas técnicas incorporadas en un SIG, sin embargo, es importante la aplicación de éstas en el proceso de la toma de decisiones puesto que consideran el contexto espacial y también la opinión de los expertos para obtener respuesta a problemas complejos (Gómez y Barredo, 2005). Al implementar estas técnicas como parte fundamental del manejo de los bosques del país se facilitarán las actividades de la planificación y la toma de decisiones.

El propósito central de este trabajo fue utilizar técnicas de evaluación espacial multiobjetivo, enmarcadas en un sistema de información geográfica, como apoyo a la toma de decisiones en el ámbito forestal para localizar áreas con la mejor aptitud para establecer plantaciones forestales comerciales con especies de interés que compiten por el espacio más adecuado en algunos municipios del estado de Durango.

II. OBJETIVOS

2.1. General

- Mapear áreas con la mejor aptitud para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales con especies de interés mediante evaluación espacial multiobjetivo en los municipios de Durango, Nombre de Dios, Súchil, Mapimí, Nazas y Rodeo del estado de Durango.

2.2. Particulares

- Analizar mediante técnicas de evaluación espacial multicriterio y multiobjetivo, el uso competitivo de aptitud de la tierra para establecer plantaciones forestales con diferentes especies de interés.
- Identificar áreas en conflicto entre las especies de interés y generar diferentes escenarios de decisión para establecer plantaciones forestales.
- Modelar espacialmente la distribución óptima de la aptitud de la tierra para el uso más adecuado considerando las especies de interés en el área de estudio.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Aptitud de tierras

Prakash (2003) resume el concepto de aptitud de tierras como “la habilidad de un determinado tipo de suelo para soportar un uso particular”, siendo el principal objetivo de la evaluación de la aptitud la predicción de la capacidad inherente de una unidad de suelo para soportar un uso específico por un largo periodo de tiempo sin que sufra deterioro y para minimizar los costos socioeconómicos y ambientales; tal evaluación es un paso importante para detectar los límites ambientales dentro de la planeación sustentable de uso del suelo. La derivación de una medida de aptitud física del suelo es un requisito primario para la planeación y desarrollo de la utilización del mismo, dado que permite guiar las decisiones sobre la utilización de éste para un uso óptimo de los recursos (Bandyopadhyay *et al.*, 2009).

En la planificación del uso del suelo, la elección del método de evaluación dependerá, en gran medida, de los usos que se estén considerando en la planificación (Santé y Crecente, 2005; Prakash, 2003). En estudios extensos y/o complejos que abarcan muchas unidades de tierra, tienen relevancia la realización de evaluación de aptitud de tierras con la ayuda de sistemas de información geográfica, lo que tiene ventajas relevantes debido a que los datos para definir el grado de aptitud se encontrarán en el sistema. Posteriormente, cuando se produzcan cambios en uno o más de los valores limitantes, se podrán obtener de manera rápida nuevos mapas de aptitud (FAO, 1994).

3.2. Plantaciones forestales a nivel mundial

Una plantación forestal es definida como “El establecimiento, cultivo y manejo de vegetación forestal en terrenos temporalmente o preferentemente forestales, cuyo objetivo principal es la producción de materias primas forestales destinadas a su industrialización y/o comercialización” (LGDFS, 2003).

De acuerdo con la FAO (2010), actualmente la superficie cubierta con plantaciones forestales es del orden de 264 millones de hectáreas, equivalente al 7% de la superficie forestal mundial, del cual 30% se concentra en Asia. Adicionalmente se estima que tres cuartas partes de los bosques plantados están compuestos de especies nativas, y el resto con especies introducidas. En el contexto mundial, la mitad de ellas se establecieron con fines industriales, un cuarto está destinado a fines no comerciales y el resto a usos no especificados. Las especies de rápido crecimiento que más se han empleado para plantaciones comerciales son: *Pinus radiata*, *P. caribaea*, *P. taeda*, *P. patula*, *P. elliottii*, *P. palustris*, *P. oocarpa*, *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla*, y *E. globulus* en un 70%, mientras que *Tectona grandis* cubre el 15%, otras latifoliadas como *Gmelina arborea*, *Acacia mamsii*, *A. mangium* y *Albizia falcata* el 12% y otras coníferas el 3% (Sosa y Fierros, 2001).

Las plantaciones forestales tienen potencial para satisfacer parcialmente la demanda de madera y fibras comúnmente extraídas de los bosques naturales. Aunque en el año 2010 representaban únicamente el 7% de la cubierta forestal mundial, en ese año se estimó que las plantaciones forestales abastecían cerca del 25% del mercado global de productos maderables del mundo. Se prevé que esta cifra aumentará al 50% en el año 2040 (Kanninen, 2010). En algunos países la producción de plantaciones forestales ya contribuye con la mayor parte del suministro de madera para fines industriales (FAO, 2000).

3.3. Plantaciones forestales en México

México es un país que tiene un excelente potencial biológico, físico y climático para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales de especies de coníferas y latifoliadas, ya sean nativas o introducidas (Fierros *et al.*, 1999). Actualmente la superficie de plantaciones forestales comerciales es de 224 mil ha, de las cuales las especies maderables cubren un 66.8%, mientras que las especies no maderables ocupan 33.2% (CONAFOR, 2013). La materia prima obtenida de las plantaciones

forestales comerciales se utiliza en un 67% para celulosa y 33% para madera de aserrío.

En el país uno de los primeros intentos para desarrollar plantaciones forestales se realizó en el año 1932 por la compañía cerillera “La imperial”, quien realizó plantaciones de álamos (*Populus* spp.), en el municipio de Chalco, Estado de México (Bonilla y Carrillo, 1984). Posteriormente, en la década de 1950 la empresa “Fibracel” plantó *Eucalyptus* spp., *Gmelina* spp., y otras latifoliadas, en Tamuín, San Luis Potosí, para abastecer de materia prima a la industria de tableros y fibra y para 1969 se habían plantado 5,000 ha (Fierros, 1978; 1983).

Otra experiencia relevante se realizó de 1974 a 1983, cuando se plantaron alrededor de 10,000 ha en la cuenca baja del Rio Papaloapan en Oaxaca, utilizando principalmente *Pinus caribaea* var. *hondurensis* y *P. oocarpa* (Escárpita, 1975; 1984). Incluso algunos rodales de estas plantaciones están actualmente bajo aprovechamiento. A principios de la década de los 80's, el Organismo Público Descentralizado Forestal “Productos Forestales de la Tarahumara”, plantó en el estado de Chihuahua 6,000 ha con diferentes especies del género *Pinus*, a la fecha se carece de resultados documentados (López-Lechuga, 2012).

De acuerdo con la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), de 1997 a 2006 se plantaron 71 mil hectáreas y para el año 2009 se registraron cerca de 110 mil hectáreas con fines comerciales, principalmente con especies del género *Eucalyptus* (*Eucalyptus grandis* W. Hill y *E. urophylla* S. T. Blake), cedro rojo (*Cedrela odorata*), melina (*Gmelina arborea* Roxb.), pino (*Pinus* sp.), caoba (*Swietenia macrophylla*), teca (*Tectona grandis* L. F.), entre otras especies. La mayor parte de la superficie plantada (80%) se ubica en los estados de Tabasco, Veracruz, Campeche y Oaxaca (CONAFOR-CP, 2011).

3.4. Plantaciones forestales en el estado de Durango

En el estado de Durango se han realizado varios trabajos sobre plantaciones forestales, aunque existe poca información documentada sobre las diferentes experiencias. La mayor parte de los registros se encuentran en posesión de las Unidades de Desarrollo Forestal o prestadores de servicios técnicos forestales, pero a la fecha no se tienen publicados los resultados. A pesar de esto, se tienen registros de que entre 1960 a 1976 se reforestaron 326 ha y de 1977 a 1982 se plantaron 55 ha, lo cual ubicó al Estado en el lugar 28 a nivel nacional en actividades de reforestación (SARH 1986; citado por Vázquez, 1990). Posteriormente, de 1983 a 1988 se reforestaron 461 ha. Las especies más utilizadas han sido, en orden de importancia: *Pinus durangensis*, *P. engelmannii*, *P. arizonica*, *P. cembroides*, *P. chihuahuana* y *P. cooperi* (Vázquez, 1990).

Durante el periodo 1993-2009, se incrementó de manera considerable la superficie reforestada en áreas con insuficiencia de regeneración natural, bajo manejo forestal y degradadas, debido principalmente a la ocurrencia de incendios forestales, erosión y talas clandestinas. De tal manera que, durante dicho periodo se plantaron 62,462 ha, a razón de 3,674 ha por año en promedio (Cuadro 1) (SEMARNAT, 2011a; SEMARNAT, 2011b).

Cuadro 1. Planta producida y superficie reforestada en el estado de Durango, durante el periodo 1993-2009.

Año	Plantas producidas (miles)	Superficie reforestada (ha)	Año	Plantas producidas (miles)	Superficie reforestada (ha)
1993	1,531	648	2002	8,961	4,500
1994	1,820	1,183	2003	4,150	3,808
1995	8,900	941	2004	3,447	4,442
1996	11,445	1,863	2005	4,742	3,773
1997	10,470	2,588	2006	276	257
1998	12,230	2,650	2007	6,454	6,639
1999	11,995	5,930	2008	6,841	6,316
2000	10,205	4,258	2009	7,727	7,033
2001	10,105	5,633			
Promedio				7,135	3,674
Total				121,299	62,462

Fuente: (SEMARNAT, 2011a; SEMARNAT, 2011b).

En los dos últimos años el gobierno del estado de Durango, a través de la Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente, la CONAFOR, la empresa Maderas y Sintéticos S.A. (MASISA), el INIFAP, así como productores y prestadores de servicios técnicos profesionales, iniciaron de forma coordinada el establecimiento de 300 ha de plantaciones con fines comerciales utilizando *P. engelmannii* (Muñoz *et al.*, 2011). En 2012 se plantaron 1,500 ha y paulatinamente se ha venido incrementando la superficie. Cabe indicar que en el estado de Durango existen cerca de 51,000 ha con potencial para establecer plantaciones forestales comerciales, las cuales están libres de vegetación, por lo tanto, no limita su uso para esta actividad (Martínez y Prieto, 2011).

3.5. Sistemas de información geográfica (SIG)

Aunque los SIG tienen poco más de 50 años de existencia, no fue sino hasta alrededor de la década de los 80's que estos comenzaron a incorporar herramientas para dar soporte a la toma de decisiones. Originalmente los SIG fueron utilizados en áreas como la planeación o el manejo de recursos naturales por su capacidad de almacenar y visualizar datos espaciales, pero sin hacer énfasis en análisis formales de simulación, ni el diseño de herramientas para la toma de decisión (Maguire *et al.*, 1991). Con los avances tecnológicos y el creciente interés por parte de las organizaciones en manejar información de índole espacial orientada a mejorar la toma de decisiones, los SIG ganaron aceptación por su capacidad de asistir en la preparación de datos espacialmente distribuidos, realizar análisis, así como visualizar y representar la información geográfica.

Un SIG es un conjunto de herramientas para coleccionar, almacenar, recuperar, transformar y desplegar datos espaciales del mundo real para un particular conjunto de propósitos (Burrough y McDonnell, 1998). Se entiende también como una secuencia de equipos, programas y procedimientos desarrollados para capturar, manejar, analizar, modelar y desplegar datos espacialmente referenciados con el objetivo de resolver problemas complejos de planeación y manejo (Bárcenas, 2002). Actualmente se considera que los SIG tienen tres componentes fundamentales: el hardware, el conjunto

de módulos de aplicación (software) y un adecuado contexto organizacional, incluyendo personal capacitado. Estos tres componentes deben estar balanceados, si se quiere que el sistema funcione adecuadamente (Burrough y McDonnell, 1998).

Las funciones de los SIG se pueden agrupar en cuatro conjuntos fundamentales: a) entrada de datos, b) gestión de datos, c) transformación y análisis de datos y d) salida de datos e información. Con estos cuatro conjuntos de funciones se pueden representar todas las operaciones posibles de un SIG (Gómez y Barredo, 2005).

Los SIG son una potente herramienta de ayuda a la planificación cuando se dispone de una base de datos suficientemente amplia para los fines que se plantean. En este sentido, ciertas técnicas que eran ajenas a los SIG empiezan a ser integradas en estos sistemas con el fin de buscar soluciones a determinadas cuestiones de índole espacial o territorial, entre tales técnicas están las de evaluación espacial multicriterio y multiobjetivo (Gómez y Barredo, 2005).

3.6. Modelado cartográfico

Es posible entender la estructuración de datos espaciales en un SIG como una representación abstracta y estratificada del mundo real donde cada estrato o capa, constituye un tema específico representado por ciertos objetos espaciales que lo definen (puntos, líneas, áreas o bien celdas). Mediante el intento para representar y concebir la estructura de los SIG surge el concepto de modelo, por medio del cual se representan datos espaciales del mundo real mediante capas de información (Gómez y Barredo, 2005). Este modelo de la realidad (construido con capas), es manipulado para un fin específico mediante operaciones fundamentales como la adicción, sustracción, división, entre otras. A ello se le denomina modelado cartográfico, aunque generalmente incluye otras operaciones de mayor complejidad.

El modelado cartográfico comprende el análisis de datos espaciales con SIG mediante operaciones matemáticas o booleanas, con frecuencia usadas para identificar áreas

con características únicas de combinación en mapas con entidades georreferenciadas (por ejemplo la aptitud de la tierra para plantaciones forestales comerciales) (Johnston, 1998). Las operaciones en el SIG o en el modelo se hacen por separado o estrechamente asociadas con un programa de cómputo que las vincule de modo que los datos pasen del modelo al SIG o viceversa (Johnston, 1998).

De acuerdo con Eastman (2012), un modelo cartográfico es una representación gráfica de los datos y procedimientos analíticos que se usan en un estudio; su propósito es auxiliar en la organización del análisis y estructurar los procedimientos necesarios, así como identificar los datos necesarios para el estudio; y sirve como fuente de consulta y de referencia para el análisis.

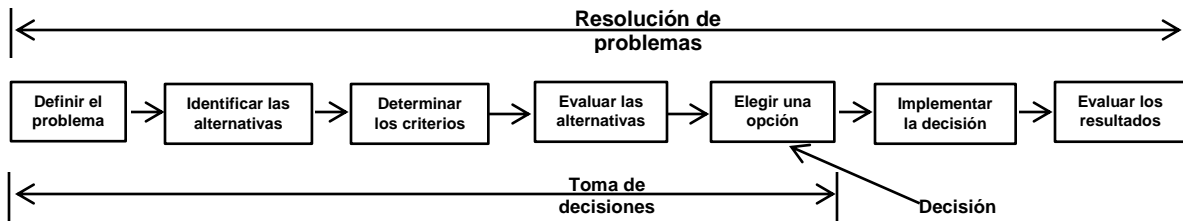
3.7. Toma de decisiones

La toma de decisiones consiste en que alguien denominado decisor (o grupo de decisores) debe determinar, conjuntamente con el apoyo de un analista de sistemas, la alternativa que cumpla en mayor medida con los objetivos, es decir, su mejor decisión (Elineema, 2002).

Según Trewatha y Newport (1979), la toma de decisiones implica la selección de un curso de acción de entre dos o más alternativas posibles, para así llegar a la solución de un problema dado. Para estos autores, las etapas del proceso de toma de decisiones incluyen:

1. Definir el problema de acuerdo a los objetivos perseguidos.
2. Identificar soluciones alternativas.
3. Analizar las posibles consecuencias de cada alternativa, y
4. Seleccionar una alternativa para su implementación.

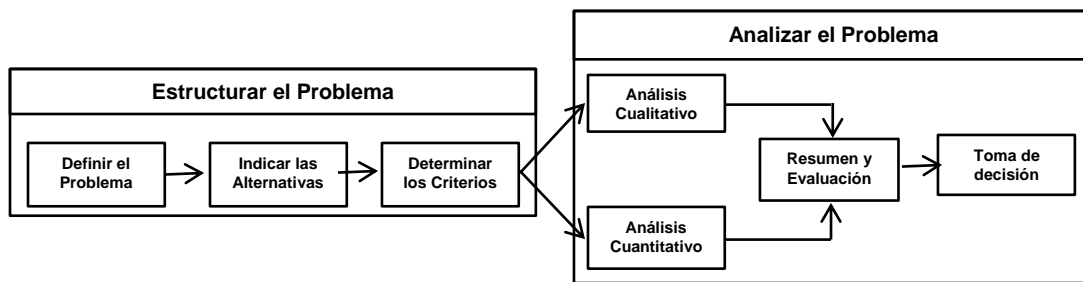
De acuerdo con Toskano (2005), el proceso de la toma de decisiones puede representarse con el siguiente modelo (Figura 1).



Fuente: a partir de Toskano (2005).

Figura 1. Proceso de la toma de decisiones.

Las tres primeras fases del proceso decisor constituyen la “estructuración del problema” y las dos últimas fases son el “análisis del problema”, las cuales se representan en la Figura 2.



Fuente: a partir de Toskano (2005).

Figura 2. Estructura y análisis del problema en la toma de decisiones.

Según Taha (1995), cuando los modelos se formulan y resuelven disponiendo de información perfecta, se dice que la toma de decisiones se hace bajo condiciones de certeza; la disponibilidad de información imperfecta o parcial de un problema lleva a dos nuevas categorías de casos en la toma de decisiones:

1. Decisiones con riesgo, y
2. Decisiones con incertidumbre.

Toma de decisión bajo riesgo.

En la categoría de decisiones con riesgo, el conocimiento de un fenómeno o presencia de algo se expresa como una función de densidad de probabilidad que presenta datos, mientras que en la segunda categoría de decisiones, con incertidumbre, no puede

disponer de ninguna función de densidad de probabilidad (Thierauf, 1978). Esto es, desde el punto de vista de disponibilidad de información, la certeza y la incertidumbre representan los casos extremos, mientras que el riesgo es la situación intermedia entre ellos. Las decisiones bajo riesgo implican situaciones en las que las probabilidades que se asocian con el resultado potencial son conocidas por los distintos estados de la naturaleza; es decir, no se dispone de información perfecta, pero se puede estimar la probabilidad de ocurrencia (Markland y Sweigart, 1987).

Toma de decisión bajo incertidumbre.

Como se mencionó anteriormente, la decisión bajo incertidumbre se refiere a que las probabilidades de ocurrencia para los distintos estados de la naturaleza se desconocen (Thierauf, 1978). En una situación de decisión, existe dos tipos básicos de incertidumbre: la asociada con información limitada, acerca de un factor o un resultado; y la incertidumbre asociada a información imprecisa; es decir, que los problemas de decisión bajo incertidumbre se puede dividir en probabilísticos (estocásticos) y de decisión fuzzy o difusos (Malczewski, 1999).

El desconocimiento del valor que puede tomar el factor aleatorio causante de riesgo en un futuro inmediato da lugar a lo que se conoce como incertidumbre, entendida en términos de lo que puede ocurrir con el factor causante de riesgo y sus consecuencias sobre lo que se persigue (Volke, 1988). Las decisiones bajo incertidumbre implican situaciones en las que las probabilidades que se asocian con el resultado potencial no son conocidas o no pueden estimarse (Markland y Sweigart, 1987).

De acuerdo con Malczewski (1999), en el análisis de decisión la estrategia básica consiste en dividir el problema de decisión en partes pequeñas e incluso inentendibles; se analiza cada parte y se integran (las partes) de una manera lógica para producir una solución coherente. Según este autor, mucho del enfoque en el desarrollo del análisis de decisión se hizo en la investigación operativa.

3.8. Toma de decisión multicriterio

La toma de decisiones multicriterio se entiende como el “conjunto de conceptos, aproximaciones, modelos y métodos para ayudar a los tomadores de decisiones a la descripción, evaluación, ordenación, jerarquización y selección de objetos en base a una evaluación que se expresa por puntuaciones, valores o intensidades de preferencias de acuerdo a varios criterios” (Gómez y Barredo, 2005). Dado que no todos los criterios son igualmente importantes y que cada uno de ellos contribuye de manera diferenciada hacia la conveniencia o decisión en diversos grados, deben ser bien definidos, agrupados y organizados en varias jerarquías (Saaty, 1980).

La toma de decisión multicriterio espacial (MCDM) es un proceso donde los datos geográficos se combinan y se transforman en una decisión. Este proceso implica la entrada de datos, la inclusión de las preferencias del tomador de decisiones y la manipulación de la información usando reglas especificadas de la decisión (Prakash, 2003; Malczewski, 2004). Para ello se requiere una articulación de los objetivos del tomador de decisiones y una identificación de los atributos útiles para indicar el grado con que estos objetivos se logran; además, éstos forman una estructura jerárquica de criterios de evaluación para un problema particular de toma de decisiones (Malczewski, 1999). Según este autor, un problema de decisión multicriterio espacial es la diferencia entre el estado deseado en un sistema geográfico y un estado existente en el mundo real; en términos generales involucra los siguientes componentes:

- i. Meta o conjunto de metas de la toma de decisiones (intereses de grupos) y esfuerzo para lograrla;
- ii. El tomador de decisiones o grupo involucrado en el proceso de la toma de decisiones con las preferencias respecto a cada criterio en evaluación;
- iii. Conjunto de criterios de evaluación (objetivos y/o atributos) con base en los cuales los tomadores de decisiones evalúan alternativas o cursos de acción;

- iv. El conjunto de alternativas de decisión, que son las decisiones o las variables de acción;
- v. Conjunto de variables no controlables o estados naturales (decisión ambiental);
- vi. El conjunto de resultados o consecuencias asociados con cada alternativa o par de atributos.

3.9. Componentes de la evaluación multicriterio (EMC)

Existen varios componentes dentro de la EMC, siendo los principales: objetivos, criterios (factores y limitantes), regla de decisión, funciones y evaluación multicriterio.

Estos componentes según Gómez y Barredo (2005) son:

- a) **Los objetivos:** En el mundo de la EMC, un objetivo se puede entender como una función a desarrollar; aquí el objetivo indica la estructuración de la regla de decisión o el tipo de regla de decisión a utilizar. Los objetivos pueden ser múltiples en determinados problemas de planificación, decisión o localización/asignación de actividades, con lo cual nos podemos plantear una evaluación multiobjetivo. En evaluaciones de este tipo, los objetivos pueden ser complementarios o conflictivos.
- b) **Los criterios:** Son aquellos que dan la base para la toma de una decisión, la cual puede ser medida y evaluada. Pueden ser de dos tipos: factores y limitantes.
 - Factor. Es un criterio que realza o detracta la capacidad de asentamiento de una alternativa específica para la actividad en consideración, éste por lo tanto debe ser medido en una escala continua.
 - Limitante. Es un criterio que restringe la disponibilidad de algunas alternativas según la actividad evaluada; con este tipo de criterio se

excluyen varias categorías de la capa analizada para la evaluación; es decir, se genera una capa binaria (0 o 1) en la cual un código representa las alternativas susceptibles de ser elegidas para la actividad, y otro la no disponibilidad para la actividad.

c) **La regla de decisión:** Es el procedimiento a través del cual se obtiene una evaluación particular, logrando también comparar, a través de ella, distintas evaluaciones con el fin de variar alguno de sus aspectos en el caso de ser necesario. Esto es posible ya que una regla de decisión está estructurada a partir de una serie de procedimientos (aritméticos-estadísticos) que permiten integrar los criterios establecidos en un índice de simple composición; asimismo, puede proporcionar la manera de comparar las alternativas utilizando dicho índice.

d) **Las funciones:** Existen dos tipos de procedimientos: las funciones de selección y las heurísticas. En las funciones de selección se intenta clasificar las alternativas en función de una característica medible, mientras que la selección heurística persigue obtener una selección de solo algunas alternativas del conjunto global de ellas.

Evaluación multicriterio: Es un conjunto de técnicas que se orientan a asistir en los procesos de toma de decisiones. Su fin básico es investigar un número finito de alternativas de decisión y elegir la mejor bajo la luz de múltiples criterios y objetivos en conflicto, lo cual hace posible generar soluciones compromiso y jerarquizar las alternativas de acuerdo a su grado de atracción.

3.10. Métodos de evaluación multicriterio

Existen varias técnicas de evaluación multicriterio, las cuales de acuerdo con (Jankowski, 1995; Barredo, 1996) se diferencian en los procedimientos aritméticos-estadísticos que realizan sobre las matrices en evaluación y prioridades. En la Figura 3 se presentan las técnicas de EMC en que se pueden clasificar.

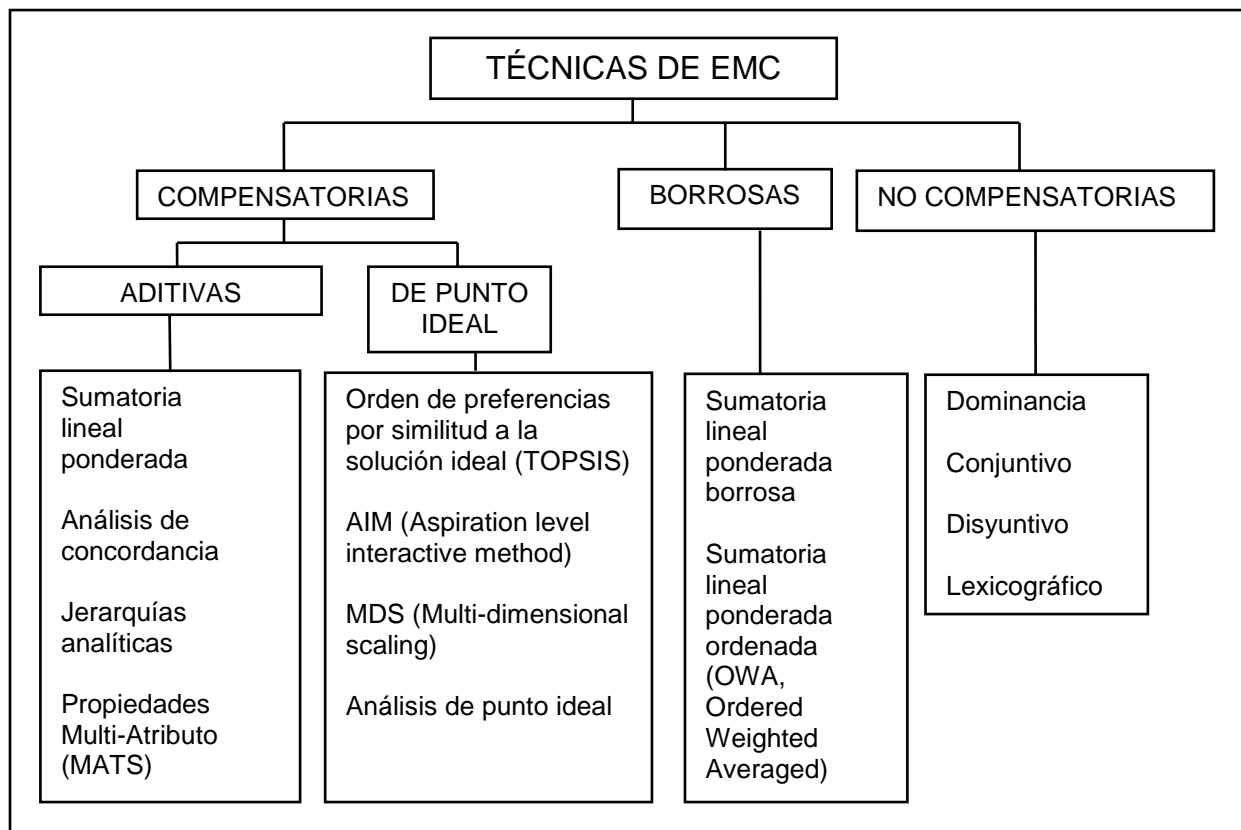


Figura 3. Clasificación de técnicas de EMC según (Gómez y Barredo, 2005).

En las técnicas aditivas compensatorias, el valor obtenido por cada alternativa (unidad espacial) es el producto del peso del criterio y las puntuaciones de los criterios, siendo la alternativa que obtenga el valor más alto la más adecuada para la actividad que se evalúa (Barredo, 1996). Por otra parte, las técnicas compensatorias basadas en la aproximación al punto ideal, el centro decisor ubica en un espacio n -dimensional una alternativa que se considera la ideal, especificando sus coordenadas como el valor más alto en cada uno de los criterios establecidos. Así, es posible calcular la distancia entre cada alternativa siendo las más cercanas al punto ideal, las más aptas para la actividad evaluada (Barredo, 1996; Malckzewski, 1999).

La lógica borrosa es una técnica cartográfica que ayuda a la representación más exacta de la información imprecisa, incompleta, e incierta, implicada en la opinión de los expertos a través de varios niveles de la toma de decisiones (Prakash, 2003). Esta técnica se basa en la existencia de diferentes grados de pertenencia entre lo falso y lo

verdadero, tales como lo moderado, bajo, alto, entre otros; en lugar de expresarse como “sí” o “no” como suele utilizarse en la lógica convencional. Mediante la lógica borrosa, un problema puede ser representado en términos de conjuntos borrosos los cuales pueden derivarse de procedimientos cuantitativos o cualitativos. Por otro lado, las técnicas no compensatorias asumen una estrategia reductora del conjunto de alternativas globales en base a la evaluación de al menos un criterio, pudiendo llevarse a cabo sin un tratamiento previo de las puntuaciones de los criterios inicialmente establecidos.

Las técnicas de EMC tienen características, propiedades y requerimientos que las definen de manera individual. De la misma manera, el tipo de evaluación, el tipo de datos a considerar, los objetivos, y la opinión del tomador de decisiones, inciden en la determinación de las técnicas a usar. Al realizar el análisis multicriterio en un entorno SIG este toma la denominación de análisis multicriterio espacial, el cual es un proceso donde los datos geográficos se combinan y se transforman en una decisión (Malczewski, 2004).

3.11. Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) y combinación lineal ponderada

Una de las técnicas de evaluación multicriterio es el proceso de la 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 (Eastman, 2012). 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. En la WLC es un requisito que los pesos de los distintos criterios sumen uno. En la técnica del proceso de análisis jerarquizado (AHP), estos pesos pueden derivarse a través del vector principal de una matriz cuadrada recíproca de las comparaciones de pares de los criterios (Saaty, 1980), por lo tanto en el proceso del AHP se integra al análisis de WLC, para tomar decisiones (Gómez y Barredo, 2005).

El proceso de análisis jerarquizado (AHP) es una metodología de análisis multicriterio desarrollada por Saaty (1980) y consiste en formalizar la comprensión intuitiva de problemas complejos mediante la construcción de un modelo jerárquico que básicamente contiene tres niveles: meta u objetivo, criterios y alternativas.

El AHP está basado en tres principios básicos (Malczewski, 1999):

1. Descomposición: Es necesario que el problema de decisión se desglose en jerarquías que muestren los elementos esenciales del problema.
2. Comparación por pares: Crear las matrices de comparación para todos los elementos o criterios bajo evaluación para derivar los pesos o las preferencias.
3. Composición jerárquica: Agregar estas comparaciones sobre la jerarquía para llegar a la evaluación.

Y cuatro axiomas que constituyen la teoría:

Reciprocidad. El tomador de decisiones deberá estar dispuesto a realizar comparaciones y afirmar sus preferencias. Las intensidades de estas preferencias deben satisfacer la condición recíproca. Es decir, si la alternativa A es x veces más preferida que la alternativa B, entonces B es $1/x$ veces más preferida que A.

Homogeneidad. Bajo el contexto metodológico, la homogeneidad apunta a que los elementos a comparar deben ser de un mismo orden de magnitud. Esto significa que los elementos de un nivel de jerarquía determinado deben compararse preferiblemente dentro de la escala 1 a 9 del AHP.

Independencia. Se asume que los criterios son independientes de las propiedades con que cuentan las alternativas.

Expectativas. La jerarquía es un modelo que representa todos los criterios y alternativas. Este axioma está relacionado con la necesidad de agregar o eliminar alternativas a modo de representar fielmente la percepción de los actores involucrados en el proceso de decisión.

De acuerdo con (Malczewski, 1999; Elineema 2002), el procedimiento AHP involucra tres pasos importantes:

i. Desarrollo de la jerarquía AHP

El primer paso es descomponer el problema de decisión en una jerarquía compuesta de los elementos más importantes del problema de decisión, el nivel más alto es la meta de la decisión. La jerarquía desciende entonces de lo general a lo más específico hasta alcanzar el nivel de atributos. Este es el nivel contra el que se evalúan las alternativas de decisión, el nivel más bajo de la jerarquía. Cada nivel debe unirse al próximo nivel superior. Típicamente, la estructura jerárquica consiste en cuatro niveles: la meta, objetivos, atributos y alternativas. Las alternativas son representadas en una base de datos SIG, donde cada capa contiene los valores de los atributos asignados a las alternativas y cada alternativa se relaciona con los atributos del nivel superior.

Aunque la estructura jerárquica consiste típicamente en una meta, objetivos, atributos, y alternativas, una variedad de elementos relevantes para una decisión en particular y una combinación diferente de estos elementos pueden usarse para representar un problema de decisión.

ii. Comparación pareada (pairwise) de los elementos de decisión

Desarrollo de la matriz de comparación.

Una vez construido el modelo jerárquico con base en lo anterior expuesto y siguiendo el proceso de toma de decisiones, las preferencias de los tomadores de decisión se analizan mediante una técnica donde todos los criterios identificados son comparados

uno con otro en una matriz de comparación por pares, que es una medida que expresa la preferencia relativa entre criterios, generando una escala y atribuyendo valores numéricos a juicios subjetivos.

Saaty (1980) generó una escala para la comparación que consta de valores que van de 1 al 9 para describir la intensidad de la importancia donde el valor 1 expresa “igual importancia” y 9 “importancia extrema” sobre otro criterio (Cuadro 2).

Cuadro 2. Escala fundamental utilizada en comparación por pares (Saaty, 1980).

Intensidad de importancia	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Dos actividades contribuyen igualmente a lograr el objetivo.
3	Moderada importancia	La experiencia y los juicios favorecen levemente una actividad sobre otra.
5	Fuerte importancia	La experiencia y los juicios favorecen fuertemente una actividad sobre otra.
7	Muy fuerte o importancia demostrada	Una actividad es mucho más favorecida sobre la otra y la dominancia es demostrada en la práctica.
9	Importancia extrema	La evidencia que favorece una actividad sobre otra es absoluta y totalmente clara.
2,4,6,8	Valores intermedios entre los valores de escala	Cuando es necesario un término medio.
Recíproco distinto a 0	Si se asigna a_{ij} al comparar la actividad i con la j , entonces se asigna $a_{ji} = 1/a_{ij}$ al comparar la j con la i .	Supuesto razonable.

En el Cuadro 3 se muestra un ejemplo simple de una matriz de comparación, donde 3 criterios son comparados uno con otro. En la comparación directa de los criterios C1 y C3, por ejemplo, el criterio C1 ha sido considerado fuertemente más importante que C3, por lo que el valor “5” ha sido asignado a la posición correspondiente en la matriz. En caso contrario, si se hubiese considerado el criterio C1 fuertemente menos importante

que el criterio C3, el valor correspondiente en la posición de la matriz sería de 1/5 el cual es igual a 0.2.

Cuadro 3. Ejemplo de matriz de comparación por pares.

Criterio	C1	C2	C3
C1	1	4	5
C2	0.25	1	0.5
C3	0.2	2	1

Cálculo del vector de prioridades.

Después de la comparación, la asignación de los valores son sintetizados para determinar un orden (ranking) de los criterios en términos numéricos, los cuales son equivalentes a los pesos de los criterios, llamado también vector de prioridades de acuerdo con Elineema (2002). El cálculo de este vector se basa en el teorema que indica que el vector característico deseado es obtenido cuando se normalizan las sumas de las filas del límite de la potencia de la matriz A (matriz de comparación pareada). Esta operación puede realizarse elevando la matriz A a grandes potencias (se obtiene rápidamente una convergencia si se eleva al cuadrado la matriz A sucesivamente). Se calculan las sumas de las filas y se normaliza. El cálculo se detiene cuando la diferencia entre estas sumas de las filas se normaliza; es decir, cuando la diferencia entre estas sumas en dos cálculos consecutivos sea más pequeña que un valor prefijado. En ocasiones este cálculo es complicado y es muy práctico utilizar programas adecuados para ello como Expert Choice[®] o IDRISI[®].

Consistencia de la matriz de comparación.

Por supuesto, los valores de la matriz de comparación normalmente son bien considerados y no puestos arbitrariamente, sin embargo, la impresión y preferencia de las personas que generan las matrices pueden ser inconsistentes y pueden llevar a disturbios en el cálculo del vector de prioridades. Tales contradicciones pueden ser de la forma que un criterio A_i es preferido sobre otro A_j y a su vez este puede ser preferido sobre un A_k , pero A_i no es preferido sobre A_k , (A_i debe ser preferido sobre A_k). Por esta razón Saaty (1980) adicionalmente ideó un índice numérico sencillo para verificar

la consistencia de la matriz de comparación por pares. Definió una razón de consistencia (RC) como la razón del índice de consistencia (IC) entre un índice de consistencia promedio también llamado índice aleatorio (IA) y es considerada aceptable si es menor o igual a 0.10 (10%); es decir, se acepta la estimación de los pesos cuando $RC \leq 10\%$. En caso contrario se concluirá que la matriz tiene demasiadas inconsistencias y debe ser corregida (Malczewski, 1999).

El IC de la matriz de comparación por pares está dado por:

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

Donde n es el número de criterios usados y λ_{\max} se calcula multiplicando la matriz de comparación por el vector de prioridades dando como resultado un segundo vector, posteriormente se dividen los componentes de este vector entre el primero. El promedio de los componentes de este vector da como resultado el valor de λ_{\max} .

El resultado de IA, fue calculado por Saaty (1980) como la consistencia promedio de la matriz cuadrada de varios ordenes n , los valores de consistencia promedio se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Valores para índice aleatorio (IA) (Saaty, 1980).

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I.A.	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.40	1.41	1.45	1.49	1.51	1.56	1.57	1.59

iii. Construcción de un orden de prioridad global

El paso final es agregar los pesos relativos de los niveles obtenidos en el segundo paso para producir los pesos compuestos. Esto se hace por medio de una sucesión de multiplicaciones de matrices de pesos relativos en cada nivel de la jerarquía. La sucesión se da cuando la matriz de pesos relativa del segundo nivel se multiplica por la matriz de pesos relativa del tercer nivel, y entonces esta matriz resultante se multiplica

por la matriz de pesos relativa para el nivel próximo. Este proceso se continua desde el segundo nivel hasta el más bajo, mientras se va formando un vector de pesos compuestos (la meta, el nivel más alto, no tiene ninguna matriz asociada con ella). El vector de pesos compuestos tiene una dimensión de 1 por m (donde m es el número de alternativas de decisión en el nivel más bajo de la jerarquía) (Barredo, 1996). Los pesos compuestos representan clasificaciones de alternativas con respecto a la meta global. Los pesos, también llamados valores de alternativas de decisión, son la base donde se pueden tomar las decisiones. Estos sirven como valores de efectividad de cada alternativa para alcanzar la meta. El valor global R_i , de la i -ésima alternativa es la suma total de estos valores en cada uno de los niveles y se calcula según la siguiente ecuación (Malczewski, 1999):

$$R_i = \sum_k w_k r_{ik}$$

Donde el w_k es el vector de prioridades asociado con el elemento k -ésimo de la estructura jerárquica de los criterios $\sum w_k = 1$; y el r_{ik} es el vector de prioridades derivado de comparar las alternativas en cada criterio. La alternativa preferida es seleccionada identificando el valor máximo de R_i , ($i = 1, 2, \dots, m$).

3.12. Toma de decisión multiobjetivo

La decisión multiobjetivo se dedica al análisis y resolución de toma de decisiones que involucra a varios objetivos en conflicto. Los métodos que permiten tomar decisiones multiobjetivo generalmente involucran en una fase inicial decisiones multicriterio, ya que ésta puede entenderse como la productora de los insumos en forma de modelos (capas) para la evaluación multiobjetivo (Malckzewski, 1999).

En la toma de decisión multiobjetivo se requiere conocer los diferentes puntos de vista y aseveraciones que existan acerca del estado deseado del sistema bajo consideración (Malckzewski, 1999). A partir de estos puntos de vista del tomador de decisiones se estructuran las reglas de decisión (Eastman, 2001; Forman y Selly, 2001). Para

cualquier objetivo dado es necesario proporcionar una serie de atributos que permitan medir el grado en que el objetivo ha de lograrse (Malczewski, 1999). Un objetivo puede ser establecido por un grupo de interés o por varios, en el caso de ser varios grupos de interés se pueden dar dos casos (Eastman, 2001):

- i. que los objetivos de cada grupo sean complementarios, es decir, que la o las modificaciones sobre la situación actual beneficien a los grupos de interés involucrados, o bien
- ii. que los objetivos sean conflictivos o contrapuestos, esto es, que la o las decisiones beneficien a uno o varios grupos al tiempo que se perjudica a los demás.

3.13. Evaluación multiobjetivo

Se trata de un grado mayor de complejidad, en el que además de utilizar varios criterios para evaluar cada alternativa, se persigue dar satisfacción a más de un objetivo. Una forma de realizar una evaluación multiobjetivo es asignando pesos y priorizando estos objetivos, de forma semejante a como se hace para la ponderación de criterios en la evaluación multicriterio (Barredo, 1996). Los procedimientos para utilizar en el caso de los objetivos son:

1. Extensión jerárquica
2. Solución priorizada
3. Solución compromiso

Que actúan con una estructura definida y son independientes de las reglas de decisión empleadas (Gómez y Barredo, 2005).

La jerarquía existente entre los objetivos puede ser conocida o desconocida, y los objetivos perseguidos pueden ser complementarios o conflictivos como se mencionó en párrafos anteriores, así en el Cuadro 5 se describen todas las posibles soluciones.

Cuadro 5. Técnicas con objetivos y criterios múltiples.

JERARQUÍAS			
OBJETIVOS	CONOCIDAS	DESCONOCIDAS	
	COMPLEMENTARIOS	Extensión Jerárquica	Extensión Jerárquica
	CONFLICTIVOS	Solución Priorizada	Solución Compromiso

Quando se plantea un problema de decisión con objetivos complementarios, la solución puede ser aquella que satisface todos los objetivos simultáneamente, las decisiones multiobjetivo pueden ser solucionadas a través de una extensión jerárquica del proceso de evaluación multicriterio. En el caso de objetivos conflictivos éstos compiten por las alternativas de decisión, ya que las alternativas disponibles satisfacen a uno o a otro pero no a varios objetivos simultáneamente. La asignación de un orden jerárquico a los objetivos no es sencilla y entonces se plantea el desarrollo de una solución compromiso (Eastman, 2012).

3.14. Métodos usados en el análisis multiobjetivo

Existen distintos métodos que utilizan soluciones compromiso para resolver problemas con objetivos conflictivos estos son: programación lineal, programación por metas, programación compromiso y programación multiobjetivo, todos son distintos métodos que buscan en su implementación la optimización de la función de selección, es decir, maximizan o minimizan la función objetivo. Sin embargo, estos procedimientos citados no están estructurados para ser desarrollos en SIG. Por otro lado, ofrecen soluciones solo cuando trabajan con un pequeño número de alternativas, lo cual es de fundamental importancia en la implementación de procedimientos en un entorno SIG, donde el número de alternativas existentes suele ser elevado (Malczewski, 2004).

El método de la solución priorizada u optimización jerárquica, aplicable cuando las prioridades de los objetivos están claramente diferenciadas, consiste en la asignación de la máxima superficie al objetivo de mayor prioridad, excluyéndola para los restantes objetivos y repitiendo el proceso hasta asignar la superficie total (Carver, 1991). No

obstante, a menudo esto no es posible, y la solución más común para los objetivos conflictivos es el desarrollo de una solución compromiso implementada en un entorno SIG.

Cuando las jerarquías no son conocidas es posible determinar una solución compromiso usando el método del análisis de punto ideal multiobjetivo (Gómez y Barredo, 2005; Eastman, 2012) para asignar a cada unidad espacial el uso para el cual su aptitud es máxima y al mismo tiempo minimizar la aptitud para los restantes usos. Para realizar este procedimiento, los objetivos (conflictivos) deben ser expresados como capas de capacidad (Capa-Obj. A y Capa-Obj. B), antes de establecer el análisis de punto ideal multiobjetivo como regla de decisión tal como se muestra en la Figura 4.

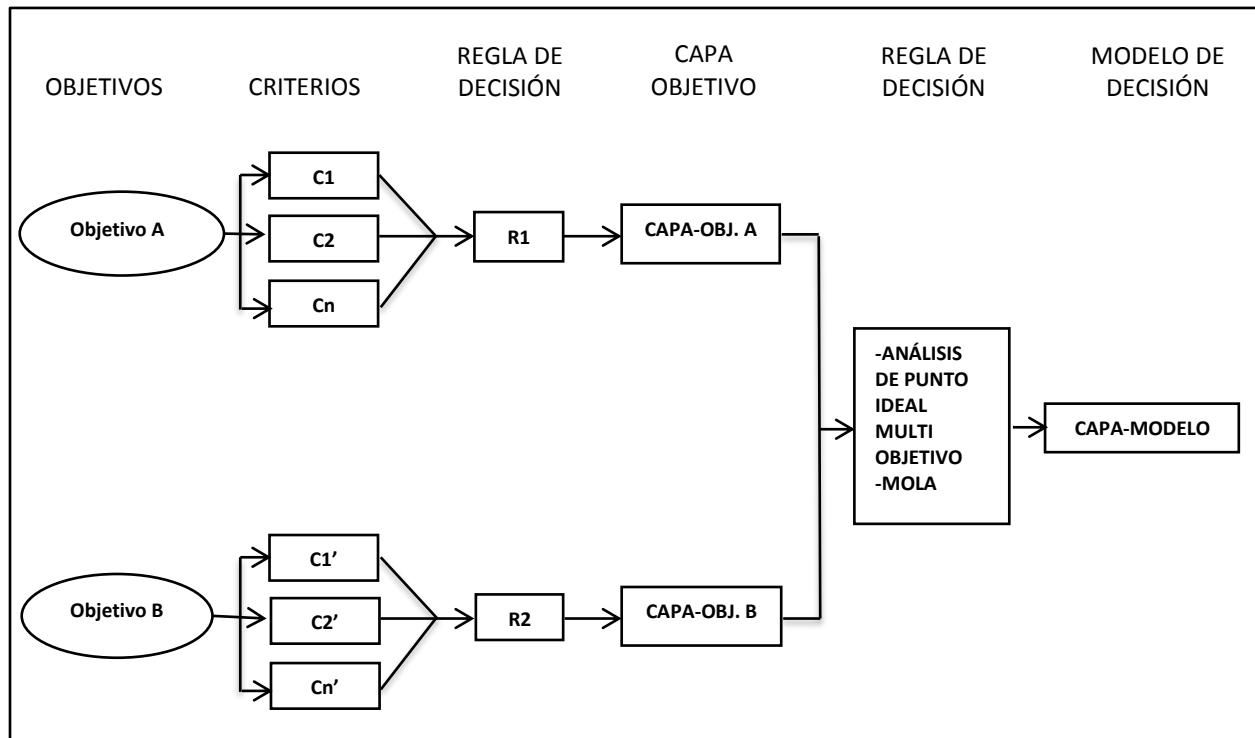


Figura 4. Solución compromiso del proceso de evaluación multiobjetivo (Tomado de Gómez y Barredo, 2005).

Después de haber establecido los objetivos en forma de capas de capacidad y tener claras las metas de superficie propuestas para cada objetivo, el proceso inicia el cálculo de la distancia entre cada alternativa y el punto ideal de cada objetivo se realiza con la siguiente ecuación:

$$L_{pim} = \left[\left(\sum_{k=1}^n w_k |e_{ik} - 0|^p \right) + \left(w_m |e_{im} - 1|^p \right) \right]^{1/p}$$

Donde L_{pim} es la distancia entre la alternativa i y el punto ideal del objetivo m , p es la métrica utilizada para el cálculo de la distancia, w_k es el peso del objetivo k , e_{ik} es el valor normalizado de la alternativa i en el objetivo k , e_{im} es el valor normalizado de la alternativa i en el objetivo m , 1 es el valor del punto ideal para objetivos normalizados y 0 es el valor mínimo para objetivos normalizados. Una vez calculadas las distancias entre cada alternativa y los distintos puntos ideales de cada objetivo, se inicia el proceso de asignación de alternativas a los objetivos, siendo la distancia el elemento que define a que objetivo se asigna cada alternativa, hasta lograr las metas de superficie definidas inicialmente (Barredo, 1996).

Eastman *et al.*, (1995) proponen un procedimiento para la asignación espacial de múltiples usos conflictivos del suelo a través del módulo de IDRISI® MOLA (*Multi-Objective Land Allocation*). Este módulo toma decisiones heurísticas para resolver los conflictos entre los objetivos perseguidos y ha sido desarrollado precisamente para llevar a cabo la solución compromiso en problemas multiobjetivos, en el cual los valores de aptitud para cada objetivo (uso del suelo) se representan en un eje, en el cual se sitúa el punto ideal de cada objetivo (Figura 5).

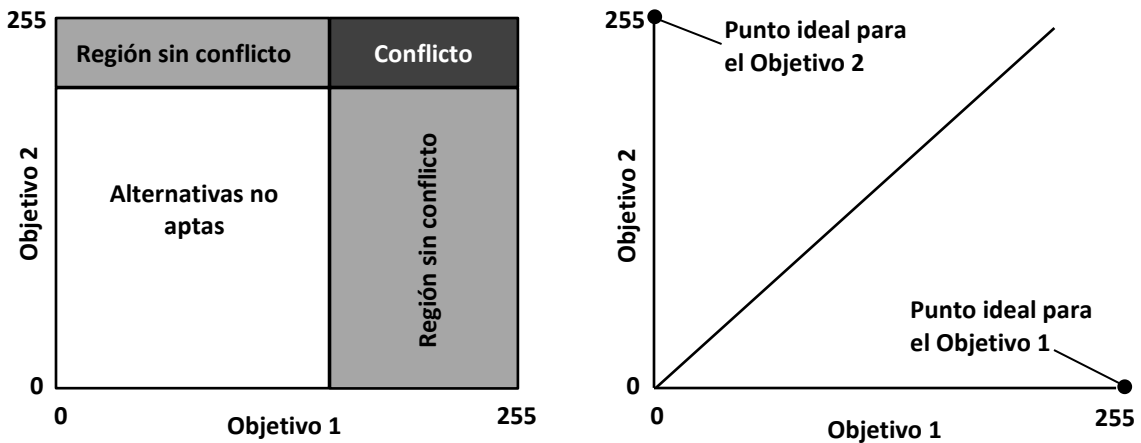


Figura 5. Modelo para la asignación multiobjetivo de tierras (Eastman *et al.*, 1995).

Para encontrar las mejores hectáreas de terreno para el objetivo 1 (especie 1), se consigue moviendo la línea de decisión hacia abajo desde la cima (es decir, bien a la derecha) del eje de adecuación del objetivo 1 hasta capturar la cantidad suficiente de las mejores celdas raster necesarias para alcanzar esa superficie (Eastman *et al.*, 1995; Eastman, 2012). El mismo procedimiento es utilizado para la asignación de las celdas correspondientes al objetivo 2 (especie 2). Como puede observarse en la Figura 5, esto divide el espacio de decisión en cuatro regiones; áreas con aptitud alta para dos objetivos a la vez, situación que se califica como conflicto, por otro lado pueden existir sitios donde el valor de aptitud para el objetivo 1 sea alto pero bajo para el objetivo 2 y viceversa, es decir una región sin conflicto, y finalmente áreas donde los valores sean bajos para ambos objetivos que constituyen alternativas no aptas.

En la zona de conflicto la asignación del objetivo de cada celda se resuelve trazando la línea que separa los puntos más cercanos a cada objetivo (Eastman *et al.*, 1995). El grado de inclinación de esta línea dependerá de la ponderación de cada objetivo. Cuando el número de objetivos es superior a dos cada alternativa es asignada a un uso (objetivo) a través de un plano definido en el espacio multivariante de los objetivos. El ángulo que forma el plano viene dado por la ponderación de cada objetivo. Este algoritmo reclasifica iterativamente los mapas de aptitud para realizar una primera asignación para cada objetivo definido (en nuestro caso, el establecimiento de plantaciones forestales comerciales con cualquiera de las especies de interés en la región de estudio), busca las zonas de conflicto y las asigna basándose en la regla de distancia mínima al punto ideal multiobjetivo empleando los valores ponderados (Eastman *et al.*, 1995; Eastman, 2012).

3.15. Antecedentes de estudios sobre aptitud de tierras

Romero y Rehman (1989) reportan la Programación por Metas (Goal Programming), la Programación Multiobjetivo (Multiobjective Programming) y la Programación Compromiso (Compromise Programming), para la EMC con respecto a decisiones agrícolas. Las técnicas comúnmente no toman en cuenta la variabilidad espacial de los criterios pero

consideran situaciones de decisión de dos tipos: problemas que implican un solo criterio u objetivo, y problemas que toman en cuenta varios objetivos, comúnmente en conflicto entre sí, y que son frecuentes en la agricultura.

Sher y Amir (1994) utilizaron la programación lineal en combinación con restricciones o limitantes de la lógica difusa (fuzzy) en la planeación de actividades agrícolas bajo temporal; las restricciones se refieren a distintos planes posibles para siembras bajo temporal, que dependen de las probabilidades de lluvia; cada decisión es un plan óptimo, que al desarrollar el procedimiento indica, entre otros resultados, el tamaño de las parcelas. El método obtenido se comparó con un procedimiento de programación lineal convencional y concluyeron que el procedimiento obtenido tiene como principal ventaja sobre el convencional, el permitir reducir la incertidumbre usando la misma información.

La Evaluación Multicriterio para identificar áreas con propósitos específicos dentro de un contexto de Sistemas de Información Geográfica ha sido utilizada en distintas áreas (Malczewski, 2004), en el caso de la aptitud de tierras el uso es relativamente nuevo y se ha aplicado principalmente en agricultura para identificar áreas aptas para cultivos con datos de producción (Prakash, 2003) utilizó criterios físicos, socioeconómicos, de mercado e infraestructura, mismos que fueron procesados mediante tres metodologías: Procesos de Análisis Jerárquico (PAJ), Aproximación al vector ideal (IVA) y PAJ fuzzy. Por su parte, (Ceballos y López, 2003) integraron variables biofísicas y un proceso de evaluación multicriterio (MCE) en un SIG, el objetivo fue identificar áreas con aptitud para el establecimiento de cultivos de avena (*Avena sativa* L.) en el Distrito de Desarrollo Rural Toluca (DDRT), México.

En el área forestal estas técnicas también se han utilizado principalmente para identificar áreas potenciales para el establecimiento de plantaciones forestales. Por ejemplo, Bustillos (2006) identificó áreas con aptitud para establecer plantaciones forestales con 10 especies de árboles en el estado de Sinaloa, México. Para ello utilizó información cartográfica de clima, suelo y topografía además, consideró las

características ecológicas de las especies, así como juicios y opiniones de expertos, los cuales fueron ingresados en un SIG. Asimismo, Olivas-Gallegos *et al.* (2007) implementaron el proceso analítico jerarquizado (AHP) integrando la combinación lineal ponderada (WLC) en un entorno SIG para definir áreas con aptitud para establecer plantaciones de maguey cenizo *Agave durangensis* Gentry en el norte de México. Por otra parte, Delgado-Caballero *et al.* (2010) identificaron la aptitud de tierras para especies tropicales *Eucalyptus grandis* y *E. urophylla* para la producción de madera y celulosa en Oaxaca y Veracruz. Compararon los resultados obtenidos mediante las técnicas de evaluación multicriterio espacial: Algebra booleana y el Proceso de Análisis Jerarquizado (AHP) con un enfoque de transición gradual fuzzy para identificar diferentes niveles de aptitud. De la misma manera, (Mashayekhan y Salman, 2010) combinaron la Lógica Fuzzy más AHP con evaluación multicriterio para identificar áreas potenciales para el establecimiento de plantaciones de *Eucalyptus grandis* en el norte de Irán.

Los reportes en la literatura científica referentes a evaluaciones multiobjetivo (MOLA) en el sector agrícola y forestal de México son extremo escasos. (Aguilar-Manjarrez y Ross, 1995) combinan los enfoques WLC y MOLA para determinar el uso potencial de la tierra entre dos objetivos igualmente ponderados en Sinaloa, México: la acuicultura y la agricultura. En el estudio realizado por Pineda-Jaimes *et al.* (2012) combinan las técnicas AHP, WLC y MOLA para localizar zonas de adecuación óptima para plantaciones forestales en el Edo. de México con tres objetivos: comerciales, de restauración y protección y agroforestales.

Los autores antes mencionados han concluido que el uso de la evaluación espacial multicriterio y multiobjetivo, son técnicas que tiene varias ventajas sobre el método Booleano (Díaz, 2007; Martínez y Prieto, 2011; Muñoz-Flores *et al.*, 2011), ya que intentan hacer explícito el proceso lógico del pensamiento de un individuo al tomar una decisión, tomando en cuenta la influencia que tiene cada factor en la producción del cultivo o plantación, una mejor representación de la variabilidad espacial y un mejor aprovechamiento de la información disponible.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Área de estudio

La investigación consideró información de seis municipios del estado de Durango; en dos grandes áreas: a) En la parte noreste, en los municipios de Mapimí, Nazas y Rodeo entre las coordenadas $24^{\circ} 95'$ y $26^{\circ} 84'$ N y $103^{\circ} 57'$ y $104^{\circ} 81'$ O; la superficie de esta área es de $11,394 \text{ km}^2$ y b) En la parte centro sureste, en los municipios de Durango, Nombre de Dios y Súchil entre las coordenadas $23^{\circ} 13'$ y $24^{\circ} 43'$ N y $103^{\circ} 79'$ y $105^{\circ} 58'$ O; con una superficie aproximada de $12,342 \text{ km}^2$ (Figura 6).

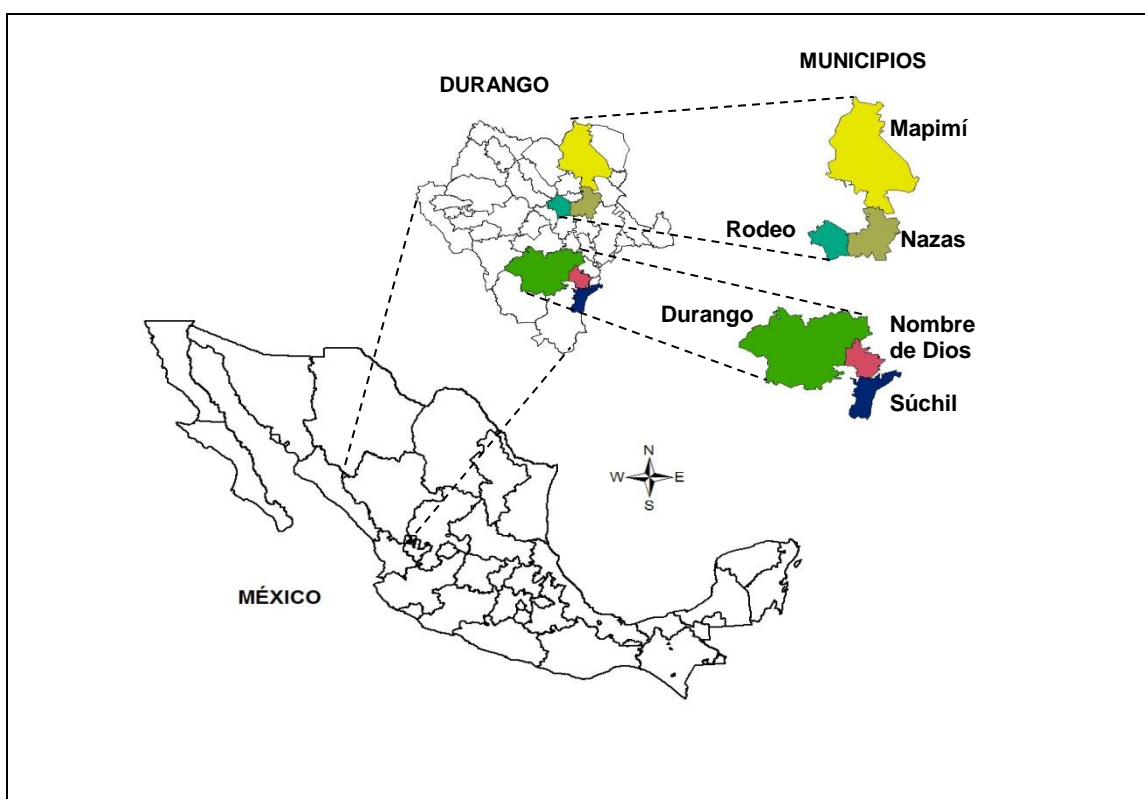


Figura 6. Localización del área de estudio (Tomado de Olivas, 2006).

4.2. Especies de interés en la región de estudio

Se identificaron 21 especies en la región de estudio (Cuadro 6) con potencialidad para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales maderables y no maderables,

de las cuales Valdez *et al.* (2003) describen sus características fenológicas y requerimientos ecológicos como: distribución natural, asociación vegetal, suelos, clima, usos, forma biológica, floración y fructificación, obtención y manejo de semillas, producción de planta, manejo de la plantación y principales plagas y enfermedades.

Cuadro 6. Especies de interés para el establecimiento de plantaciones forestales en la región de estudio.

Especie	Nombre común
<i>Agave durangensis</i> Gentry	Agave cenizo
<i>Agave angustifolia</i> Haw.	Tepemete
<i>Agave lechuguilla</i> Torr.	Lechuguilla; tzuta (en lengua otomí) o Ixtle
<i>Atriplex canescens</i> (Pursh) Nutt.	Cenizo-costilla de vaca-chamizo saladillo
<i>Dasyllirion</i> sp.	Sotol
<i>Euphorbia antisiphilitica</i> Zucc.	Candelilla
<i>Lippia berlandieri</i> Schauer.	Orégano de castilla y salvia
<i>Parthenium argentatum</i> Gray.	Guayule o hierba del hule
<i>Pinus arizonica</i> Engelm.	Pino blanco-pino real o pino de Arizona
<i>Pinus cembroides</i> Zucc.	Bischicuri-pino piñón – piñón – piñón prieto-piñonero
<i>Pinus chihuahuana</i> Engelm.	Pino chino – pino prieto – saguaco y sawaka (Tarahumara)
<i>Pinus cooperi</i> Blanco.	Pino u ocote
<i>Pinus durangensis</i> Ehren.	Pino blanco (Nayarit) – pino real de seis hojas (Durango)
<i>Pinus engelmannii</i> Carr.	Pino real – pino apache – pino Arizona
<i>Pinus greggii</i> Engelm. Var. <i>greggii</i>	Pino garabato o pino garabatillo (Coahuila)
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. et Cham.	Pino u ocote chino
<i>Prosopis laevigata</i> (Humb & Willd)	Mezquite o algarrobo
<i>Quercus crassipes</i> Humb. & Bonpl.	Encino colorado – encino chilillo – encino laurelillo – encino laurel y encino tesmolillo
<i>Yucca</i> spp.	Palma – palma china – palma real o izote
<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd	Huizache
<i>Simmondsia chinensis</i> (Link.) S.	Jojoba

El Anexo 1 incluye un resumen de la información relevante para cada especie objeto de este estudio.

4.3. Metodología

El presente trabajo de investigación integra técnicas de evaluación espacial multicriterio y multiobjetivo en conjunto con los sistemas de información geográfica como una herramienta de apoyo para localizar áreas para establecer plantaciones forestales comerciales que compiten por el espacio óptimo. La investigación se llevó a cabo en dos etapas, en la etapa 1 se identificaron áreas con aptitud para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales con base a criterios de carácter de clima, suelo y topografía para 21 especies de interés (Cuadro 6), utilizando el Proceso Analítico Jerarquizado (AHP) junto con la Combinación Lineal Ponderada (WLC). Se consideraron los requerimientos ecológicos de las especies, así como la opinión de expertos. En la etapa 2 con el fin de resolver los conflictos entre las áreas y desarrollar la asignación óptima para cada objetivo (especies de interés en la región de estudio) se utilizó un procedimiento de asignación multiobjetivo, mediante la asignación de tierras multiobjetivo (MOLA). Se generaron diferentes escenarios de decisión con la aplicación de encuestas a Investigadores, docentes, funcionarios públicos y prestadores de servicios técnicos forestales en el estado de Durango. Estas se configuraron mediante el cálculo de los valores de importancia de cada especie, usando una matriz de comparación por pares la cual sirvió para generar el mapa de distribución espacial óptima de las especies.

4.4. Criterios para identificar las áreas aptas a plantar

Los criterios fueron seleccionados a partir de una amplia revisión de literatura para cada especie, específicamente en relación a requerimientos ecológicos. Se ponderaron aspectos de clima (temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación), del suelo (profundidad, textura, y pH) y de la topografía (altitud y pendiente), con información que provino de encuestas diseñadas *ex profeso* y aplicadas de manera directa a 11 expertos en el establecimiento de plantaciones forestales. Cada uno de los entrevistados completó matrices de comparación pareada diseñadas según la

propuesta de Saaty (1980) para estimar el peso de los criterios y subcriterios (Olivas, 2006). A continuación se enlistan en el Cuadro 7 los subcriterios y escalas.

Cuadro 7. Subcriterios y escalas.

Subcriterio	Escala
Precipitación	1:250,000
Temperatura mínima	1:250,000
Temperatura máxima	1:250,000
Textura	1:50,000
Profundidad	1:50,000
pH	1:250,000
Altitud	1:50,000
Pendiente	1:50,000

Una vez conocidos los requerimientos ecológicos de las especies forestales y las condiciones existentes en la región de interés, una base de datos espacial fue construida para determinar la aptitud de la tierra para cada especie en el marco de varios criterios. Se hizo una recopilación de la cartografía existente sobre el área de estudio, la cual se digitalizó y homogenizó a proyección y *datum* para hacer el modelado cartográfico. Los mapas de temperaturas máximas, mínimas y de precipitación se recortaron de las cartas temáticas existentes de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) a escala 1:250,000. Se digitalizaron los mapas edafológicos del INEGI a escala 1:50,000, a partir de los cuales se generaron mapas de textura y profundidad de suelo. Esta última se estimó al asociar una profundidad a la fase física existente. El mapa de pH se obtuvo de la cartografía derivada de la actualización del Inventario Nacional y de Suelo 2000-2006, realizado por la SEMARNAT-CP, escala 1: 250,000 (SEMARNAT, 2002); el modelo digital de elevaciones se obtuvo del sistema de elevación digital para México (INEGI, 2005), con puntos de muestreo de 1x1 segundos de arco; del mismo modelo se derivó la pendiente (Olivas, 2006). Finalmente se realizó una conversión de formato vectorial a raster con el módulo *Spatial Analysis* de ArcMap® 10.0 (ESRI, 2010), esto con el fin de llevar a cabo el modelado cartográfico en el programa IDRISI® Selva (Clark Labs, 2012).

4.5. Proceso Analítico Jerarquizado (AHP) y combinación lineal ponderada

Las técnicas utilizadas de evaluación espacial multicriterio para generar los niveles de aptitud de la tierra para cada especie en el área de estudio fueron a través de la integración del Proceso de Análisis Jerarquizado (AHP) y la Combinación Lineal Ponderada (WLC). La estructura jerárquica de los criterios y subcriterios utilizados se presenta en la Figura 7.

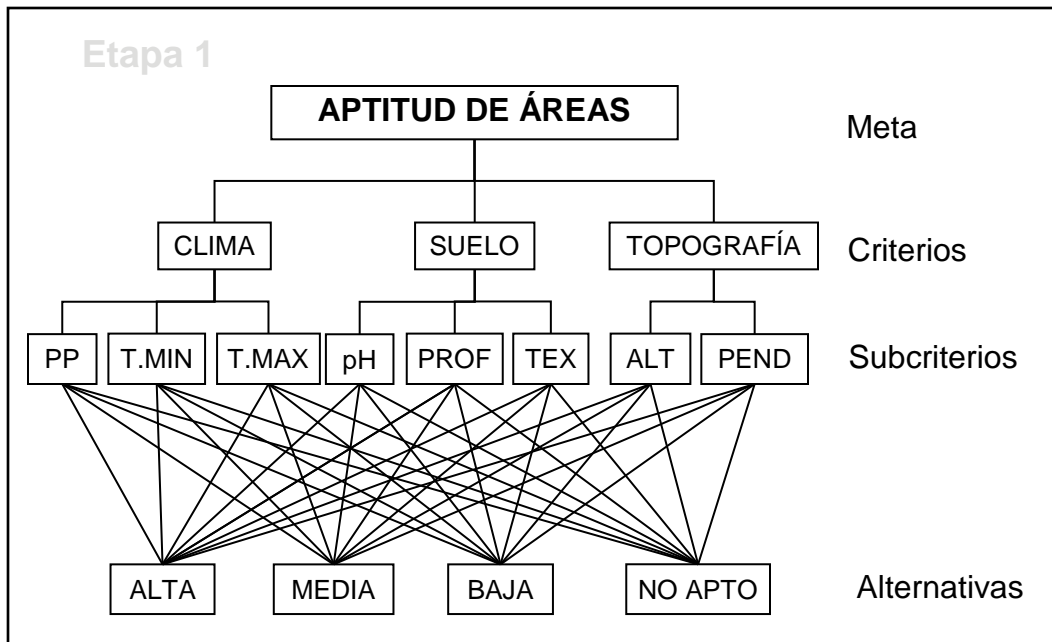


Figura 7. Estructura jerárquica de los criterios y subcriterios considerados en el estudio (Olivas, 2006).

4.6. Estandarización de criterios

Debido a la heterogeneidad de las escalas de medición asociadas a los criterios utilizados y a la necesidad de procesar la información en una escala común, fue necesario estandarizar los criterios. Estos se estandarizaron considerando el objetivo del problema y las alternativas bajo evaluación; es decir, estableciendo la importancia relativa de las clases de los criterios. Inicialmente se definieron cinco niveles de aptitud para cada subcriterio en estudio: S1, S2, S3, N1 y N2; donde S1 representa el cumplimiento ideal del subcriterio, cumplimiento que decrece hasta N2, que corresponde al nivel más bajo de aptitud o aquel de menor cumplimiento del subcriterio.

En los Cuadros 8, 9 y 10 se describe este proceso para los criterios y subcriterios considerados. Posteriormente, mediante el método de comparaciones pareadas se realizó lo que es propiamente el proceso de estandarización. Para ejemplificar lo anterior, el Cuadro 11 muestra la matriz de comparación pareada utilizada para estandarizar el criterio precipitación en función de los requerimientos ecológicos para *Pinus durangensis* Ehren.

Cuadro 8. Clasificación de los valores para estandarizar el criterio clima para *Pinus durangensis* Ehren.

CLIMA					
<u>Precipitación (mm)</u>		<u>Temperatura mínima (°C)</u>		<u>Temperatura máxima (°C)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
400 a 500	0	-14 a -12	S3	26 a 28	S1
500 a 600	0	-12 a -10	S2	28 a 30	S1
600 a 800	S3	-10 a -8	S1	30 a 32	S1
800 a 1000	S2	-8 a -6	S1	32 a 34	S1
1000 a 1200	S1	-6 a -4	S1	34 a 36	S2
1200 a 1500	S1	-4 a -2	S1	36 a 38	S3
1500 a 1800	S1	-2 a 0	S1		
		0 a 2	S1		
		2 a 4	S1		
		4 a 6	S1		

Cuadro 9. Clasificación de los valores para estandarizar el criterio suelo para *Pinus durangensis* Ehren.

SUELO					
<u>Profundidad</u>		<u>Textura</u>		<u>pH</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>
0.1 a 1 m	S2	Gruesa	S3	Ácido	0
> 1 m	S1	Media	S1	Ligeramente ácido	S1
		Fina	S2	Neutro a alcalino	0

Cuadro 10. Clasificación de los valores para estandarizar el criterio topografía para *Pinus durangensis* Ehren.

TOPOGRAFÍA			
<u>Altitud (msnm)</u>		<u>Pendiente (%)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
< 2200	0	0 a 10	S1
2200 - 2350	S3	10 a 20	S2
2350 - 2500	S2	20 a 30	S3
2500 - 2700	S1	> 30	0
> 2700	0		

Cuadro 11. Valores para estandarizar el subcriterio precipitación para el análisis de aptitud para *Pinus durangensis* Ehren.

Precipitación	S1	S2	S3	N1	N2
S1	1	3	5	8	9
S2	1/3	1	4	7	8
S3	1/5	1/3	1	6	7
N1	1/8	1/7	1/6	1	3
N2	1/9	1/8	1/7	1/3	1

Los mapas de subcriterios fueron estandarizados mediante la técnica de comparación por pares. Este procedimiento se realizó a través del cálculo del máximo eigen vector mediante el software R, los valores para el subcriterio precipitación se encuentran en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Valores para estandarizar el subcriterio precipitación.

Clase	Valor
S1	1
S2	0.5860
S3	0.3008
N1	0.0949
N2	0.0571

El procedimiento utilizado fue similar para los otros subcriterios considerados en el análisis. Los valores correspondientes se reportan en el Anexo 2. Dichos valores se asignaron a cada subcriterio de acuerdo con los requerimientos ecológicos de las especies Anexo 1. Para estandarizar los subcriterios asignados para el resto de las especies consideradas en el estudio, se utilizó el mismo procedimiento descrito para *Pinus durangensis* Ehren. A excepción de *Agave durangensis* Gentry en el caso de la clasificación asignada a la pendiente para esta especie, según Valenzuela *et al.* (2003), se desarrolla adecuadamente en lomeríos; es decir, los terrenos planos o inundables no son adecuados, debido a que el efecto del agua ocasiona pudrición radical de la planta por ello las pendientes de 0 a 5% se consideraron con valor de 0.

4.7. Obtención de los pesos (W)

Con la finalidad de ponderar la importancia (definir el peso) de los criterios y subcriterios utilizados para definir áreas con aptitud, se entrevistaron 11 expertos en plantaciones forestales, a partir de los cuales se derivaron los pesos (W) para cada criterio y subcriterio mediante el software IDRISI y la aplicación del módulo GIS Analysis/Decision Support/WEIGHT. Con este procedimiento fue posible conocer la consistencia en las respuestas de los expertos, por lo que se procedió a desechar las respuestas que resultaron inconsistentes. A partir de las respuestas (juicios) consistentes de los expertos y mediante el cálculo de la media aritmética de los juicios se obtuvieron los valores (pesos) para ser asignados a los criterios y subcriterios en cada jerarquía enlistados en el Cuadro 13 (Olivas, 2006).

Cuadro 13. Juicios de valor (pesos o importancia) de los expertos en el establecimiento de plantaciones forestales.

CRITERIOS					
<u>Criterio</u>	<u>Peso (W)</u>	<u>Criterio</u>	<u>Peso (W)</u>	<u>Criterio</u>	<u>Peso (W)</u>
Clima	0.5389	Suelo	0.3554	Topografía	0.1057
SUBCRITERIOS					
<u>Clima</u>	<u>Peso (W)</u>	<u>Suelo</u>	<u>Peso (W)</u>	<u>Topografía</u>	<u>Peso (W)</u>
Precipitación	0.6251	Profundidad	0.4333	Altitud	0.5682
T. Máxima	0.1710	Textura	0.2437	Pendiente	0.4318
T. Mínima	0.2039	pH	0.3230		

4.8. Implementación del (AHP) y combinación lineal ponderada (WLC) en IDRISI

Con el programa IDRISI a través del módulo Modeling/Macro modeler, se construyó un modelo cartográfico que permitió desarrollar el proceso analítico jerarquizado (AHP) implementando la combinación lineal ponderada (WLC). Es decir, los mapas estandarizados (subcriterios) se multiplicaron por el peso (W) definido por los expertos para obtener los mapas de subcriterios ponderados. Posteriormente, los mapas ponderados se sumaron, y dieron como resultado los mapas de criterios (clima, suelo y topografía). En seguida, cada criterio se multiplicó por el peso definido por los expertos.

Finalmente, los tres mapas que contienen los criterios se sumaron para obtener el mapa de aptitud preliminar. Éste se multiplicó por un mapa binario para discriminar áreas con restricción para el desarrollo de plantaciones (áreas forestales arboladas, áreas de conservación biológica), uso permanente definido (urbano, carreteras, cuerpos de agua), mayor rentabilidad (agricultura intensiva) y pendientes mayores a 30% (Figura 8).

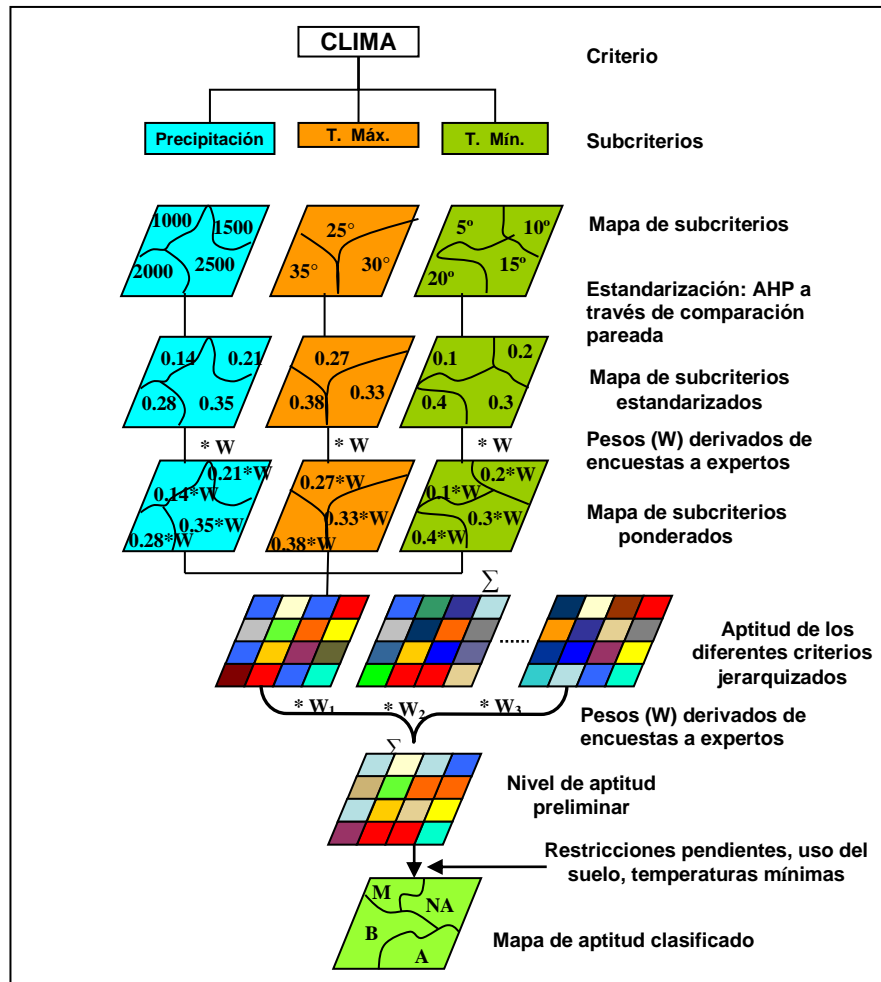


Figura 8. Agregación de clases y pesos sobre las jerarquías según la secuencia del AHP (Olivas, 2006).

Posteriormente y para facilitar la interpretación de los resultados, los mapas resultantes de la implementación del modelo cartográfico para cada especie se clasificaron en tres niveles de aptitud, valores de 0.9 a 1 se etiquetaron como clase de aptitud alta, valores de 0.8 a 0.9 como clase de aptitud media, valores de 0.7 a 0.8 como aptitud baja y finalmente, valores de 0 a 0.7 como no apto (o aptitud marginal).

4.9. Asignación de tierras multiobjetivo (MOLA)

Una vez elaborados los mapas, con el procedimiento anterior, de aptitud para cada especie, fue necesario considerar la competencia que puede existir entre 2 o más especies en donde eventualmente algunas especies pueden presentar una alta o mediana adecuación, generando conflictos en la asignación de tierras. Los conflictos identificados se resolvieron mediante el enfoque conocido como solución compromiso. Este se utiliza en evaluaciones donde existen objetivos conflictivos y de jerarquías generalmente desconocidas. La técnica utilizada se denomina asignación de tierras multiobjetivo (MOLA) y ha sido creada precisamente para llevar a cabo una solución compromiso en problemas multiobjetivos. Para llevar a cabo este procedimiento es necesario contar con las capas espaciales (mapas) de aptitud para cada objetivo, sus pesos relativos, los nombres de los mapas de adecuación evaluados para cada uno y la cantidad de superficie que se requiere para asignar a cada nivel de adecuación. Posteriormente, el algoritmo (MOLA) reclasifica iterativamente cada capa de objetivos sometiendo las zonas de conflicto a una regla de decisión basada en la distancia mínima al punto ideal multiobjetivo empleando los valores ponderados.

4.10. Identificación, clasificación y agrupación de objetivos (Sp.)

Para efectos de planificación, se decidió trabajar con los niveles de aptitud alta y media derivados del proceso analítico jerarquizado (AHP) implementando la combinación lineal ponderada (WLC). Se realizaron intersecciones de los mapas de aptitud para las especies de interés con la ayuda de ArcMap[®] 10.0 con el objetivo de identificar, clasificar y agrupar las especies que compiten por el espacio óptimo, encontrándose 17 especies en conflicto para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales maderables y no maderables (Cuadro 14). El Anexo 4 contiene las matrices de traslape de especies con los niveles de aptitud alta y media para cada especie que compite por el espacio apto en hectáreas.

Cuadro 14. Clasificación y agrupamiento de especies forestales maderables y no maderables que compiten por el espacio óptimo.

<p>Grupo No. 1</p> <p><i>Pinus durangensis</i> Ehren. <i>Pinus engelmannii</i> Carr. <i>Pinus arizonica</i> Engelm. <i>Pinus chihuahuana</i> Engelm. <i>Pinus leiophylla</i> Schl. et. Cham. <i>Pinus cembroides</i> Zucc.</p>	<p>Grupo No. 3</p> <p><i>Agave durangensis</i> Gentry <i>Agave lechuguilla</i> Torr.</p>
<p>Grupo No. 2</p> <p><i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd. <i>Prosopis laevigata</i> (Humb & Willd)</p>	<p>Grupo No. 4</p> <p><i>Agave lechuguilla</i> Torr. <i>Agave angustifolia</i> Haw.</p>
	<p>Grupo No. 5</p> <p><i>Lippia berlandieri</i> Schauer. <i>Euphorbia antisyphilitica</i> Zucc. <i>Dasyilirion</i> sp.</p>
	<p>Grupo No. 6</p> <p><i>Dasyilirion</i> sp. <i>Parthenium argentatum</i> Gray. <i>Simmondsia chinensis</i> (Link.) S. <i>Yucca</i> spp.</p>

4.11. Ponderación de los objetivos y escenarios de decisión

Con el fin de ponderar la importancia de las especies (objetivos), se generaron y aplicaron encuestas a expertos en el establecimiento de plantaciones forestales (investigadores, docentes, funcionarios públicos y prestadores de servicios técnicos forestales) en el estado de Durango para la generación de diferentes escenarios de decisión, éstos se configuraron mediante el cálculo de los valores de importancia para cada especie, a partir de matrices de comparación por pares (Anexo 5). Las encuestas tuvieron como objetivo obtener la opinión de expertos para ordenar (ponderar) la preferencia de especies forestales en competencia para establecer plantaciones comerciales en sitios con aptitud múltiple donde se pueden plantar varias especies; es decir, se buscó identificar la preferencia de plantar una especie sobre otra (s) utilizando un método cuantitativo. Finalmente los datos obtenidos se procesaron con la ayuda del módulo GIS Analysis/Decision Support/WEIGHT del software IDRISI® Selva, para obtener los pesos de importancia y su consistencia de cada una de las especies que

compiten por el espacio óptimo. Solo se tomaron en cuenta aquellos resultados que mostraron una consistencia adecuada (< 0.10), obteniendo posteriormente el promedio de éstos. Nuestro interés se enfocó en ordenar las preferencias de especies forestales maderables y no maderables para implementar plantaciones forestales (Cuadro 14).

Se definieron diferentes escenarios de decisión que sirvieron de base para ordenar las preferencias de especies a plantar. Para plantaciones forestales maderables estos escenarios son: extensión del turno de producción, calidad de la madera, supervivencia de la especie y susceptibilidad a plagas y enfermedades. En el caso de plantaciones forestales no maderables los escenarios son: productividad de la especie y comercialización de la especie.

4.12. Resolución de conflictos e implementación de (MOLA) en IDRISI

Para ejemplificar cómo se aplicó el procedimiento (MOLA) se utilizaran las especies forestales maderables con áreas en conflicto, para ello se han integrado los 6 mapas de aptitud de tierras de las siguientes especies: *Pinus durangensis*, *P. engelmannii*, *P. arizonica*, *P. chihuahuana*, *P. leiophylla* y *P. cembroides*. Éstos se convirtieron en valores de aptitud para cada objetivo en una escala de intervalo de (0-255), donde 0 es nula aptitud y 255 máxima aptitud usando el módulo STRETCH. Se requiere que los pixeles de los mapas estén ordenados en forma descendente con el módulo RANK. Posteriormente, se asignaron pesos diferentes a cada especie de acuerdo a cada escenario de decisión, se definió además una demanda de tierras para cada nivel de adecuación; para ello se tomaron en cuenta los umbrales de superficies de los niveles de aptitud alta y media para cada especie (objetivo). De esta forma puede haber áreas donde la aptitud sea alta por dos objetivos a la vez, situación que se califica como conflicto, por otro lado, pueden existir áreas donde el valor de aptitud para el objetivo 1 sea alto pero bajo para el objetivo 2 y viceversa, es decir una región sin conflicto y finalmente áreas donde los valores sean bajos para ambos objetivos que constituyen alternativas no aptas. En la zona de conflicto la asignación del objetivo de cada celda se resuelve trazando la línea que separa los puntos más cercanos a cada objetivo.

El grado de inclinación de esta línea dependerá de la ponderación de cada objetivo. Cuando el número de objetivos es superior a dos cada alternativa es asignada a un uso (objetivo) a través de un plano definido en el espacio multidimensional de los objetivos. El ángulo que forma el plano viene dado por la ponderación de cada objetivo. Este algoritmo reclasifica iterativamente los mapas de aptitud para realizar una primera asignación para cada objetivo definido, busca las zonas de conflicto y las asigna basándose en la regla de distancia mínima al punto ideal multiobjetivo empleando los valores ponderados.

Para ilustrar este procedimiento en términos simples se utilizaron dos especies con áreas en conflicto *P. durangensis* y *P. engelmannii* cuando en realidad en este ejemplo el espacio de decisión es de 6 dimensiones (especies), lo que significa que los conflictos se resuelven en un espacio de 6-D. La Figura 9 presenta el procedimiento de asignación de tierras multiobjetivo (MOLA). Este procedimiento se llevó a cabo en el software IDRISI[®] Selva, a través de módulo GIS Analysis/Decision Support/MOLA. Finalmente, cada mapa obtenido se exportó a ArcMap[®] 10.0 para obtener los mapas de distribución espacial óptima de las especies y su edición final. El procedimiento utilizado fue similar para las otras especies forestales maderables y no maderables en conflicto.

Etapa 2

Asignación de Tierras Multi-Objetivo

1. *Pinus durangensis*
2. *Pinus engelmannii*
3. *Pinus arizonica*
4. *Pinus chihuahuana*
5. *Pinus leiophylla*
6. *Pinus cembroides*

STRETCH

RANK

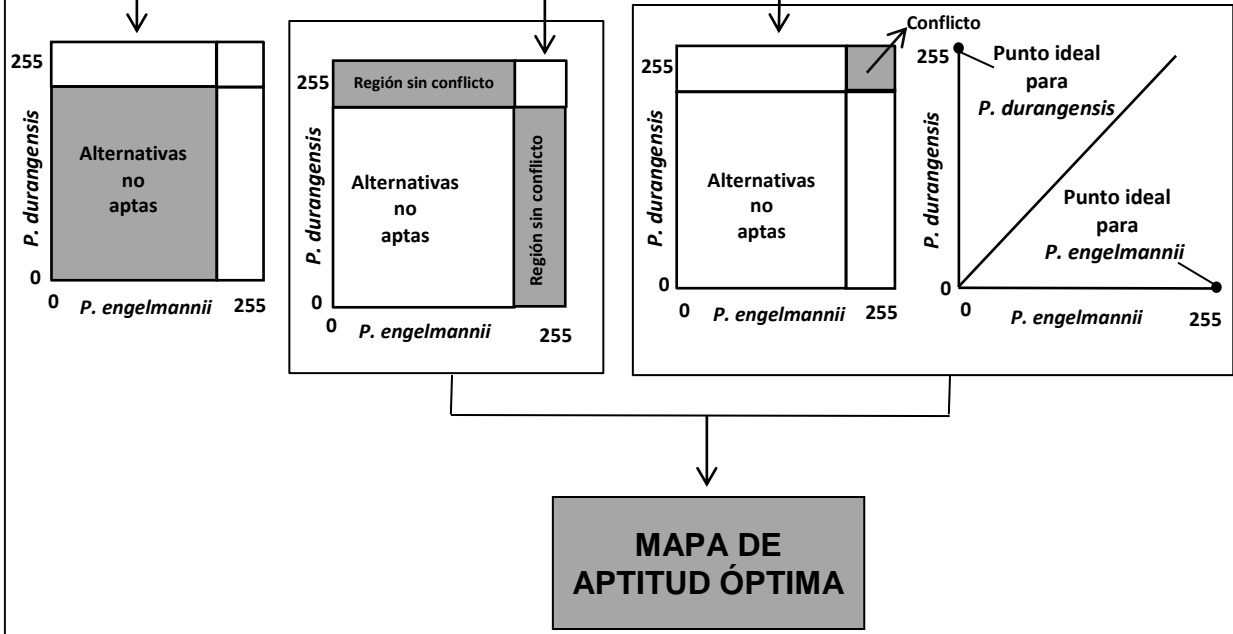
Requerimientos de
área especie 1

Requerimientos de
área especie n

Escenarios de decisión

Especie	Sp.1	Sp.2	Sp.3	Sp.4	Sp.5	Sp.6	wi
Sp.1	1						
Sp.2		1					
Sp.3			1				
Sp.4				1			
Sp.5					1		
Sp.6						1	
IC							

(MOLA)



**MAPA DE
APTITUD ÓPTIMA**

Figura 9. Diagrama del procedimiento de asignación de tierras multiobjetivo (MOLA).

V. RESULTADOS

Los mapas de localización de áreas con aptitud para plantaciones elaborados mediante evaluación espacial multicriterio, se muestran en las Figuras 10, 16, 20, 24, 28 y 32. Los resultados se agruparon en cuatro categorías: no apto o marginal, baja, media y aptitud alta. El Anexo 6 presenta la estimación de las superficies con aptitud para las especies de interés, por municipio mediante AHP-WLC. Comparando los mapas, algunas especies muestran aptitud en un mismo sitio o área y debido a ello las superficies de los diferentes niveles de aptitud (alta, media y baja) para cada especie pueden sobreponerse o traslaparse con otras áreas de aptitud de las especies restantes de este estudio, observándose áreas en conflicto.

Una vez obtenidos los mapas con el procedimiento anterior, se procedió a la elaboración de los mapas de localización de áreas en conflicto para las especies agrupadas que compiten por el espacio óptimo de acuerdo al Cuadro 14. Las Figuras 11, 17, 21, 25, 29 y 33 presentan las áreas en conflicto y el Anexo 4 contiene las matrices de traslape de las especies con los niveles de aptitud alta y media para cada especie que compiten por el espacio óptimo en hectáreas.

Con el fin de resolver los conflictos entre las áreas, se aplicó un procedimiento multiobjetivo en el que se asignan diferentes pesos a cada especie y se define una superficie deseable a plantar de cada especie considerando los niveles de aptitud alta y media, según la especie y grado de conflicto. La modelación multiobjetivo revela una distribución más compacta y homogénea, eliminando los conflictos identificados entre las especies, Figuras 12, 13, 14, 15, 18, 19, 22, 23, 26, 27, 30, 31, 34 y 35. Estas figuras muestran el mapa de asignación óptima que se obtuvo mediante el método MOLA de IDRISI[®] Selva, de manera conjunta para las especies en conflicto, es decir, aquí las categorías compiten entre sí por el espacio y se asigna a cada una de ellas los pixeles que más adecuación presentan para cada especie. La función MOLA facilitó la elaboración de un mapa de adecuación óptima para cada grupo de especies de

acuerdo a los diferentes escenarios de decisión. Los pesos para cada especie, las superficies deseadas y los porcentajes se presentan en los Cuadros del 15 al 28.

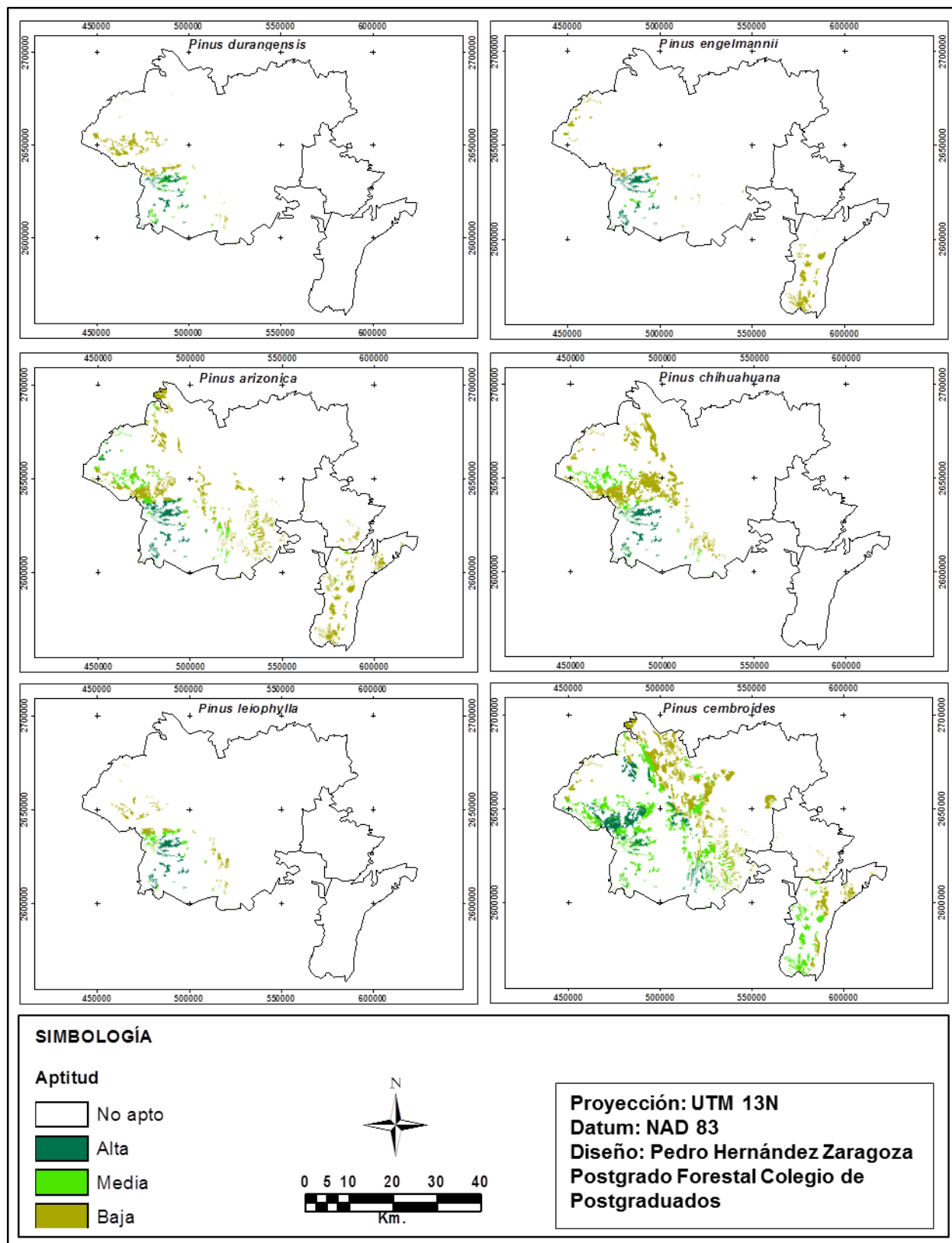


Figura 10. Localización de áreas con aptitud para *Pinus* mediante evaluación espacial multicriterio.

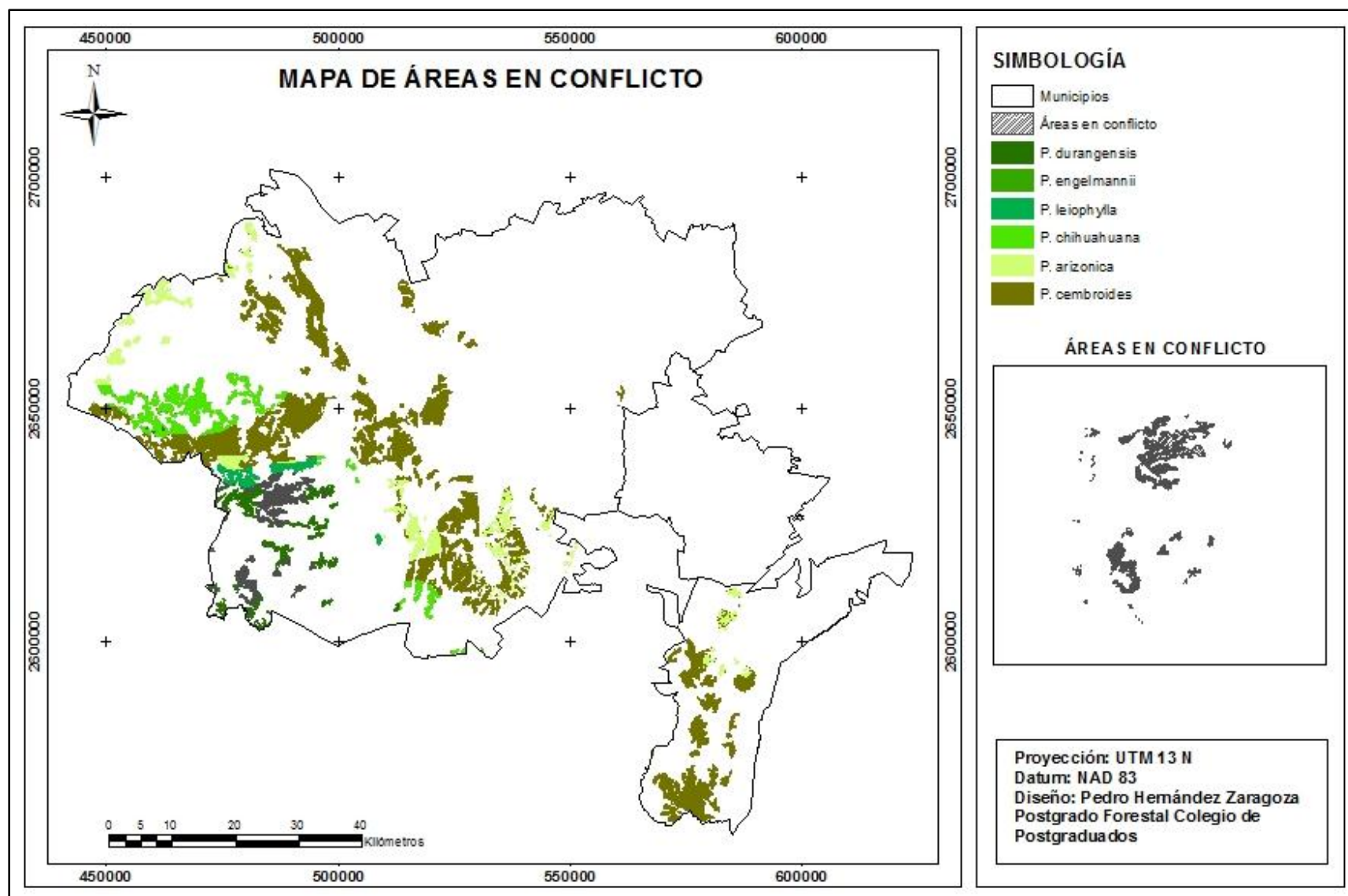


Figura 11. Localización de áreas en conflicto para las especies de *Pinus*.

Cuadro 15. Resultados del escenario extensión del turno de producción para cada especie de *Pinus* con diferentes pesos, superficies y porcentajes.

Especie	Pesos	Superficie (ha)	%
<i>P. engelmannii</i>	0.39	6200	31.0
<i>P. arizonica</i>	0.22	4500	22.5
<i>P. durangensis</i>	0.16	3300	16.5
<i>P. leiophylla</i>	0.11	2500	12.5
<i>P. chihuahuana</i>	0.07	2000	10.0
<i>P. cembroides</i>	0.05	1500	7.5
Total	1.00	20000	100.0

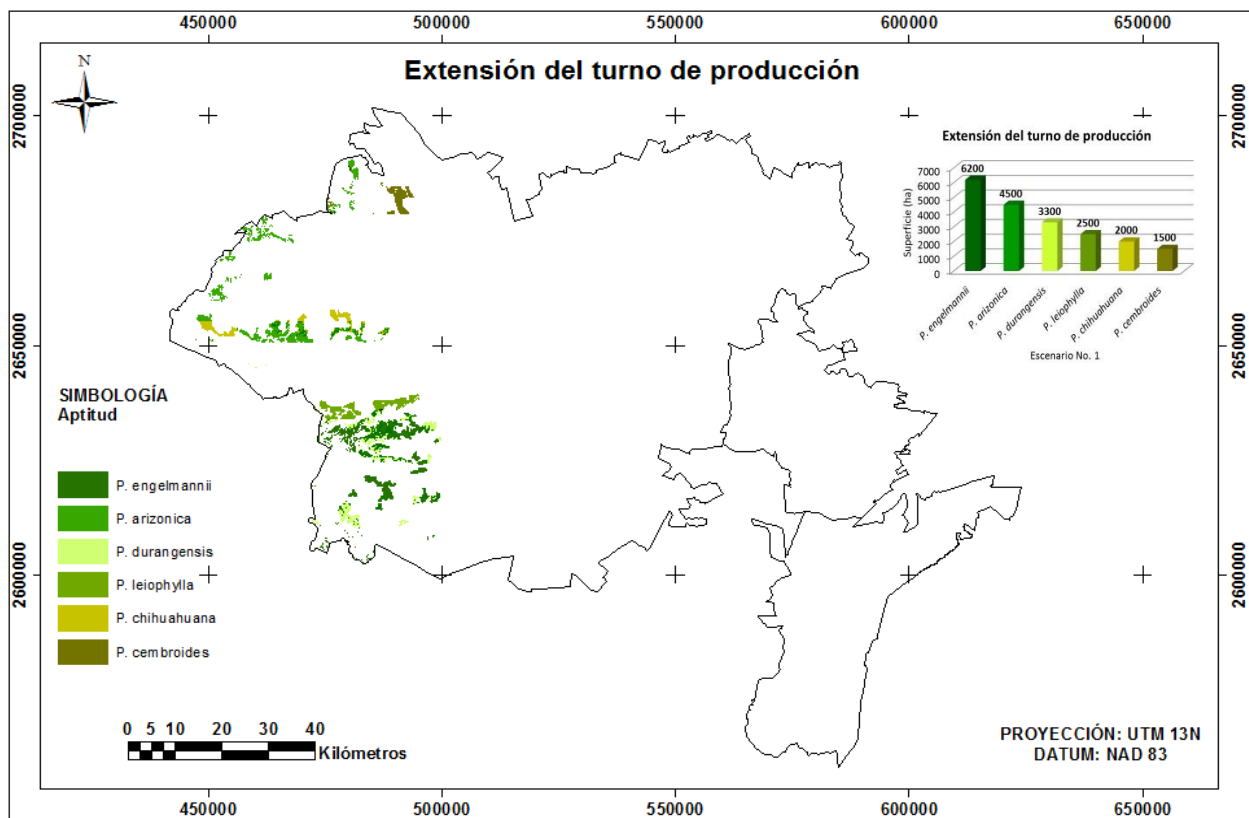


Figura 12. Distribución espacial multiobjetivo para cada especie de *Pinus*, con el escenario extensión del turno de producción.

Cuadro 16. Resultados del escenario calidad de la madera para cada especie de *Pinus* con diferentes pesos, superficies y porcentajes.

Especie	Pesos	Superficie (ha)	%
<i>P. durangensis</i>	0.40	6450	32.3
<i>P. arizonica</i>	0.22	4300	21.5
<i>P. engelmannii</i>	0.18	3000	15.0
<i>P. leiophylla</i>	0.11	2750	13.8
<i>P. chihuahuana</i>	0.06	2000	10.0
<i>P. cembroides</i>	0.03	1500	7.5
Total	1.00	20000	100.0

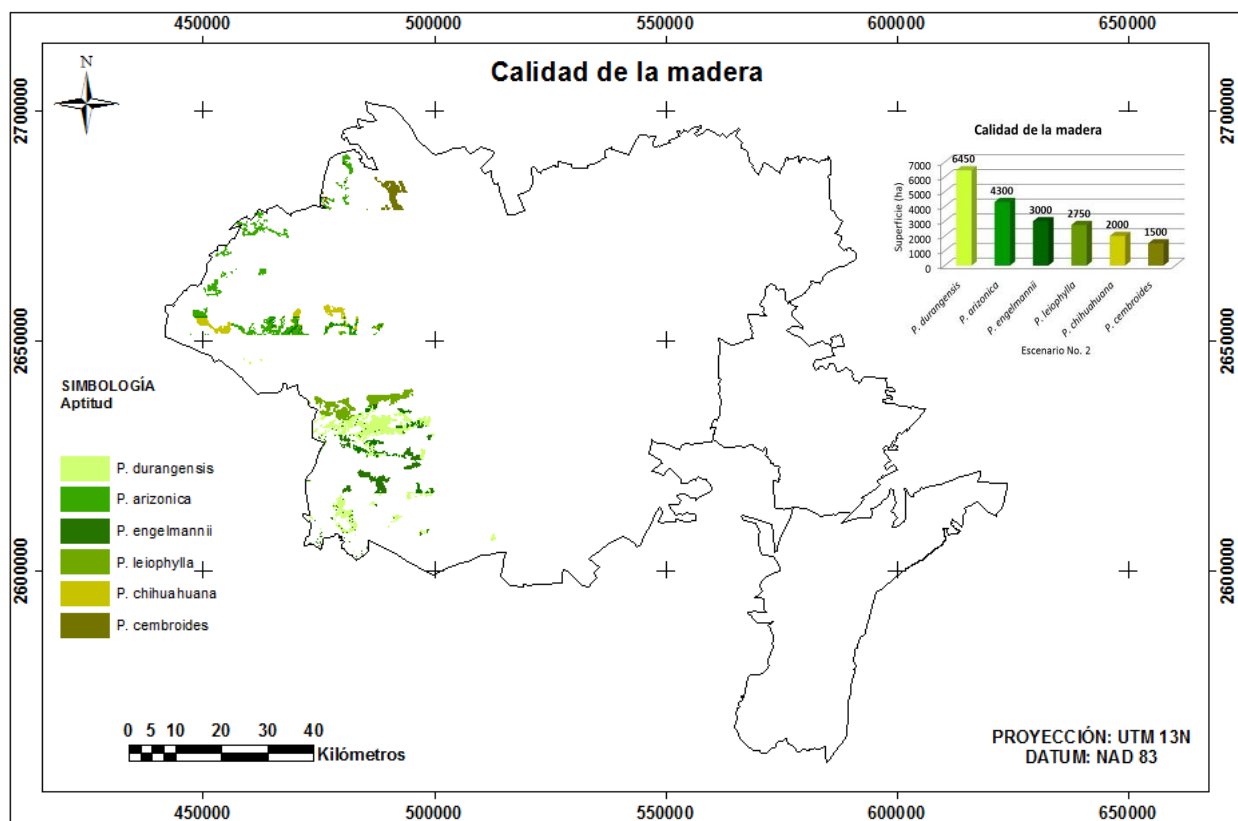


Figura 13. Distribución espacial multiobjetivo para cada especie de *Pinus*, con el escenario calidad de la madera.

Cuadro 17. Resultados del escenario supervivencia de la especie para cada especie de *Pinus* con diferentes pesos, superficies y porcentajes.

Especie	Pesos	Superficie (ha)	%
<i>P. engelmannii</i>	0.23	6200	31.0
<i>P. leiophylla</i>	0.22	4000	20.0
<i>P. arizonica</i>	0.16	3000	15.0
<i>P. cembroides</i>	0.16	3000	15.0
<i>P. chihuahuana</i>	0.13	2000	10.0
<i>P. durangensis</i>	0.10	1800	9.0
Total	1.00	20000	100.0

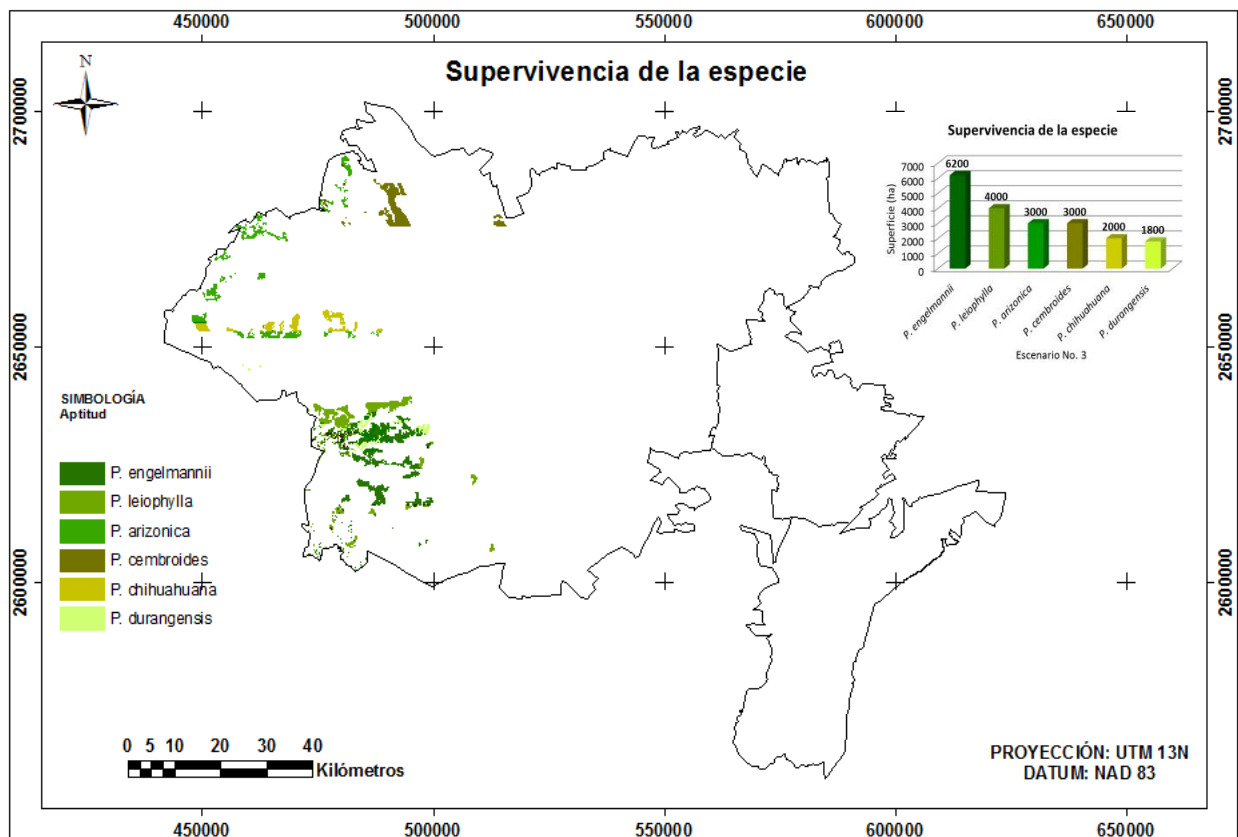


Figura 14. Distribución espacial multiobjetivo para cada especie de *Pinus*, con el escenario supervivencia de la especie.

Cuadro 18. Resultados del escenario susceptibilidad a plagas y enfermedades para cada especie de *Pinus* con diferentes pesos, superficies y porcentajes.

Especie	Pesos	Superficie (ha)	%
<i>P. engelmannii</i>	0.26	6200	31.0
<i>P. leiophylla</i>	0.17	3500	17.5
<i>P. chihuahuana</i>	0.17	3500	17.5
<i>P. durangensis</i>	0.16	3300	16.5
<i>P. arizonica</i>	0.12	2000	10.0
<i>P. cembroides</i>	0.12	1500	7.5
Total	1.00	20000	100.0

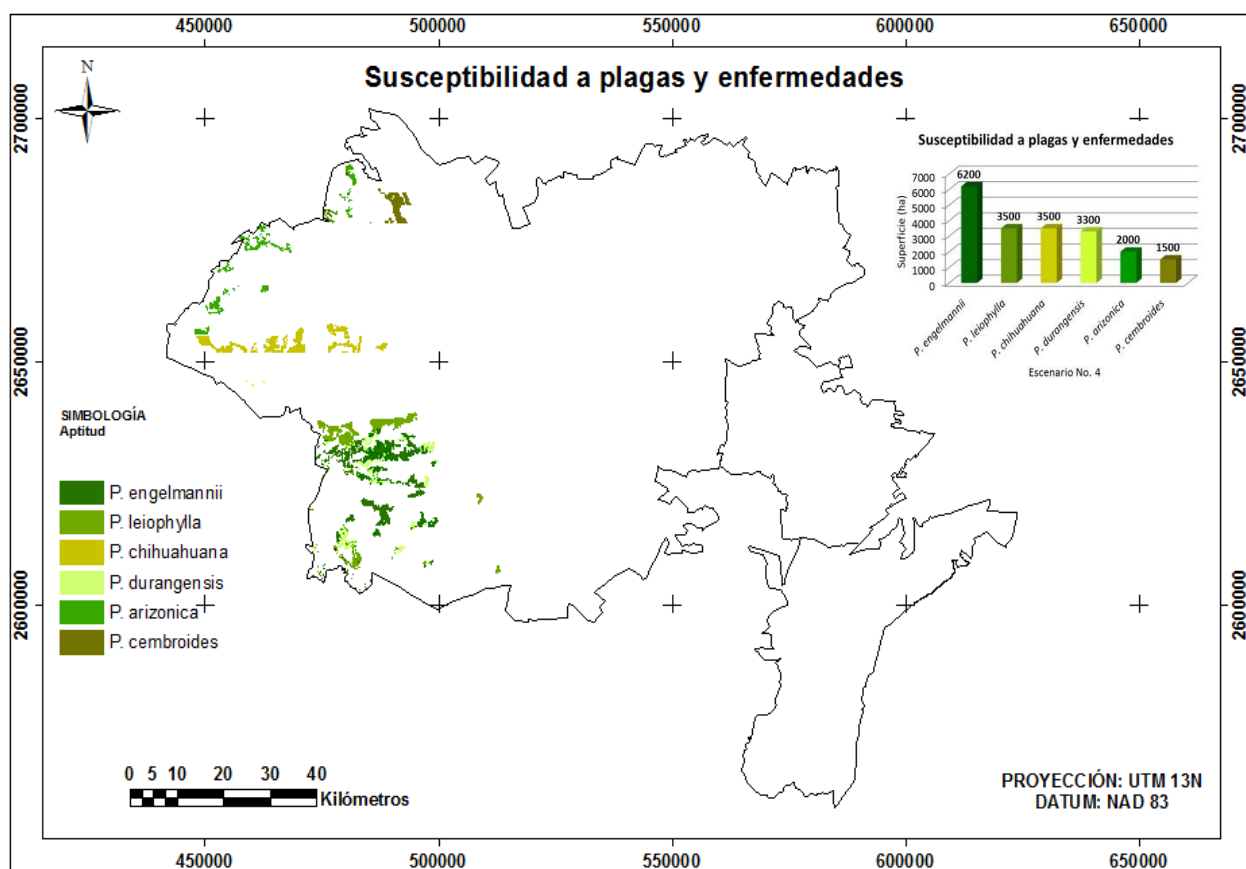


Figura 15. Distribución espacial multiobjetivo para cada especie de *Pinus*, con el escenario susceptibilidad a plagas y enfermedades.

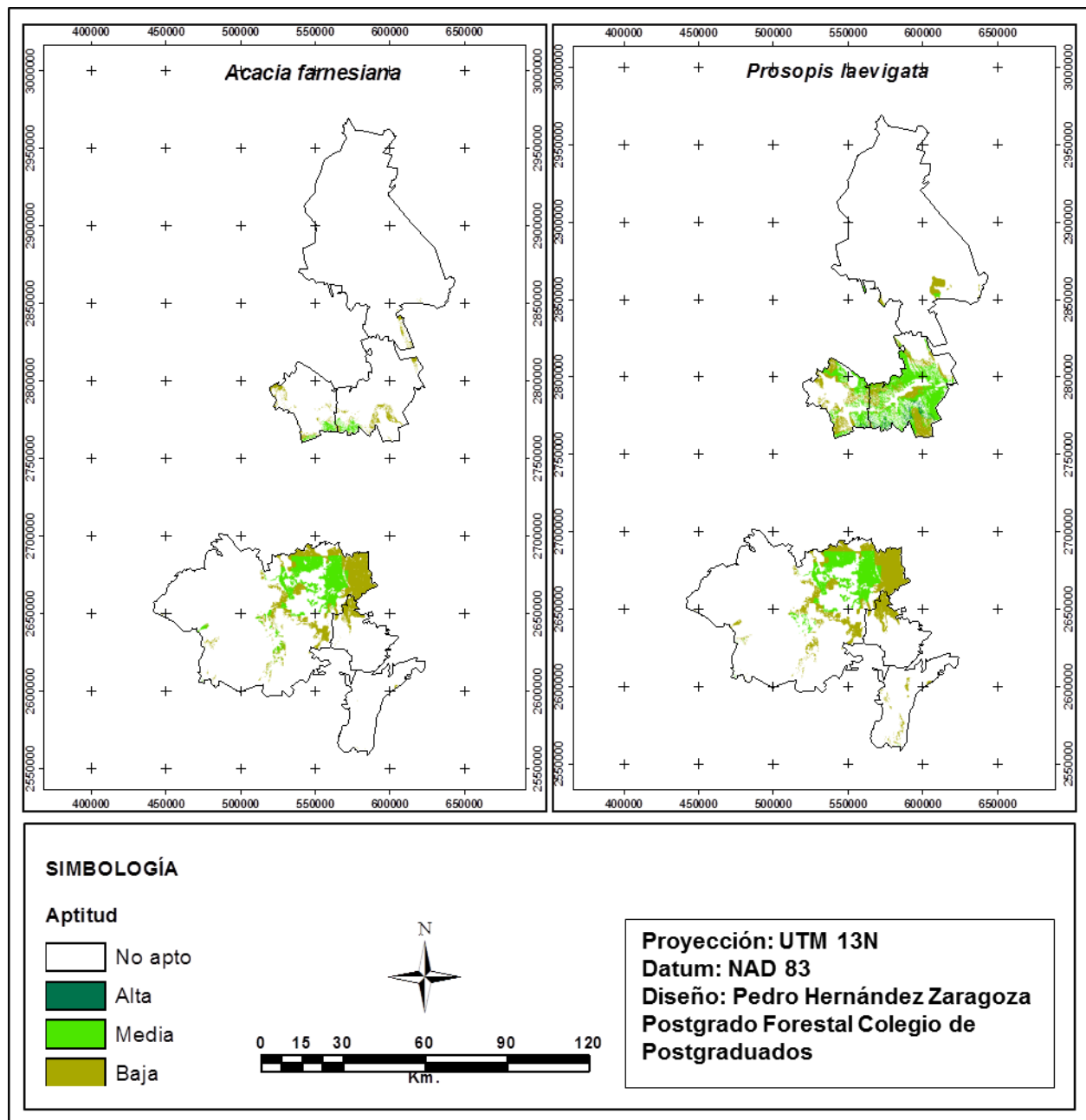


Figura 16. Localización de áreas con aptitud para *Acacia farnesiana* y *Prosopis laevigata* mediante evaluación espacial multicriterio.

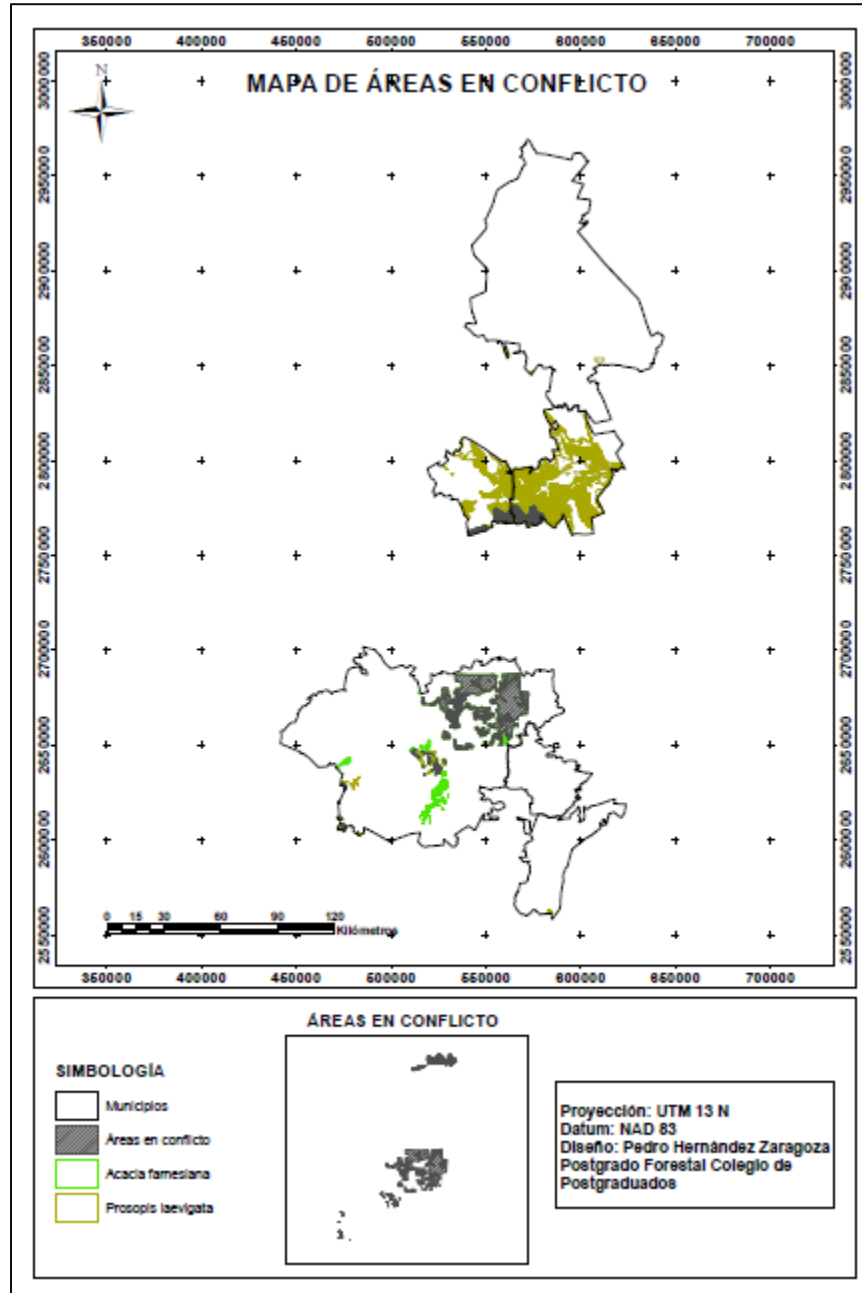


Figura 17. Localización de áreas en conflicto para *Acacia farnesiana* y *Prosopis laevigata*.

Cuadro 19. Resultados del escenario productividad de la especie para *Acacia farnesiana* y *Prosopis laevigata* con diferentes pesos, superficies y porcentajes.

Especie	Pesos	Superficie (ha)	%
<i>Acacia farnesiana</i>	0.61	6500	65.0
<i>Prosopis laevigata</i>	0.39	3500	35.0
Total	1.00	10000	100.0

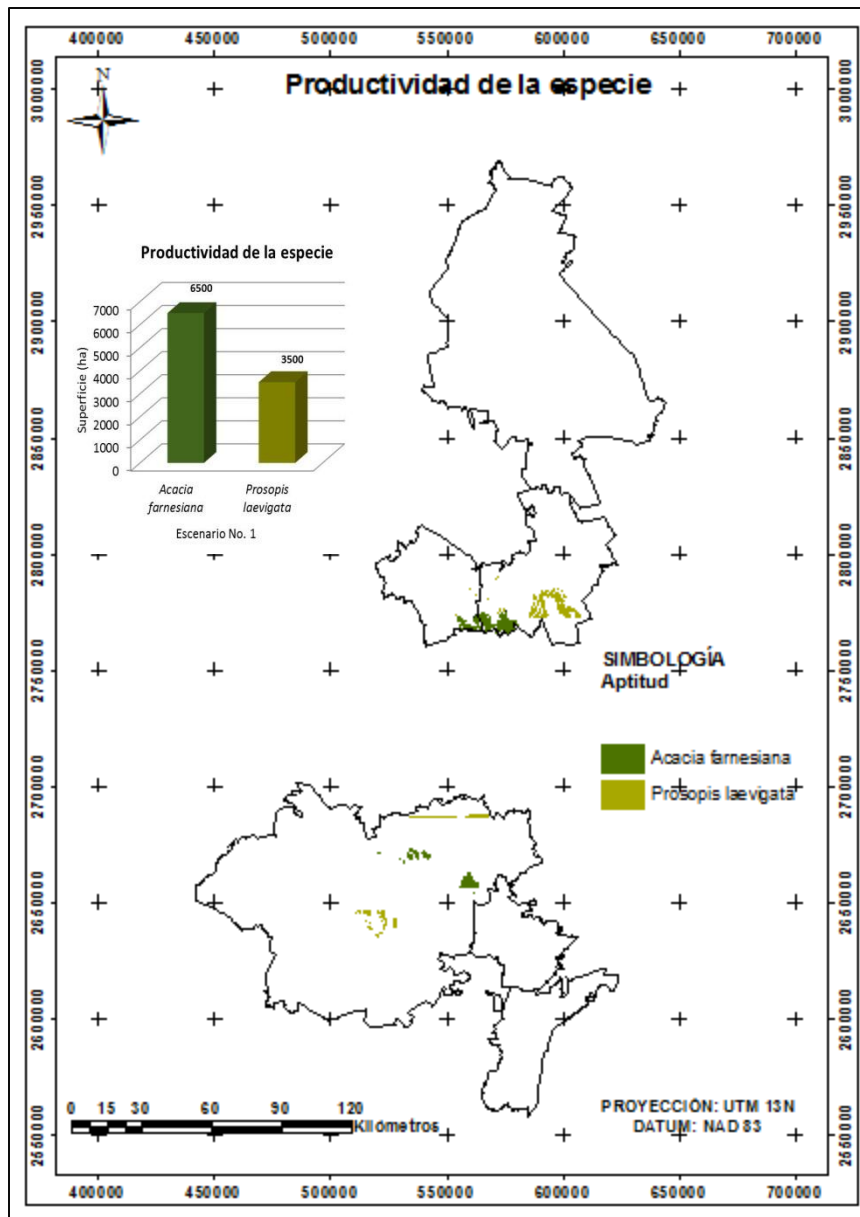


Figura 18. Distribución espacial multiobjetivo para *Acacia farnesiana* y *Prosopis laevigata*, con el escenario productividad de la especie.

Cuadro 20. Resultados del escenario comercialización de la especie para *Acacia farnesiana* y *Prosopis laevigata* con diferentes pesos, superficies y porcentajes.

Especie	Pesos	Superficie (ha)	%
<i>Acacia farnesiana</i>	0.54	6000	60.0
<i>Prosopis laevigata</i>	0.46	4000	40.0
Total	1.00	10000	100.0

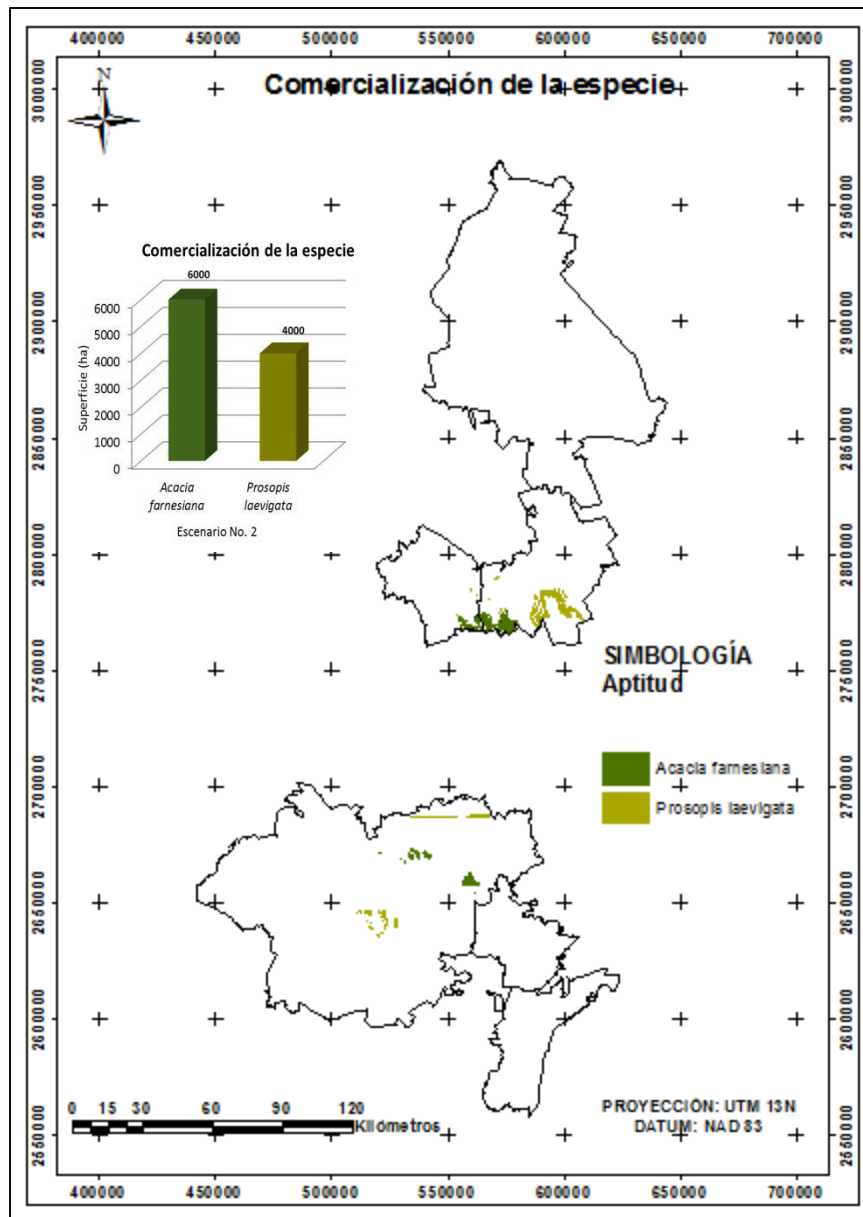


Figura 19. Distribución espacial multiobjetivo para *Acacia farnesiana* y *Prosopis laevigata*, con el escenario comercialización de la especie.

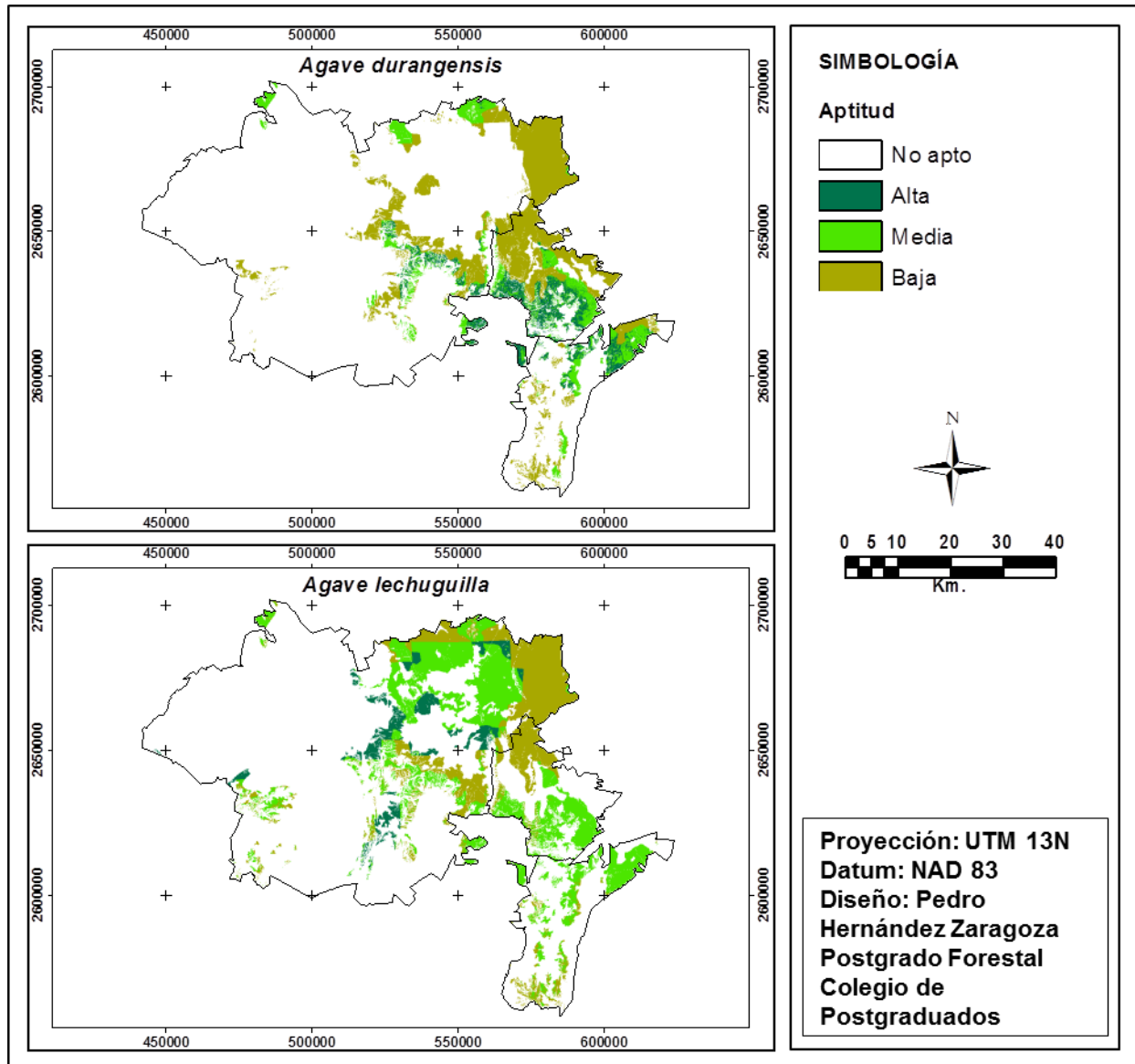


Figura 20. Localización de áreas con aptitud para *Agave durangensis* y *Agave lechuguilla* mediante evaluación espacial multicriterio.

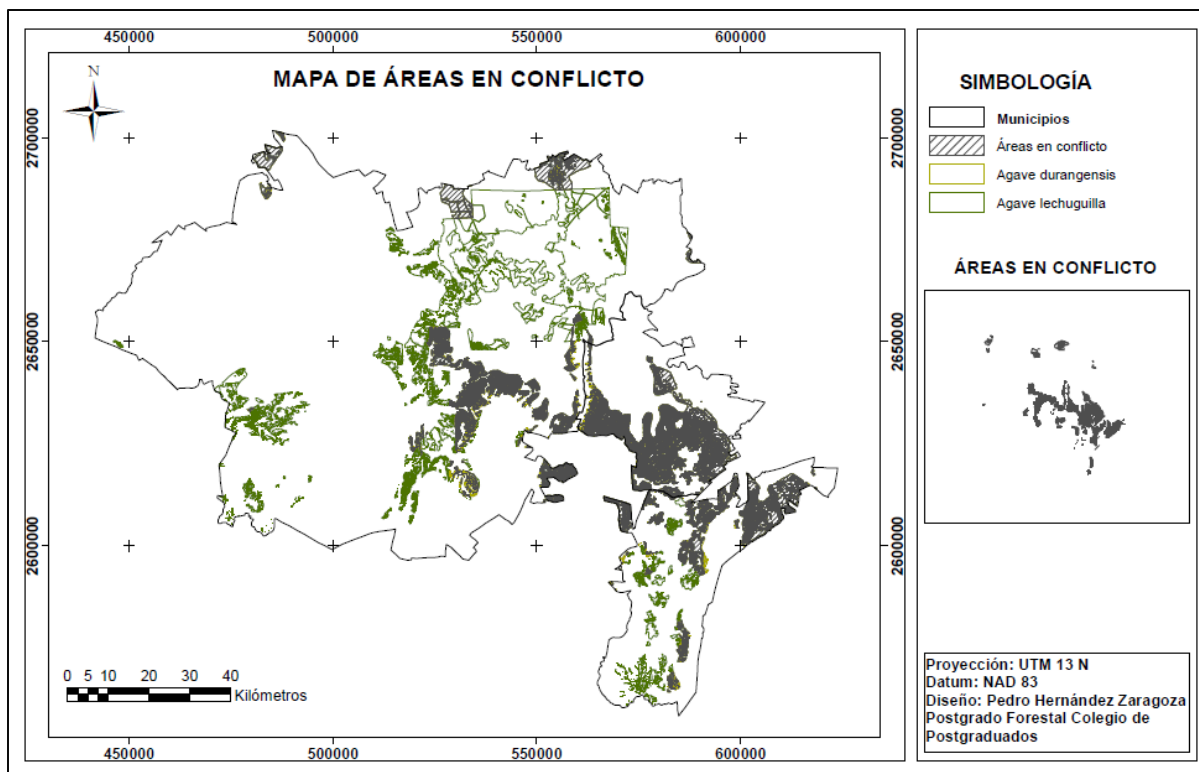


Figura 21. Localización de áreas en conflicto para *Agave durangensis* y *Agave lechuguilla*.

Cuadro 21. Resultados del escenario productividad de la especie para *Agave durangensis* y *Agave lechuguilla* con diferentes pesos, superficies y porcentajes.

Especie	Pesos	Superficie (ha)	%
<i>Agave durangensis</i>	0.57	8500	56.7
<i>Agave lechuguilla</i>	0.43	6500	43.3
Total	1.00	15000	100.0

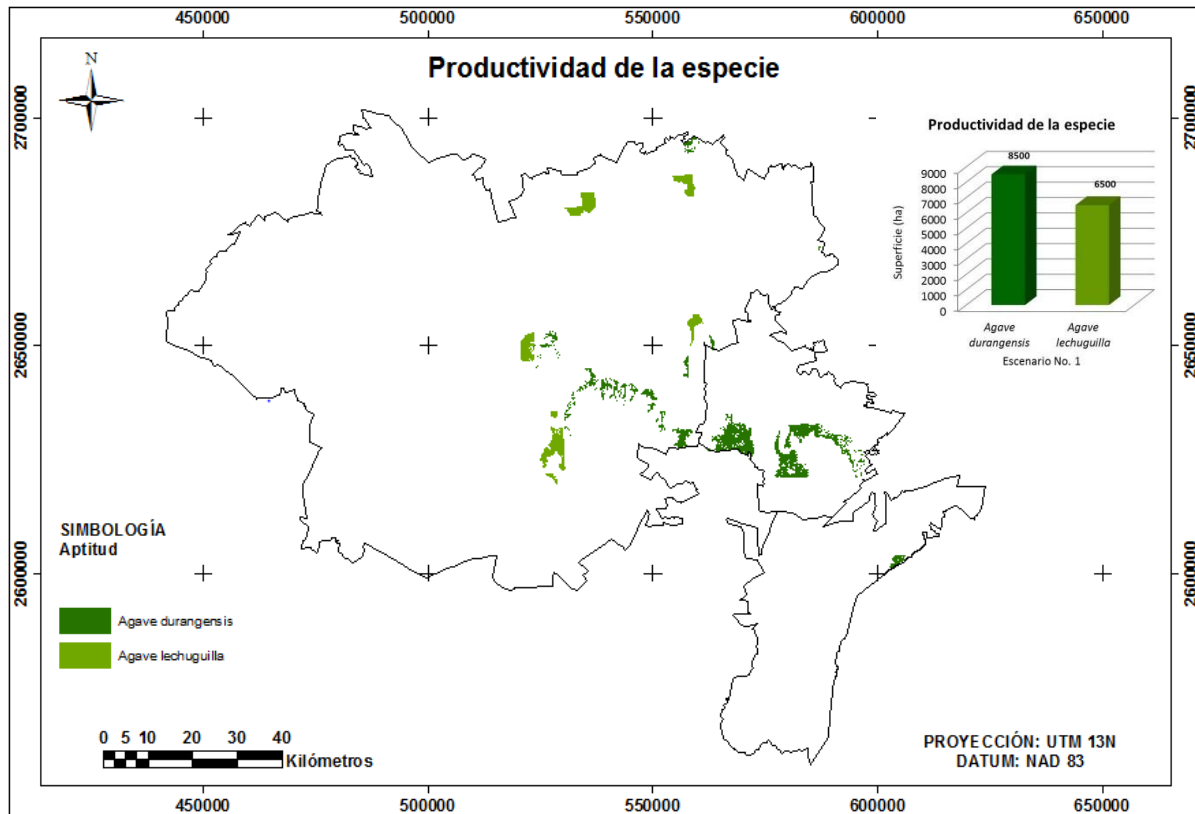


Figura 22. Distribución espacial multiobjetivo para *Agave durangensis* y *Agave lechuguilla*, con el escenario productividad de la especie.

Cuadro 22. Resultados del escenario comercialización de la especie para *Agave durangensis* y *Agave lechuguilla* con diferentes pesos, superficies y porcentajes.

Especie	Pesos	Superficie (ha)	%
<i>Agave durangensis</i>	0.62	10000	66.7
<i>Agave lechuguilla</i>	0.38	5000	33.3
Total	1.00	15000	100.0

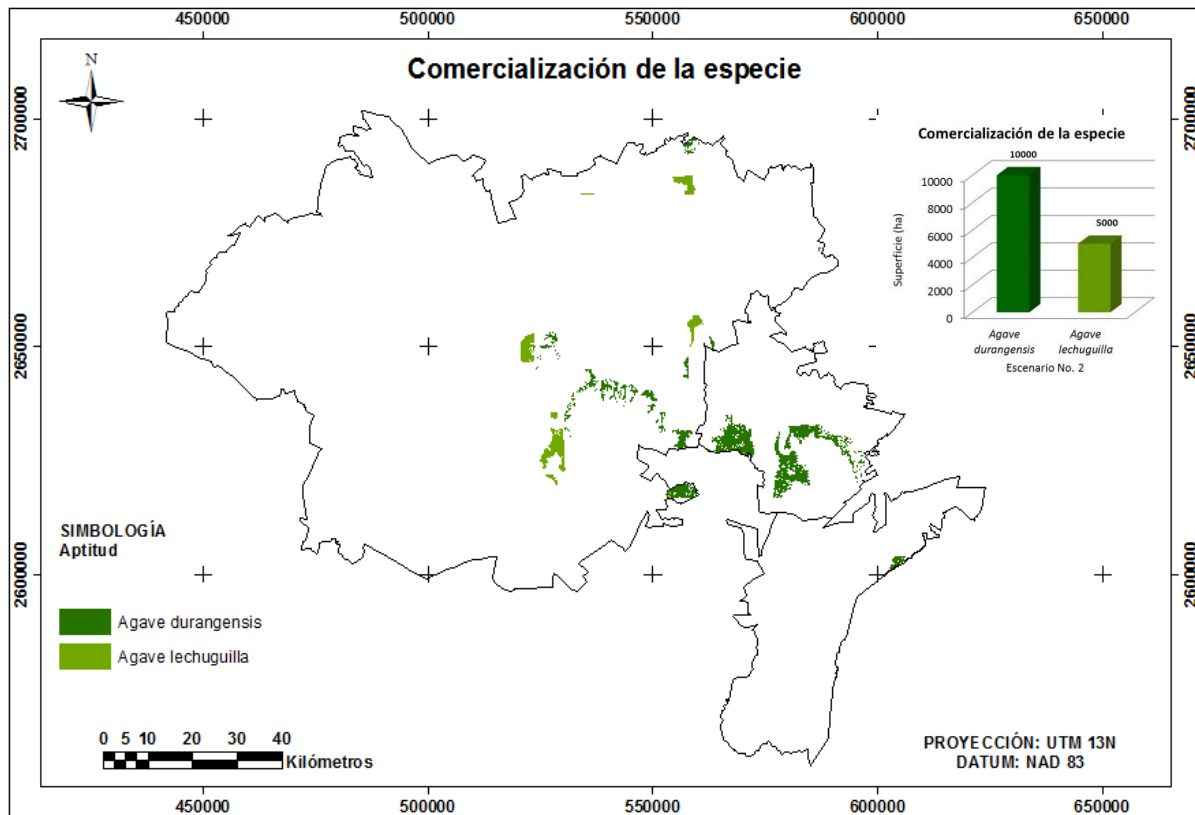


Figura 23. Distribución espacial multiobjetivo para *Agave durangensis* y *Agave lechuguilla*, con el escenario comercialización de la especie.

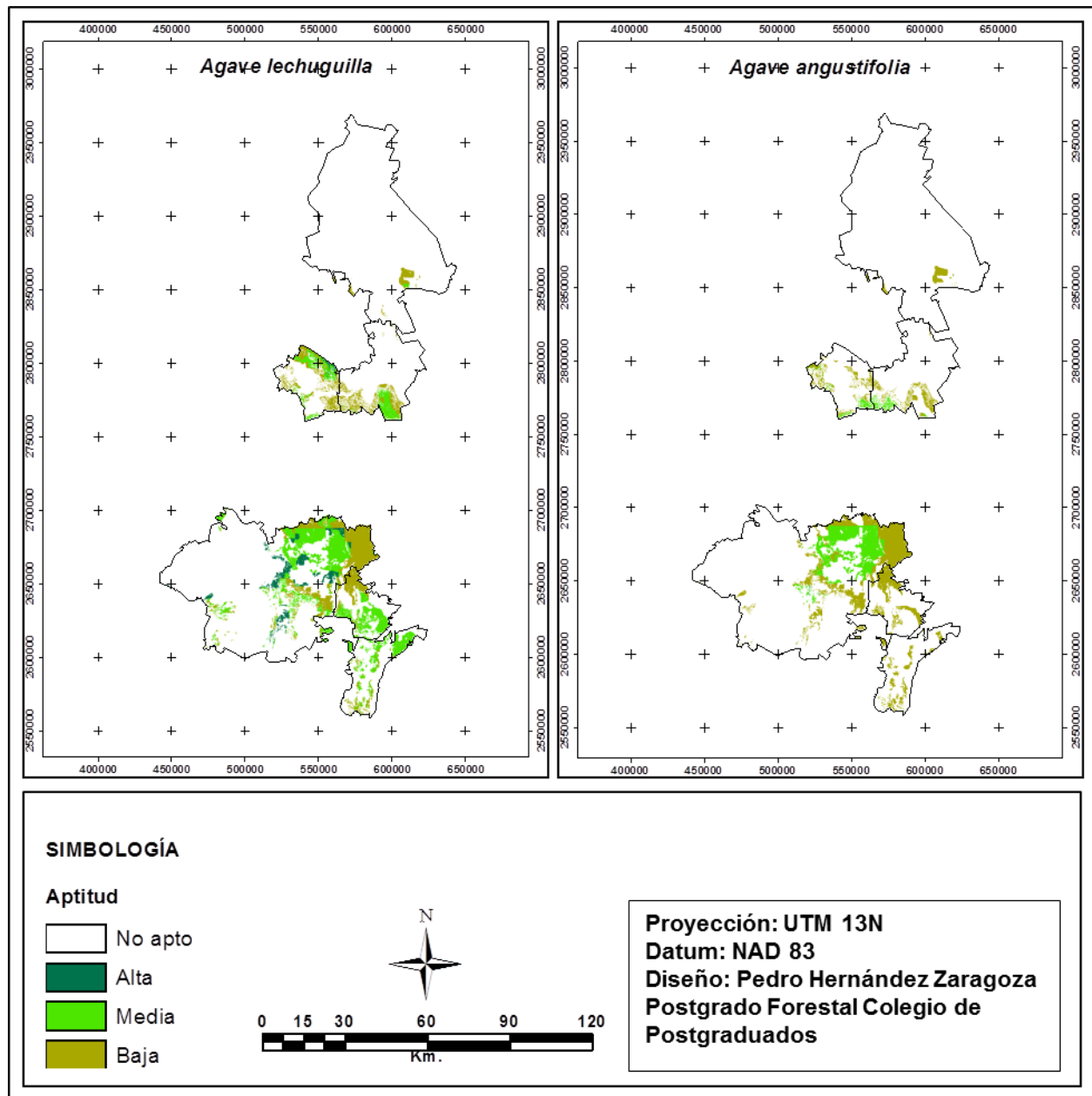


Figura 24. Localización de áreas con aptitud para *Agave lechuguilla* y *Agave angustifolia* mediante evaluación espacial multicriterio.

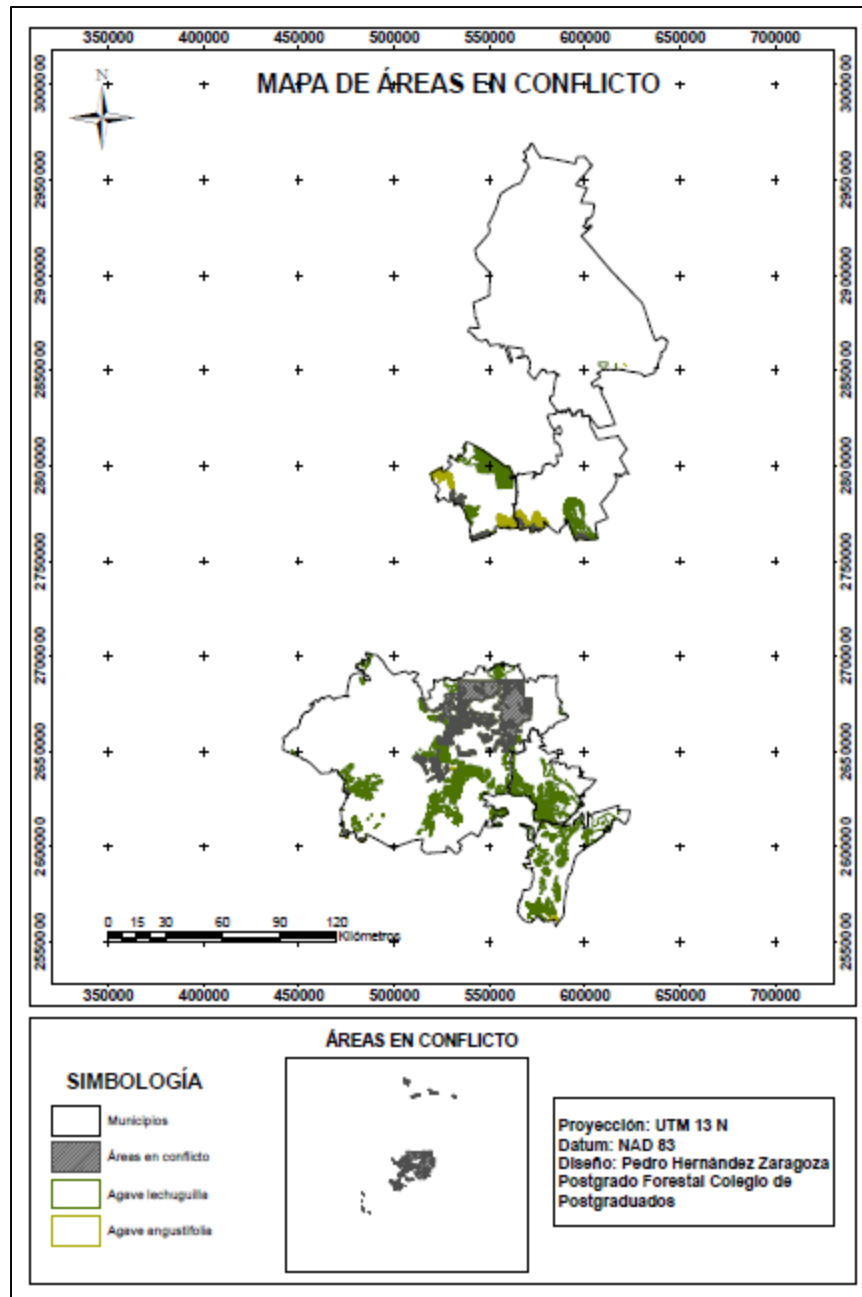


Figura 25. Localización de áreas en conflicto para *Agave lechuguilla* y *Agave angustifolia*.

Cuadro 23. Resultados del escenario productividad de la especie para *Agave lechuguilla* y *Agave angustifolia* con diferentes pesos, superficies y porcentajes.

Especie	Pesos	Superficie (ha)	%
<i>Agave lechuguilla</i>	0.57	7000	70.0
<i>Agave angustifolia</i>	0.43	3000	30.0
Total	1.00	10000	100.0

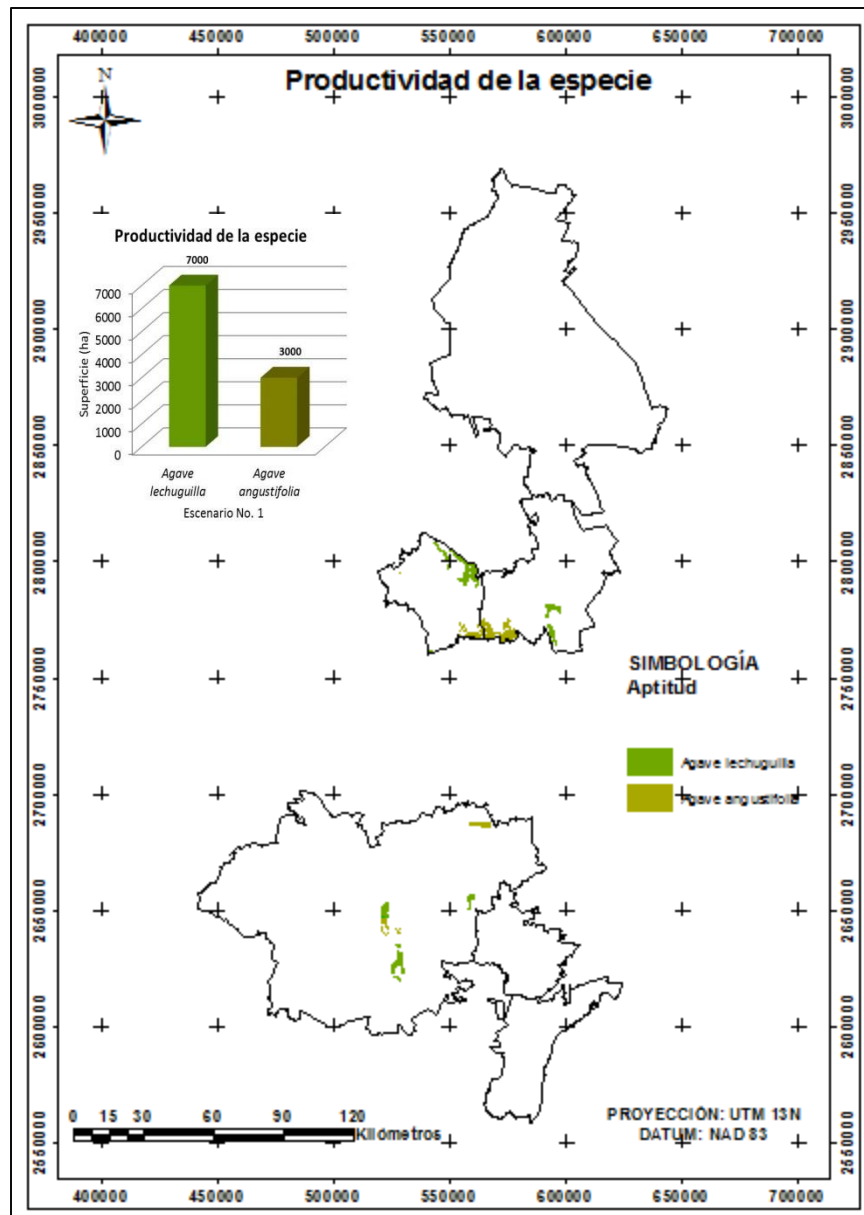


Figura 26. Distribución espacial multiobjetivo para *Agave lechuguilla* y *Agave angustifolia*, con el escenario productividad de la especie.

Cuadro 24. Resultados del escenario comercialización de la especie para *Agave lechuguilla* y *Agave angustifolia* con diferentes pesos, superficies y porcentajes.

Especie	Pesos	Superficie (ha)	%
<i>Agave lechuguilla</i>	0.52	6000	60.0
<i>Agave angustifolia</i>	0.48	4000	40.0
Total	1.00	10000	100.0

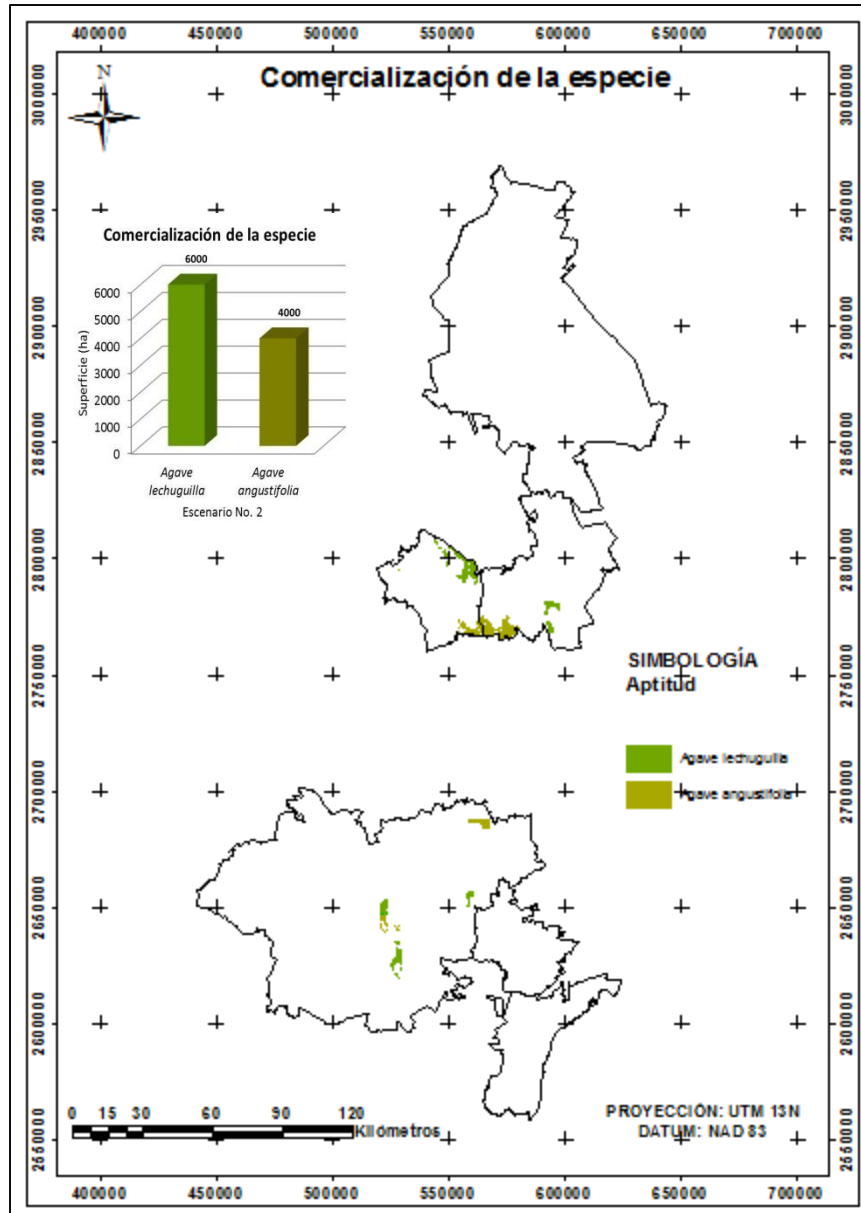


Figura 27. Distribución espacial multiobjetivo para *Agave lechuguilla* y *Agave angustifolia*, con el escenario comercialización de la especie.

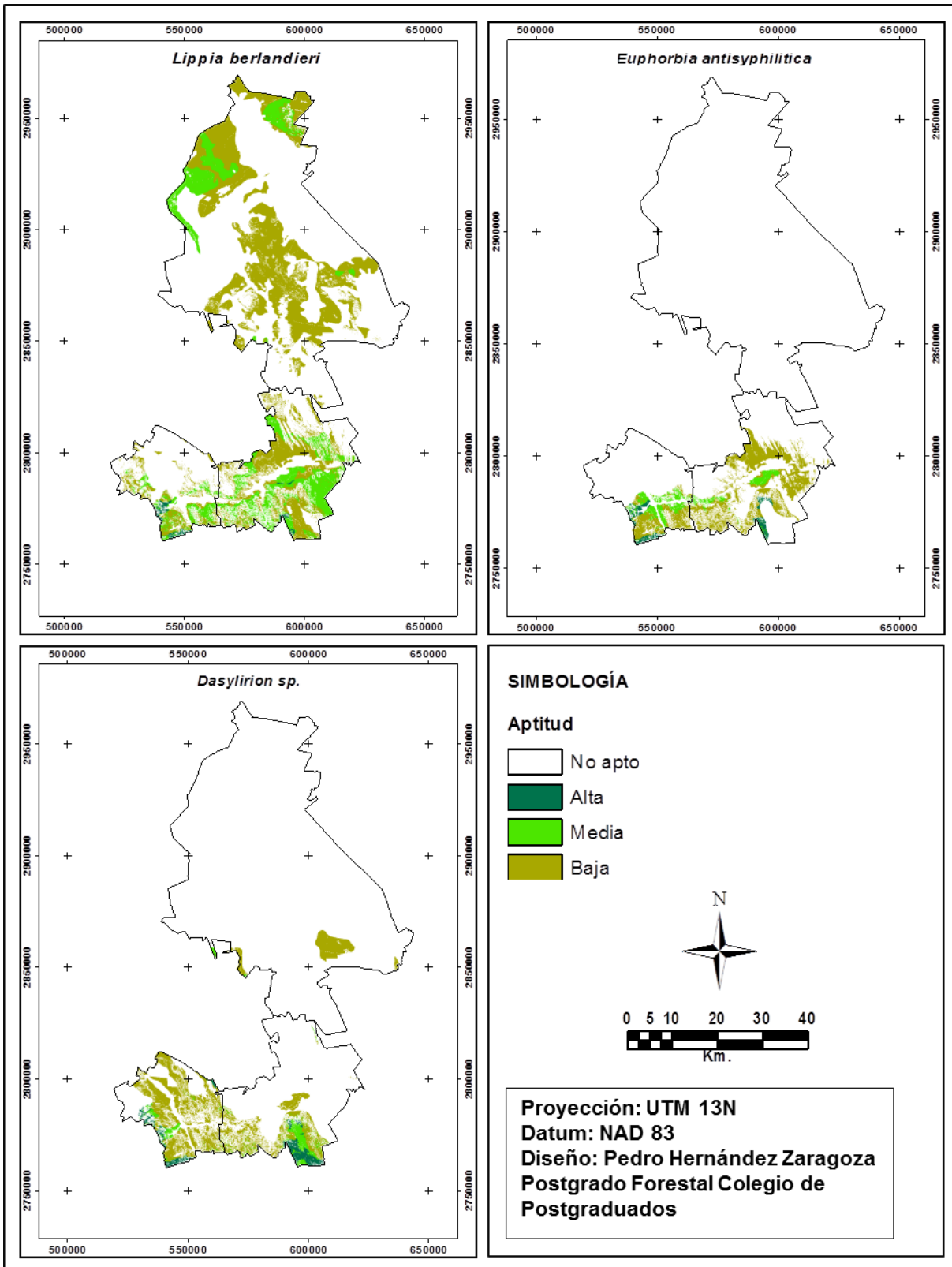


Figura 28. Localización de áreas con aptitud para *Lippia berlandieri*, *Euphorbia antisyphilitica* y *Dasyliiron sp.*, mediante evaluación espacial multicriterio.

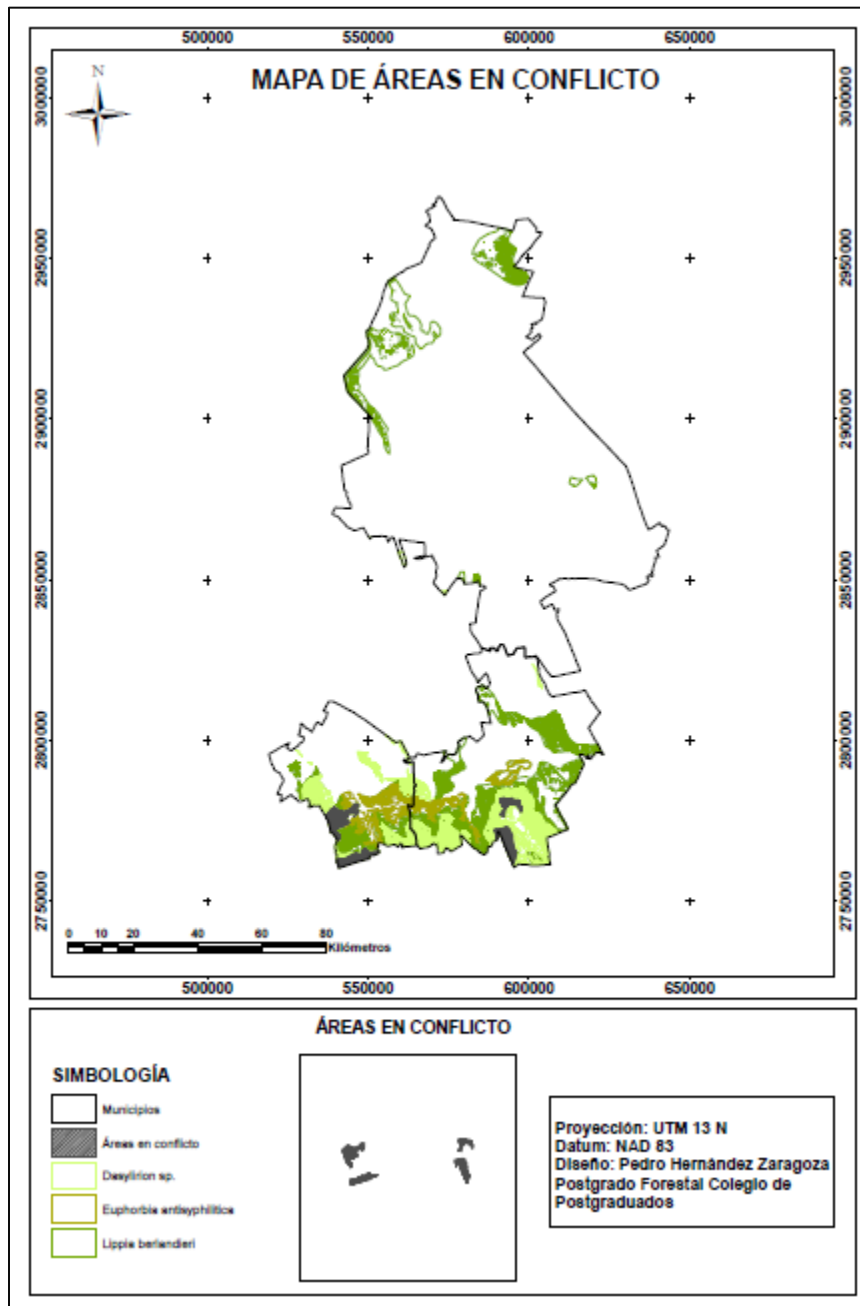


Figura 29. Localización de áreas en conflicto para *Lippia berlandieri*, *Euphorbia antisiphilitica* y *Dasylirion sp.*

Cuadro 25. Resultados del escenario productividad de la especie para *Lippia berlandieri*, *Euphorbia antisyphilitica* y *Dasyliiron* sp., con diferentes pesos, superficies y porcentajes.

Especie	Pesos	Superficie (ha)	%
<i>Lippia berlandieri</i>	0.65	5000	50.0
<i>Euphorbia antisyphilitica</i>	0.28	3000	30.0
<i>Dasyliiron</i> sp.	0.07	2000	20.0
Total	1.00	10000	100.0

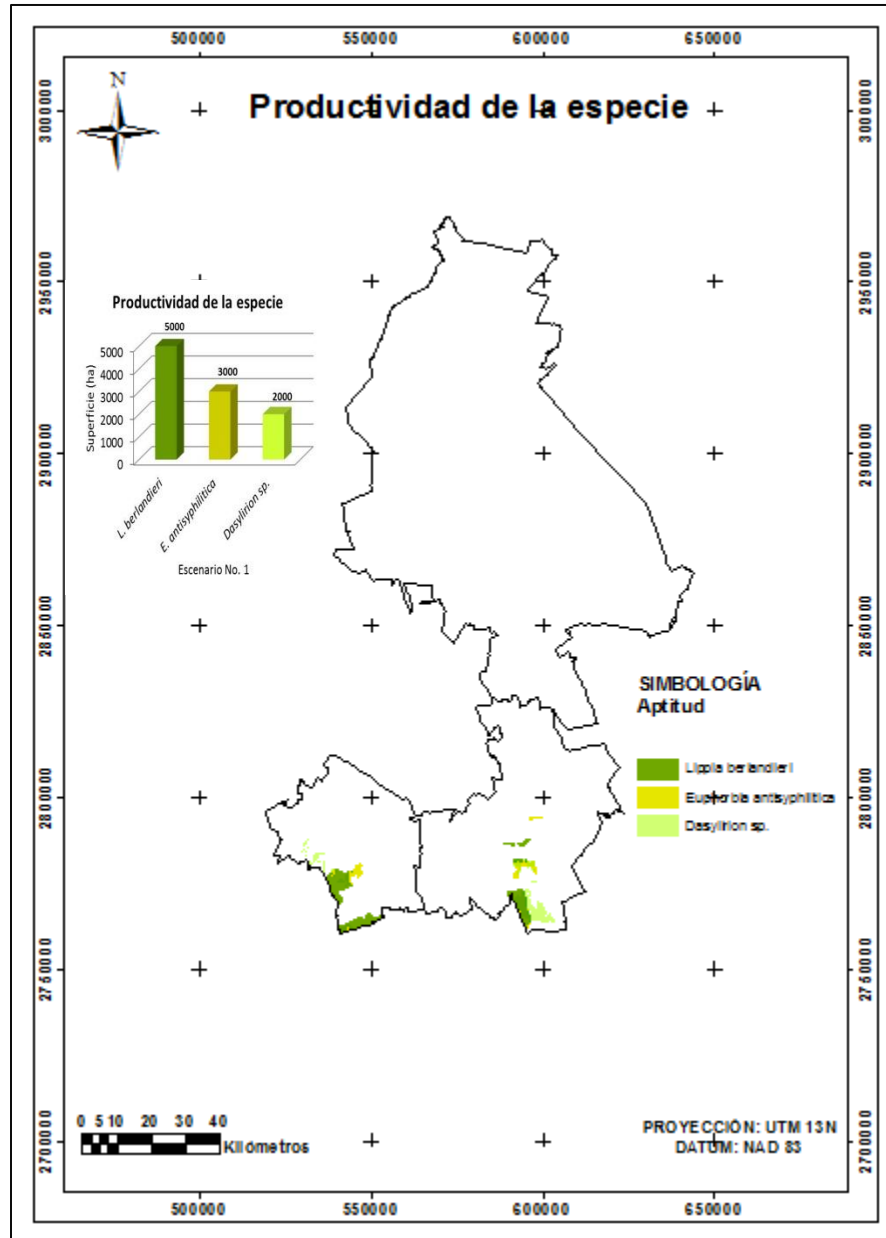


Figura 30. Distribución espacial multiobjetivo para *Lippia berlandieri*, *Euphorbia antisyphilitica* y *Dasyliiron* sp., con el escenario productividad de la especie.

Cuadro 26. Resultados del escenario comercialización de la especie para *Lippia berlandieri*, *Euphorbia antisyphilitica* y *Dasyllirion* sp., con diferentes pesos, superficies y porcentajes.

Espece	Pesos	Superficie (ha)	%
<i>Lippia berlandieri</i>	0.55	4000	40.0
<i>Euphorbia antisyphilitica</i>	0.32	3500	35.0
<i>Dasyllirion</i> sp.	0.13	2500	25.0
Total	1.00	10000	100.0

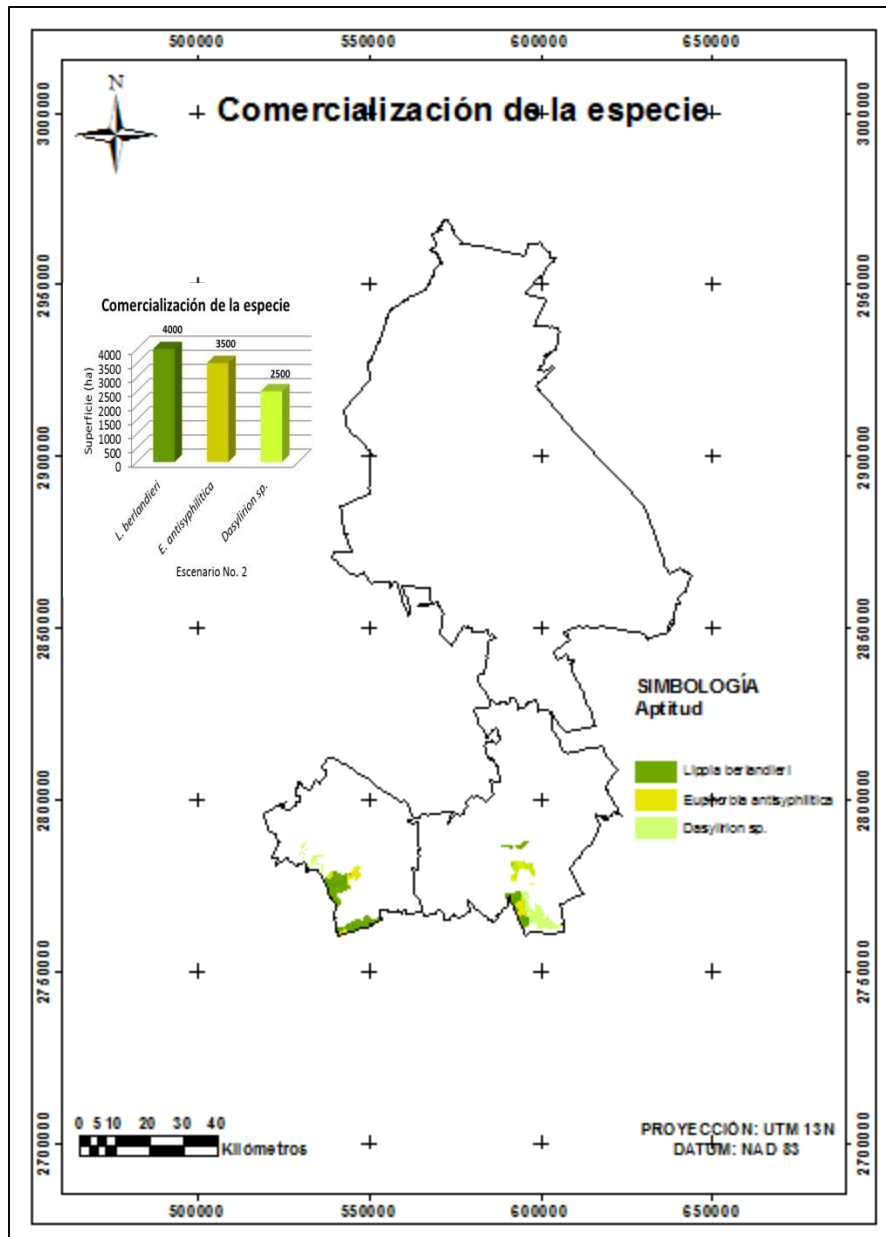


Figura 31. Distribución espacial multiobjetivo para *Lippia berlandieri*, *Euphorbia antisyphilitica* y *Dasyllirion* sp., con el escenario comercialización de la especie.

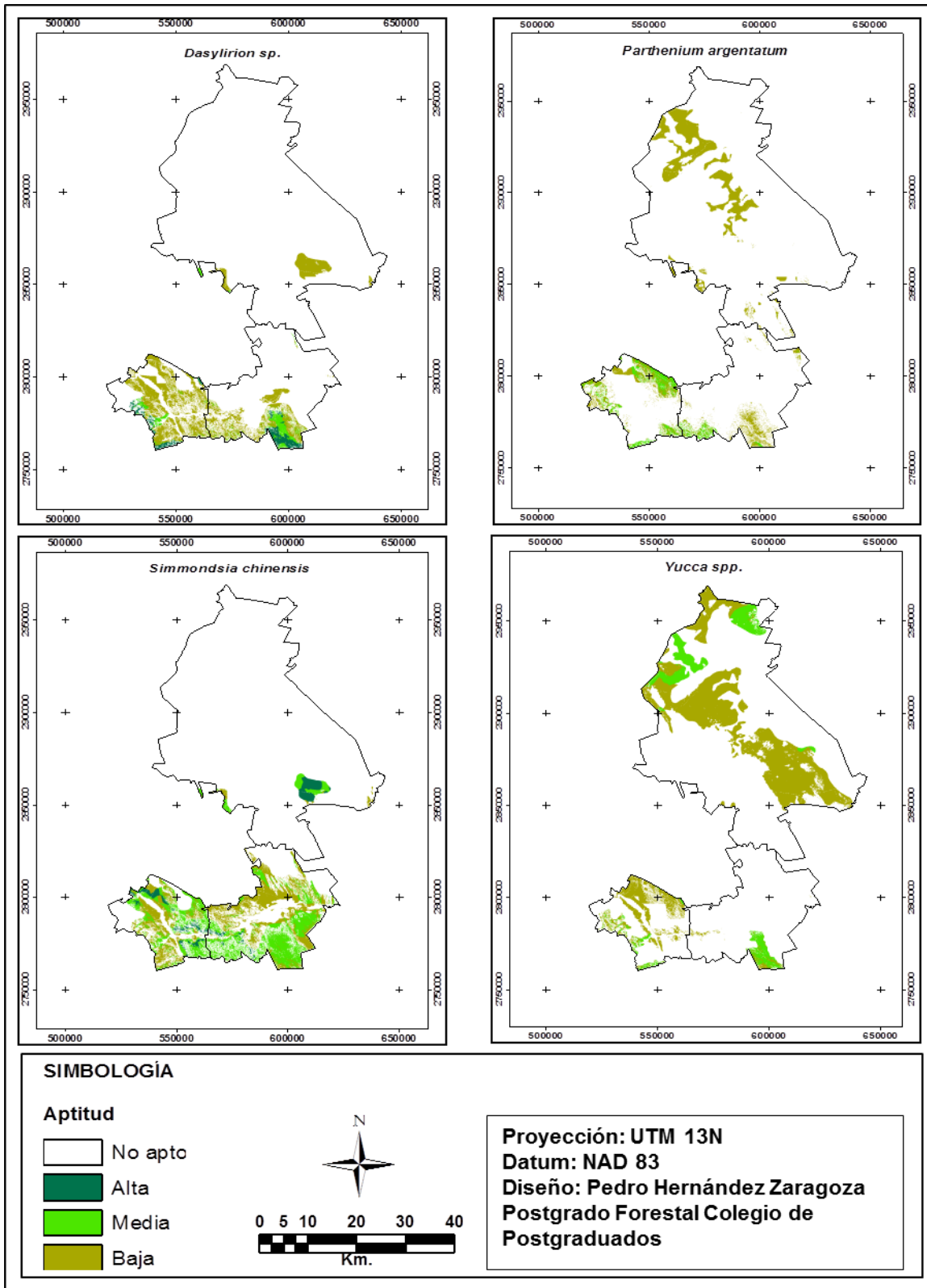


Figura 32. Localización de áreas con aptitud para *Dasyliiron sp.*, *Parthenium argentatum*, *Simmondsia chinensis* y *Yucca spp.*, mediante evaluación espacial multicriterio.

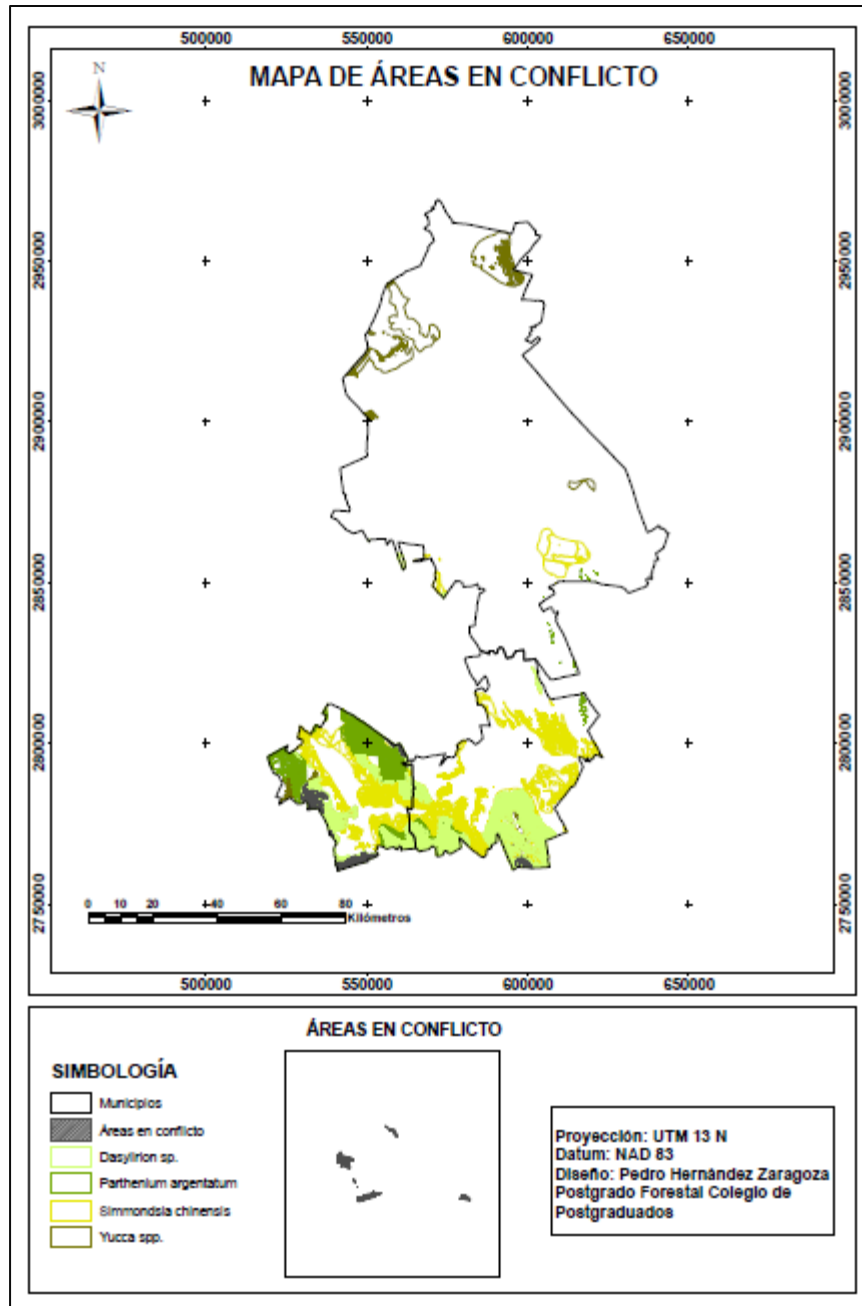


Figura 33. Localización de áreas en conflicto para *Dasyliion* sp., *Parthenium argentatum*, *Simmondsia chinensis* y *Yucca* spp.

Cuadro 27. Resultados del escenario productividad de la especie para *Dasyllirion* sp., *Parthenium argentatum*, *Yucca* spp., y *Simmondsia chinensis* con diferentes pesos, superficies y porcentajes.

Especie	Pesos	Superficie (ha)	%
<i>Dasyllirion</i> sp.	0.50	4000	40.0
<i>Parthenium argentatum</i>	0.20	3000	30.0
<i>Yucca</i> spp.	0.15	1500	15.0
<i>Simmondsia chinensis</i>	0.15	1500	15.0
Total	1.00	10000	100.0

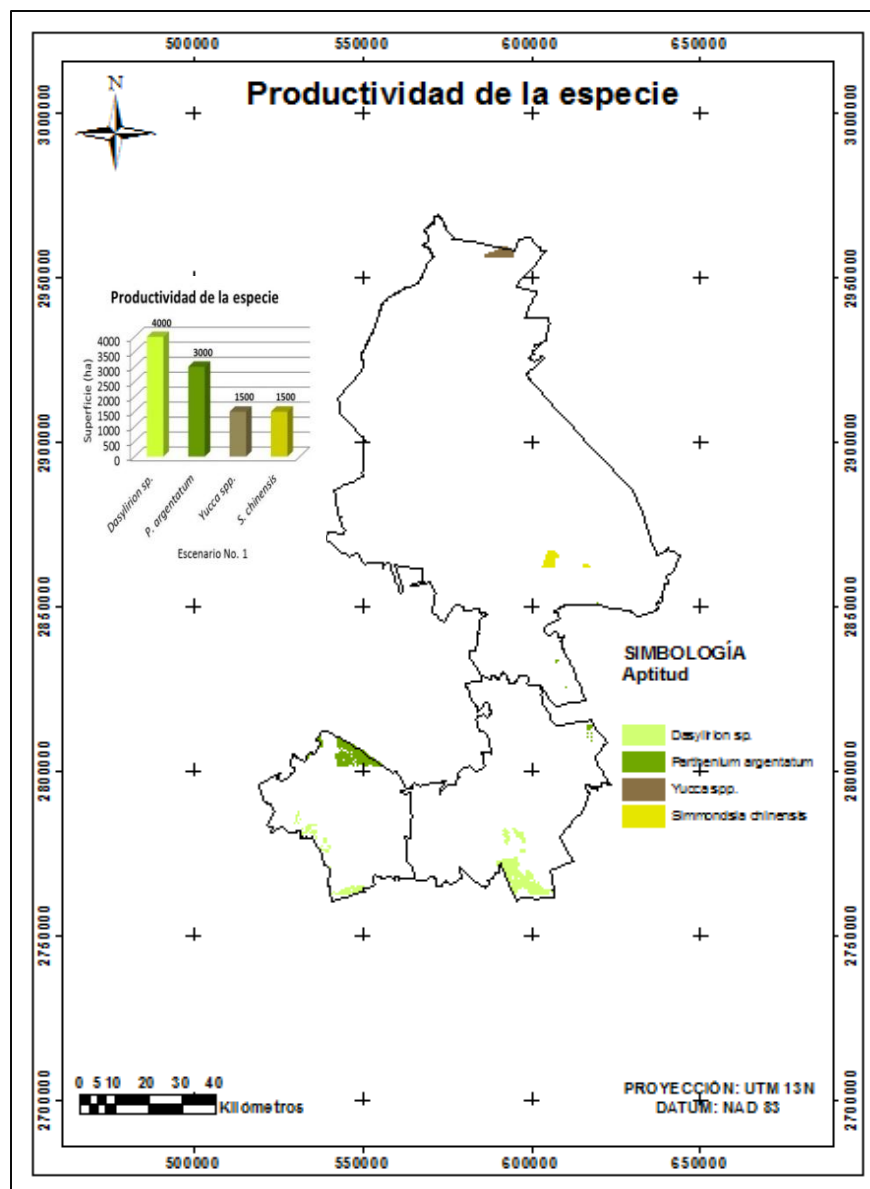


Figura 34. Distribución espacial multiobjetivo para *Dasyllirion* sp., *Parthenium argentatum*, *Yucca* spp., y *Simmondsia chinensis*, con el escenario productividad de la especie.

Cuadro 28. Resultados del escenario comercialización de la especie para *Dasyliirion* sp., *Simmondsia chinensis*, *Parthenium argentatum* y *Yucca* spp., con diferentes pesos, superficies y porcentajes.

Especie	Pesos	Superficie (ha)	%
<i>Dasyliirion</i> sp.	0.40	3500	35.0
<i>Simmondsia chinensis</i>	0.24	3000	30.0
<i>Parthenium argentatum</i>	0.22	2000	20.0
<i>Yucca</i> spp.	0.14	1500	15.0
Total	1.00	10000	100.0

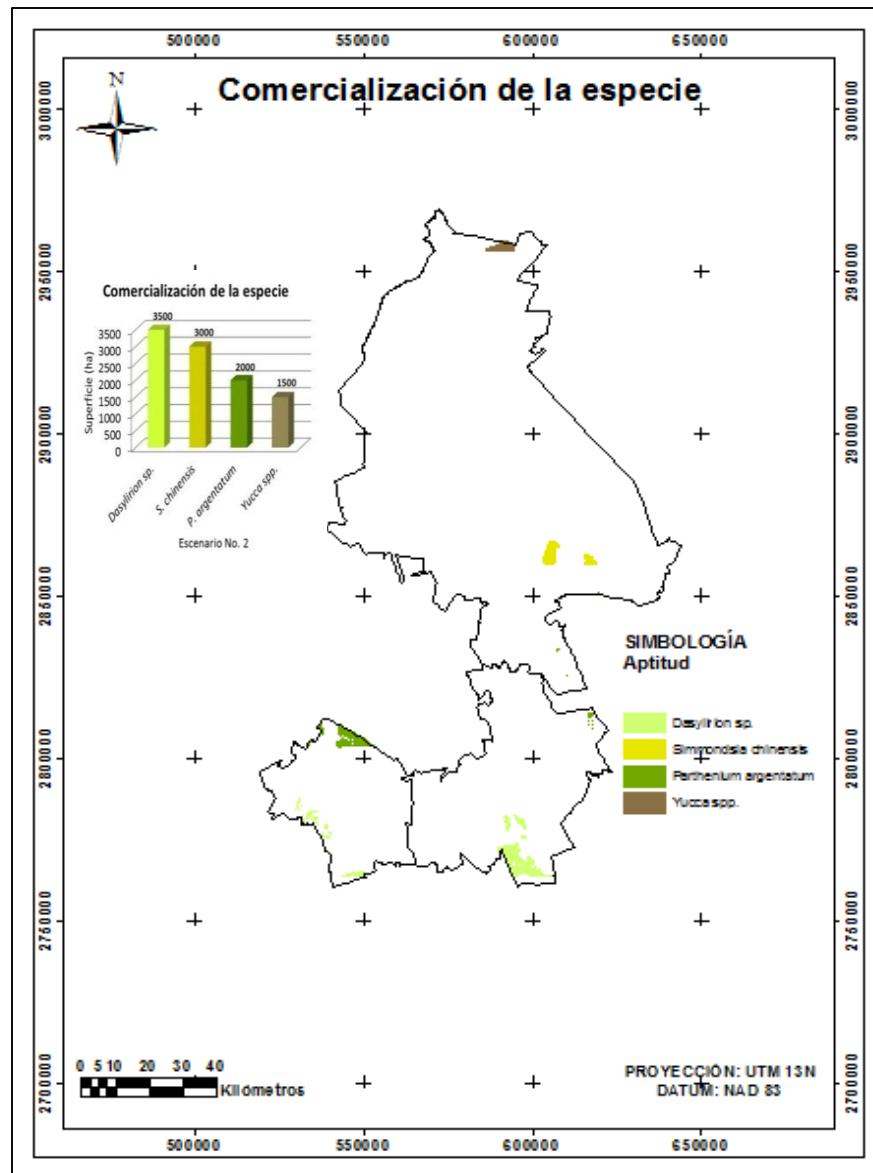


Figura 35. Distribución espacial multiobjetivo para *Dasyliirion* sp., *Simmondsia chinensis*, *Parthenium argentatum* y *Yucca* spp., con el escenario comercialización de la especie.

En el área centro sureste de la región estudiada para las especies de *Pinus*, se observa que mayoritariamente el municipio de Durango posee aptitud para el establecimiento de Pinos; superficies menores revelan aptitud en el municipio de Suchil y solo algunas especies de este género presentan aptitud baja en el municipio de Nombre de Dios (Figura 10).

Las zonas de aptitud alta y media en ambos mapas convergieron en la parte suroeste del área de estudio, así los mapas de aptitud ilustran la naturaleza conflictiva de las demandas de tierras de las especies. La Figura 11 revela las áreas en conflicto de las especies, esto puede ser problemático cuando se trata de distinguir claramente las zonas óptimas para cada especie.

La distribución espacial de las zonas óptimas para cada especie de *Pinus*, con base en el punto ideal multiobjetivo empleando el procedimiento asignación de tierras multiobjetivo (MOLA) se ilustra en las Figuras 12-15. En el escenario 1, asumiendo pesos (importancia) diferentes de acuerdo a la opinión de los expertos para cada especie, y teniendo en cuenta el escenario “extensión del turno de producción”, *P. engelmannii* ocupa el 31.0% de la superficie, seguido por *P. arizonica* 22.5% y *P. durangensis* 16.5% de la tierra disponible para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales. Contrariamente, *P. leiophylla*, *P. chihuahuana* y *P. cembroides* resultaron las especies con menor superficie. Lo anterior se puede apreciar en el consolidado de datos que se presentan en el (Cuadro 15).

En la Figura 13 se muestra la distribución espacial multiobjetivo para el género *Pinus* definido por el escenario “calidad de la madera”, *P. durangensis* y *P. arizonica* son las mejores especies para el establecimiento de plantaciones con el 32.3% y 21.5%, continuando con *P. engelmannii* 15.0%, *P. leiophylla* 13.8% y *P. chihuahuana* 10.0%. Por otra parte, *P. cembroides* fue la especie con menor potencial óptimo con un 7.5%. (Cuadro 16).

En el escenario “supervivencia de la especie”, se encontró que *P. engelmannii*, *P. leiophylla*, *P. arizonica* y *P. cembroides* son las especies que tienen un porcentaje de superficie alta y media, *P. chihuahuana* y *P. durangensis* presentaron un menor potencial óptimo con 10.0% y 9.0% respectivamente (Figura 14). Las superficies ocupadas para las condiciones actuales se presentan en el Cuadro 17.

La distribución espacial óptima para el escenario “Susceptibilidad a plagas y enfermedades” se exhibe en la Figura 15 y en el Cuadro 18. Así se tiene que nuevamente *P. engelmannii* ocupa un alto porcentaje de superficie 31.0%, seguido de *P. leiophylla* y *P. chihuahuana* con 17.5% y *P. durangensis* con 16.5%, Por último, *P. arizonica* y *P. cembroides* 10.0% y 7.5% respectivamente.

Las áreas identificadas para *Acacia farnesiana* (L.) Willd., muestran aptitud media y baja al sur en los límites de los municipios de Nazas y Rodeo, aunque el municipio de Mapimí presenta áreas con aptitud baja. Al noreste del municipio de Durango (aptitud media y baja), al norte del municipio de Nombre de Dios (aptitud baja) y al este del municipio de SÚchil una porción de aptitud baja. Para el caso de *Prosopis laevigata* (Humb & Willd) presentan una distribución de los tres niveles de aptitud para la especie en los municipios de Nazas y Rodeo y aptitud media y baja en Mapimí, Durango y SÚchil, aptitud baja en Nombre de Dios (Figura 16).

La Figura 17 presenta la localización de las áreas en conflicto para *Acacia farnesiana* y *Prosopis laevigata*, se puede observar que existe traslape en la parte noreste en el municipio de Durango y en una menor proporción al sur de los municipios de Rodeo y Nazas del área de estudio.

El resultado del modelo de Asignación de Tierras Multiobjetivo (MOLA) para *Acacia farnesiana* con un 65.0% de la superficie y para *Prosopis laevigata* que obtuvo un 35.0% de adecuación óptima con el escenario “productividad de la especie”, que se muestra en la Figura 18. El Cuadro 19 indica los pesos implementados y las superficies obtenidas en hectáreas y porcentajes. Por su parte, en el escenario “comercialización

de la especie” (Cuadro 20) se tiene un porcentaje de superficie 60.0% para *Acacia farnesiana* y 40.0% *Prosopis laevigata* de acuerdo a la Figura 19.

La parte centro sureste de la región de estudio presenta una distribución de los tres niveles de aptitud para *Agave durangensis* Gentry. y para *Agave lechuguilla* Torr., esta corresponde al municipio de Durango, aptitud media, y aptitud baja en los municipios de Nombre de Dios y SÚchil (Figura 20). Por otro lado, las áreas en conflicto para *Agave durangensis* y *Agave lechuguilla* se muestran en la Figura 21. Se aprecia que los mayores conflictos suceden en el municipio de Nombre de Dios, siendo menor en Durango y SÚchil.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el mapa de distribución espacial multiobjetivo (Figura 22), se tiene un porcentaje de superficie de adecuación óptima para *Agave durangensis* del 56.7% y de 43.3% para *Agave lechuguilla*, con base en el escenario “productividad de la especie”. En el Cuadro 21 se señalan los pesos empleados y las superficies obtenidas en hectáreas y porcentajes para cada una de las especies. No obstante, se pueden ver un incremento para *Agave durangensis* con un 66.7% y una disminución de porcentaje de superficie para *Agave lechuguilla* 33.3% para el escenario “comercialización de la especie” (Figura 23, Cuadro 22).

En la Figura 24 se indica la distribución de las áreas con aptitud para plantar *Agave lechuguilla* Torr., la mayor aptitud se concentra en los municipios de Durango, Nazas y Rodeo, mientras que la aptitud media y baja en los municipios de Mapimí, Nombre de Dios y SÚchil. Para *Agave angustifolia* Haw., áreas con aptitud media y baja se localizan al sur de los municipios de Nazas y Rodeo, áreas con aptitud baja al sureste del municipio de Mapimí.

Al observar y comparar el mapa de áreas en conflicto de *Agave lechuguilla* y *Agave angustifolia* (Figura 25), hay zonas adecuadas para ambas especies, especialmente en la parte noreste del municipio de Durango y al sur de los municipios de Rodeo y Nazas.

En los Cuadros 23 y 24 se señalan los pesos y las superficies en hectáreas y porcentajes de *Agave lechuguilla* y *Agave angustifolia* con un 70.0% y 30.0% respectivamente de acuerdo al escenario de “productividad de la especie” presentado en la Figura 26. Respecto al escenario “comercialización de la especie”, la superficie obtenida en porcentaje para *Agave lechuguilla* reportó 60.0% y 40.0% para *Agave angustifolia* (Figura 27).

En la región noreste del área de estudio se identificaron áreas con aptitud alta, media y baja para el establecimiento de plantaciones de *Lippia berlandieri* Schauer, particularmente, en los municipios de Nazas y Rodeo; y una aptitud media y baja en Mapimí. Mientras que para *Euphorbia antisyphilitica* Zucc., se identificaron los tres niveles de aptitud en los municipios de Nazas y Rodeo, siendo mayor la superficie de aptitud alta para la especie en Rodeo. Por último, la distribución de las áreas identificadas para *Dasyllirion* sp., con los tres niveles de aptitud, se encuentran en los municipios de Nazas y Rodeo, la aptitud media y baja se localiza al suroeste y sureste en el municipio de Mapimí (Figura 28).

El mapa de áreas en conflicto para *Lippia berlandieri*, *Euphorbia antisyphilitica* y *Dasyllirion* sp., se muestra en la Figura 29. Estas especies se sobreponen en la parte suroeste y sureste en los municipios de Rodeo y Nazas. En la Figura 30 se muestra el mapa de distribución espacial multiobjetivo para *Lippia berlandieri* con un 50.0% de superficie, *Euphorbia antisyphilitica* presenta 30.0% y *Dasyllirion* sp. En el Cuadro 25 se presentan las superficies (hectáreas), así como sus respectivos pesos designados. Al considerar el escenario “comercialización de la especie” *Lippia berlandieri* ocupa el 40.0% de la superficie con adecuación óptima (Cuadro 26); el 35.0% y 25.0% corresponden a *Euphorbia antisyphilitica* y *Dasyllirion* sp., respectivamente (Figura 31).

La distribución de las áreas identificadas para *Dasyllirion* sp., con los tres niveles de aptitud se encuentran en los municipios de Nazas y Rodeo, la aptitud media y baja se localiza al suroeste y sureste en el municipio de Mapimí. Para *Parthenium argentatum* Gray, se encontraron niveles de aptitud media y baja en los municipios de Nazas,

Rodeo y Mapimí. Por otra parte, las áreas identificadas para *Simmondsia chinensis* (Link.) S., con aptitud alta, media y baja se encuentra en los tres municipios. Finalmente, la distribución de las áreas con condiciones adecuadas para plantar *Yucca* spp., muestran aptitud media y baja en los tres municipios (Figura 32). En sí, *Dasyllirion* sp. y *Parthenium argentatum* compitieron con *Simmondsia chinensis* y a su vez con *Yucca* spp. (Figura 33). Esta figura revela las áreas en conflicto en la parte norte y suroeste del municipio de Rodeo y en la zona sureste de Nazas.

En la Figura 34 se aprecia la distribución espacial multiobjetivo para *Dasyllirion* sp., con 40.0% de superficie de adecuación óptima, para el caso de *Parthenium argentatum* tuvo 30.0% mientras que *Yucca* spp., y *Simmondsia chinensis* presentaron el 15.0% de superficie para ambas especies (Cuadro 27). Finalmente, en el escenario “comercialización de la especie” (Figura 35), el 35.0% de superficie óptima se asignó nuevamente a *Dasyllirion* sp., en el caso de *Simmondsia chinensis* un 30.0%. La superficie delimitada para *Parthenium argentatum* es del 20.0% y el porcentaje de adecuación óptima para *Yucca* spp., es del 15.0% (Cuadro 28).

Este estudio incluyó el análisis de la distribución espacial óptima de las especies de interés y su posible comportamiento espacial al considerar escenarios de decisión. Los cambios en el área obtenida para cada especie se atribuyen al análisis de los valores de importancia calculados a través de las matrices de Comparación Pareada. Así se tiene que cuanto mayor es la ponderación de cada especie, es más grande el área adecuada definida en cada mapa de distribución espacial multiobjetivo.

VI. DISCUSIÓN

Este estudio incluyó el análisis de la distribución espacial óptima de las especies de interés y su posible comportamiento espacial al considerar escenarios de decisión en 6 municipios en el estado de Durango, México. Entre los principales resultados destacan; 1) el grado de aptitud de la tierra para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales de las especies, 2) localización de áreas en conflicto y 3) la distribución espacial óptima para cada especie, considerando los escenarios de decisión. Las dependencias de gobierno, particularmente las del estado de Durango pueden utilizar esta información para enfocar sus propuestas y llevar a cabo nuevas plantaciones forestales comerciales en la región.

El tamaño de la zona de estudio por lo general determina la disponibilidad de información para construir la base de datos. Esta investigación analizó dos grandes áreas la parte noreste con 11,394 km² y la parte centro sureste con una superficie de 12,342 km², fueron evidentes las complicaciones para obtener la información cartográfica de escala adecuada, a pesar de que gran parte de la información utilizada se obtuvo de las bases de datos de la CONABIO, misma que fue generada a escala pequeña (generalizada), los resultados del estudio consideran información de gran valor como apoyo a los procesos de la toma de decisiones multicriterio y multiobjetivo.

Las técnicas cartográficas AHP-WLC, requieren de la incorporación de juicios de valor (opinión de los expertos) para ponderar los criterios y subcriterios. Además, incluyen en el análisis áreas con valores considerados con cierto grado de aptitud para las especies y permiten hacer la clasificación en rangos determinados por el tomador de decisiones, para así obtener distintos niveles de aptitud. Para los expertos en el campo de las plantaciones forestales, el criterio más importante fue el clima con valores de los pesos ponderados de 0.54, seguido por el suelo 0.35 y finalmente la topografía 0.11. Los subcriterios temperatura mínima y precipitación se consideraron de especial importancia en el proceso, debido a que si no se cumple con alguno de ellos podría repercutir drásticamente en el establecimiento de las especies, para ello, la superficie

que registra rangos de temperatura mínima considerada como no aceptable o por debajo de los requerimientos ecológicos de las especies fueron discriminadas del análisis.

A pesar de lo frecuente que resulta encontrar conflicto de uso en el terreno en un área determinada (realizar dos o más actividades no complementarias en una zona), durante la planeación del manejo de recursos forestales, particularmente en el establecimiento de plantaciones forestales, los reportes en la literatura científica referentes a evaluaciones multiobjetivo (MOLA) en el sector forestal de México son en extremo escasos por lo que se dificulta realizar un análisis comparativo de la técnica utilizada. A diferencia del único trabajo en el tema reportado por Pineda-Jaimes *et al.* (2012), en el que combinan las técnicas AHP, WLC y MOLA para localizar zonas de adecuación óptima para plantaciones forestales entre tres objetivos a) comerciales, b) restauración y protección y c) agroforestales igualmente ponderados en el estado de México. Un aspecto innovador en nuestra investigación es el uso de una segunda aplicación de encuestas para generar varias matrices de comparación por pares para varias preferencias, obteniéndose nuevos pesos para priorizar a las especies y finalmente obtener los diferentes mapas de distribución espacial óptima, implementando varios escenarios de decisión. Cabe resaltar que los escenarios de decisión se construyeron a partir de comparaciones pareadas con el procedimiento de análisis jerárquico de Saaty (1980), ampliamente utilizado en evaluación multicriterio y multiobjetivo.

Contrariamente, estudios basados en evaluación multicriterio Booleana o de mayor complejidad (AHP, lógica fuzzy, etc.) para definir aptitud de tierras forestales abundan en la literatura científica (Bustillos, 2006; Olivas-Gallegos *et al.*, 2007; Delgado-Caballero *et al.*, 2010; Mashayekhan y Salman, 2010; Martínez y Prieto, 2011; Muñoz-Flores *et al.*, 2011). Al respecto, varios autores reconocen las ventajas de trabajar con técnicas como AHP sobre otras de mayor tradición como álgebra booleana. Por ejemplo, Bustillos (2006) comparo las técnicas de evaluación espacial multicriterio AHP junto con la combinación lineal ponderada (WLC) y álgebra booleana, para determinar las áreas con aptitud para establecer plantaciones forestales comerciales con 10

especies de árboles. Sus resultados indican que la técnica AHP-WLC identifica áreas más extensas que el álgebra booleana, esta última técnica es más restrictiva en la identificación de áreas aptas al considerar solo dos valores; aptos y no aptos. Asimismo, Delgado-Caballero *et al.* (2010) compararon los enfoques difusos y booleano para el mapeo de aptitud de la tierra para dos especies de *Eucalyptus* spp. Cuando se utiliza el método booleano, el área adecuada identificada se redujo en un 75.6% para la especie *E. urophylla* y 97.5% para la especie *E. grandis* en comparación con el área identificada como adecuada por el método difuso. Sus hallazgos revelan una pérdida considerable de información a través del enfoque booleano. Burrough *et al.* (1992) y Joss *et al.* (2008) señalan que al usar álgebra booleana para el análisis de aptitud de la tierra hay una pérdida notable de información.

Una justificación de la utilización de AHP y WLC en este estudio fue la necesidad de generar mapas de aptitud de tierras para cada especie, que posteriormente fueron utilizados como insumos en forma de modelos (capas) en el enfoque MOLA para crear diferentes escenarios de decisión. Otro resultado importante en el establecimiento de plantaciones forestales comerciales fue la identificación de áreas en conflicto, que fueron utilizadas como un análisis preliminar para la generación y aplicación a nuevas encuestas para priorizar las especies en conflicto.

Este estudio se considera como base para la toma de decisiones. Aunque parte de la información utilizada fue muy general en cuanto a su escala, se cumple con las expectativas propuestas, puesto que las técnicas utilizadas se implementaron como parte de la evaluación espacial multicriterio y multiobjetivo, es decir, se consideraron aspectos climáticos, edafológicos y fisiográficos de la región de estudio, así como la implementación de diferentes escenarios de decisión para priorizar las especies y además las opiniones de expertos en el establecimiento de plantaciones forestales comerciales. Por lo tanto, este tipo de análisis debe llevarse a cabo antes de invertir en el establecimiento de plantaciones para minimizar el riesgo de fracaso.

VII. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

La combinación de técnicas de evaluación multicriterio (AHP, WLC) y multiobjetivo (MOLA), implementadas en un marco de sistemas de información geográfica, permitieron localizar geográficamente (mapear) áreas aptas para plantar especies de interés y resolver óptimamente conflictos espaciales de aptitud entre especies que compiten por los terrenos disponibles. Por lo anterior, estas técnicas se consideran adecuadas para identificar áreas óptimas para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales. No obstante, varios aspectos deben ser considerados para decidir de manera definitiva el establecimiento de plantaciones con las especies de interés; entre otros, conocer la disponibilidad de germoplasma y/o planta en los viveros locales, así como la realización de estudios de procedencias y progenie de las especies. En este estudio solo se tomaron en cuenta los requerimientos edafoclimáticos de las especies para definir la aptitud de los terrenos, por lo que se recomienda realizar estudios de factibilidad que incorporen aspectos económicos y sociales antes de tomar decisiones definitivas referentes al establecimiento de plantaciones forestales comerciales. Es importante resaltar que los resultados del análisis no han sido validados. Si bien para su generación se utilizaron técnicas de evaluación espacial multicriterio y multiobjetivo sofisticadas, es importante que se verifiquen en campo antes de tomar decisiones definitivas referentes a la planeación y aplicación de los apoyos en el fomento y establecimiento de plantaciones forestales en el estado de Durango.

VIII. LITERATURA CITADA

- Aguilar-Manjarrez, J. and Ross, L.G. 1995. Geographical information system (GIS) environmental models for aquaculture development in Sinaloa State, Mexico. *Aquaculture International*, 3:103-115.
- Bandyopadhyay, S.; R. K. Jaiswal; V. S. Hegde and V. Jayaraman. 2009. Assessment of land suitability potentials for agriculture using a remote sensing and GIS based approach. *International Journal of Remote Sensing*, 30(4): 879-895.
- Bárceñas A., P. 2002. Determinación de zonas potenciales para el establecimiento de plantaciones de pitahaya (*Hylocereus* spp.). Tesis de Doctorado. Programa de Hidrociencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 144 p.
- Barredo C., J. I. 1996. Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación de territorio. Ed. RA-MA. Madrid, España. 258 p.
- Bonilla B., R. y F. Carrillo A. 1984. Desarrollo histórico, situación actual y perspectiva del establecimiento de plantaciones. *In: Memoria de la Tercera Reunión Nacional sobre Plantaciones Forestales*. SARH-INIF. Pub. Esp. Núm. 48. pp: 531-560.
- Burrough, P. A. and R. A. McDonell. 1998. *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press. United States of America. 333 p.
- Burrough, P. A., R. A. MacMillan, and W. Van Deursen. 1992. Fuzzy classification methods for determining land suitability from soil profile observations and topography. *J. Soil Sci.* 43:193-210.

- Bustillos H., J. A. 2006. Aptitud de áreas para el establecimiento de plantaciones forestales en Sinaloa. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. 109 p.
- Carver, S. J. 1991. Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems. *International Journal of Geographical Information Systems* 5(3): 321-339.
- Ceballos S., A. and J. López B. 2003. Evaluating biophysical variables to identify suitable areas for oat in Central Mexico: A multi-criteria and GIS approach. *Agriculture, Ecosystems and Environments* 95:371-377.
- Clark Labs. 2012. IDRISI version 17.0 Selva. Geographic Analysis and Image Processing Software. Worcester, MA. USA.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2013. Programa de Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales: A 15 años de su creación. Aurelio M. Fierros González, compilador y editor técnico. SEMARNAT-CONAFOR 151 p.
- CONAFOR-CP. 2011. Situación actual y perspectivas de las plantaciones forestales comerciales en México. Comisión Nacional Forestal. 448 p.
- Delgado-Caballero, C. E., J. R. Valdez-Lazalde, A. M. Fierros-González, H. M. de los Santos-Posadas y A. Gómez-Guerrero. 2010. Aptitud de áreas para plantaciones de Eucalipto en Oaxaca y Veracruz: Proceso de análisis jerarquizado vs. Álgebra booleana. *Rev. Méx. Cien. For.* 1: 123-133.
- Díaz F., J. 2007. Localización de zonas potenciales para el desarrollo de seis especies forestales en el estado de Tlaxcala. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Edo. de México. 87 p.

- Eastman, J. R. 2001. *Guide to GIS and Image Processing*. Volumen 2. Capítulo 1. Decision Support: Decision Strategy Analysis. Clark University, Worcester, EUA, pp. 1-40.
- Eastman, J. R. 2012. IDRISI Selva. Guía para SIG y Procesamiento de Imágenes. Manual Versión 17. Clark Worcester, MA. 322 p.
- Eastman, J. R., Jin, W., Kyem, P. A. K. and Toledano, J. 1995. Raster procedures for multi-criteria/multi-objective decisions. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 61(5): 539-547.
- Elineema, R. R. 2002. Análisis del método AHP para la toma de decisiones multicriterio. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 96 p.
- Escárpita H., J. 1975. Programa de fabricación de Papel Tuxtepec, S.A. en materia de plantaciones forestales comerciales. *México y sus Bosques* 14 (4):7-12.
- Escárpita H., J. 1984. Plantaciones comerciales de la Sabana: Estudio de un caso. *In: Comisión Forestal de América del Norte. XIV Reunión del Grupo de Mejoramiento Forestal. Ciclo de conferencias (Monografías)*. Editor: Eguiluz P., T. Chapingo, México. pp: 157-170.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute). 2010. ArcGIS Professional Gis for desktop, version 10.0.
- FAO. 1994. Directrices sobre la planificación del aprovechamiento de la tierra. Roma, Italia. 96 p.

- FAO. 2000. Perspectivas mundiales del suministro futuro de madera procedente de plantaciones forestales. Dirección de políticas y planificación forestales. Roma, Italia. 151 p.
- FAO. 2010. Evaluación de los recursos forestales mundiales. Departamento Forestal. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Viale delle Terme di Caracalla. 00153 Roma, Italia. 346 p.
- Fierros G., A. 1983. Reforestación en sabanas tropicales. Boletín Técnico No. 14. Departamento de Bosques, UACH. México.
- Fierros G., A. M. 1978. Ensayos de introducción del género *Eucalyptus* en algunas regiones de México. Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México. 280 p.
- Fierros G., A. M., A. Noguez H. y E. Velasco B. 1999. Paquetes tecnológicos para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales en ecosistemas de climas templados-fríos y tropicales de México. SEMARNAP. México, D.F. Vol. 1: 67 p.
- Forman, E. H. and M. A. Selly. 2001. *Decision by Objectives – How to Convince Others that You are Right*. World Scientific Press.
- Gómez D., M., y J. Barredo. 2005. Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la Ordenación del Territorio. 2a ed. Editorial Ra-Ma. Madrid, España. 279 p.
- González J., B. 2006. Caracterización del sitio de plantación, en el ejido Acahuizotla, municipio de Chilpancingo, Guerrero. Tesis de licenciatura. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 92 p.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2005. Sistema de Descarga de Continuo de Elevaciones Mexicano. <http://www.inegi.gob.mx> Accesada en octubre del 2005.

Jankowski, P. (1995). Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making methods. *International Journal of Geographical Information Systems*, 9 (3), 251-273.

Johnston, C. A. 1998. Geographic Information Systems in Ecology. Methods in Ecology. First Edition. Blackwell Science Ltd. Malden, USA.

Joss, B.N., Hall, R.J., Sidders, D.M., and Keddy, T.J. 2008. Fuzzy-logic modeling of land suitability for hybrid poplar across the Prairie Provinces of Canada. *Environmental Monitoring and Assessment* 141(1-3): 79-96.

Kanninen, M. 2010. Plantation forest: global perspectives. *In*: Bauhus J., P.J. van der Meer and M. Kanninen (eds.). Ecosystem goods and service from plantation forests. Earthscan. T. J. International. United Kingdom. pp: 1-15.

Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión Secretaría General de Servicios Parlamentarios. Centro de Documentación, Información y Análisis. Última Reforma DOF 07-06-2013.

López-Lechuga, J.A. 2012. Materia legislativa en el sector del estado de Chihuahua. Consultado en: <http://es.scribd.com/doc/55841900/Problemas-en-la-legislacion-forestal-del-Estado-de-Chihuahua>. (20 de diciembre de 2012).

Maguire, D., Goodchild, M. and Rhind, D. 1991. Geographical Information Systems, Essex, Longman Scientific and Technical.

- Malczewski, J. 1999. GIS and multicriteria decision analysis. John Wiley and Sons, Inc. Ontario, Canada. 392 p.
- Malczewski, J. 2004. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progress in Planning* 62:3-65.
- Markland, R. E., and J. R. Sweigart. 1987. Quantitative methods: applications to managerial decision making. John Wiley & Sons, Inc. New York. USA.
- Martínez S., M. y J. A. Prieto R. 2011. Determinación de áreas potenciales para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales en la Región Norte de México. Folleto Técnico No. 47. Campo Experimental Valle del Guadiana. INIFAP. Durango, Dgo. 35 p.
- Mashayekhan A., A. and A. Salman M. 2010. *A Fuzzy Multi-Criteria Assessment of Land Suitability for Land Plantation with Eucalyptus grandis*. *Journal of Applied Biological Sciences* 4(3):47-53.
- Muñoz F., H. J.; Prieto R., J. A.; Rueda S., A.; Alarcón B., M. 2011. Evaluación de plantaciones forestales en la Sierra Madre Occidental. Libro Técnico No. 5. Campo Experimental Valle del Guadiana. INIFAP. Durango, Dgo. 208 p.
- Muñoz-Flores, H. J., J. T. Sáenz-Reyes, J. J. García-Sánchez, E. Hernández-Máximo y J. Anguiano-Contreras. 2011. Áreas potenciales para establecer plantaciones forestales comerciales de *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *Pinus greggii* Engelm. en Michoacán. *Rev. Méx. Cien. For.* 2: 29-44.
- Olivas G., U. E. 2006. Aptitud de áreas para el establecimiento de plantaciones forestales en el estado de Durango. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. Méx. 166 p.

Olivas-Gallegos, U. E., J. R. Valdez-Lazalde, A. Aldrete, M. de J. González-Guillén y G. Vera-Castillo. 2007. Áreas con aptitud para establecer plantaciones de maguey cenizo: definición mediante análisis multicriterio y SIG. *Fitotecnia Mexicana* 39(4): 411-419.

Pineda-Jaimes, N. B., Bosque Sendra, J., Gómez Delgado, M., Franco Plata R., Antonio Némiga X., and Manzano Solís L. R. 2012. Determination of optimal zones for forest plantations in the State of Mexico using multi-criteria spatial analysis and GIS, *Journal of Geographic Information System*, Vol. 4 No. 3, pp. 204-218. doi: 10.4236/jgis.2012.43025.

Prakash, T. N. 2003. Land suitability analysis for agricultural crops: A fuzzy multicriteria decision making approach. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation. Enschede, The Netherlands. 57 p.

Romero, C., and T. Rehman. 1989. Multicriteria analysis for agricultural decisions. *Development in Agricultural Economics*, 5. Elsevier Science Publishers B.V. New York. USA.

Saaty, T. L. 1980. *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill. USA. 269 p.

Santé R., I. y R. Crecente M. 2005. Evaluación de métodos para la obtención de mapas continuos de aptitud para usos agroforestales. *Geo-Focus* 5: 40-68.

SEMARNAT. 2002. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana escala 1: 250,000. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales – Colegio de Postgraduados. Memoria Nacional. 68 p.

SEMARNAT. 2011a. Producción de plantas para reforestación (1993-2009). Consultado en:

http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/estadisticas/compendio2010/archivos/01_rforestales/d3_Rforesta09_05.pdf (13 de septiembre de 2012).

SEMARNAT. 2011b. Superficie reforestada (1993-2009). Consultado en: http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/estadisticas/compendio2010/archivos/01_rforestales/d3_Rforesta09_06.pdf. (13 de septiembre de 2012).

Sher, A. and I. Amir. 1994. Optimization with fuzzy constrains in agricultural production planning. *Agricultural Systems* 45: 421-441.

Sosa C., V. y A. M. Fierros G. 2001. Introducción a las plantaciones forestales comerciales. In: Sosa C. V. y Fierros G. A. M., Coords. Manual del curso de especialización en plantaciones forestales comerciales. CONAFOR. México, D.F. pp. 1-45.

Taha, H.A. 1995. *Investigación de Operaciones*. Quinta edición. Alfa Omega Grupo Editor. México. D.F.

Thierauf, R.J. 1978. *An introductory approach to operations research*. Inc. A Wiley Hamilton series in management and administration. John Wiley & Sons, N.Y. USA.

Toskano H., G. B. 2005. El proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores. Facultad de Ciencias Matemáticas. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.

Trewatha, R. L., and Newport., M. G. 1979. *Management. Functions and Behavior*. Business Publications, Inc. Dallas, Texas, U.S.A.

Valdez L., J. R., A. Aldrete y J. López U. 2003. Identificación de áreas susceptibles y especies forestales para el establecimiento de plantaciones maderables y no maderables. Fichas técnicas. CONAFOR - CP. Reporte Técnico. 178 p.

Valenzuela R., J. F., O. H. Velasco G. y M. A. Marcos L. 2003. Desarrollo sustentable de agave mezcalero en Durango. CIIDIR – CBTA No. 171. Nombre de Dios, Durango. 188 p.

Vázquez R., E. 1990. Análisis y diagnóstico de la reforestación en el estado de Durango. Periodo 1982-1988. Seminario de titulación para obtener el título de Ing. Agrónomo especialista en Bosques. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México, 46 p.

Volke H., V. 1988. Generación de tecnología agrícola bajo condiciones de riesgo. Serie de Cuadernos de Edafología 12. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

IX. ANEXOS

ANEXO 1

Descripción de las especies de interés (Tomado de Valdez *et al.*, 2003).

***Pinus durangensis* Ehren.**

Nombre común: Pino blanco (Nayarit), Pino real de seis hojas (Durango).

Distribución en México: Se distribuye al noreste de la Sierra Madre Occidental entre Chihuahua, Sonora, Durango y el este de Sinaloa. Entre los 19° 35' a los 30° 15' de latitud norte y de los 102° 00' a los 108° 20' de longitud oeste. Su formación natural ocurre desde los 2,200 hasta los 2,800 msnm. Puede habitar sitios de topografía variable, desde terrenos planos hasta aquellos muy accidentados.

Asociación vegetal: Esta especie crece en diferentes asociaciones vegetales. En bosque de encino frecuenta sitios con alturas entre 2400-2550 msnm. En bosques de pino suele formar masas puras o crece asociado con otras especies como *Pinus arizonica*, *P. leiophylla*, *P. teocote*, *P. cooperi* y *P. engelmannii* usualmente se localiza entre los 1,600 a 3,200 msnm. En bosques de pino-encino vegeta en lugares con suelos más pobres en alturas que oscilan entre 1,400 a 2,500 msnm.

Suelos: Regosoles y leptosoles, que son sílicos-humíferos, con profundidad de hasta de 2 m., textura es franca, limo-arcillosa, con pedregosidad baja y buen drenaje. El color es de café a café rojizo con materia orgánica de moderada a alta (5 a 10%).

Clima: Clima templado-frío, temperatura media anual de 13°C, máxima de 40°C y mínima de -19°C., y precipitación de 600 a 1600 mm anuales.

***Agave durangensis* Gentry**

Nombre común: Maguey cenizo.

Distribución en México: En los estados de Durango, Zacatecas, Oaxaca, San Luis Potosí, Jalisco, Guanajuato, Michoacán y Tamaulipas. Se distribuye en un rango altitudinal desde los 1500 hasta 3000 msnm.

Asociación vegetal: Se encuentra asociado con matorral crausicaule y subinerme, matorral espinoso, nopalera y pastizal natural.

Suelos: El cultivo se desarrolla en suelos calcáreos, líticos éutricos, y xerosoles en faldas de los cerros, en terrenos planos no prospera debido a la retención de agua ocasionando pudrición del sistema radical. Requiere poca profundidad es decir, de 25 a 50 cm.

Clima: Temperatura media anual de 16.1°C, máxima de 37.8°C y mínima de -6°C. La precipitación varía entre los 400 y 600 mm anuales.

***Pinus arizonica* Engelm.**

Nombre común: Pino blanco, Pino real o Pino de Arizona.

Distribución en México: Habita en la porción norte del país en la Sierra Madre Occidental, desde Durango hasta Chihuahua y Sonora, es común en las cercanías de Bocoyna y El Largo, en el estado de Chihuahua. Se le encuentra en un rango altitudinal de 1,600 a 2,900 msnm, pero se encuentra con mayor frecuencia entre los 2,100 a 2,400 msnm.

Asociación vegetal: En el bosque templado de coníferas, cuando no forma masas puras está asociado con *Pinus durangensis*, *P. leiophylla*, y *P. chihuahuana*, así como también con varias especies del género *Quercus* spp.

Suelos: Habita suelos de color café grisáceos, amarillos y rojizos, de profundidad moderada, de textura migajón-arenosa, pedregosos y de buen drenaje, con pH medianamente ácido 5.5 a 6.5, con un nivel medio de materia orgánica y de fertilidad media a baja. Los suelos presentan capas de humus de 5-15 cm.

Clima: Ambiente semiárido de clima templado frío Cw con temperatura media anual de 16°C, máxima de 38°C y mínimas de hasta -13°C, la precipitación promedio es de 500 a 900 mm anuales.

***Pinus engelmannii* Carr.**

Nombre común: Pino real, Pino apache, Pino arizona.

Distribución en México: En los estados de Chihuahua, Sonora, Sinaloa, Durango y Zacatecas, desde 1,600 hasta 2,500 msnm.

Asociación vegetal: Se encuentra en masas puras, sin embargo, cuando se mezcla lo hace con *Pinus arizonica*, *P. duranguensis*, *P. leiophylla*, *P. chihuahuana*, *P. cooperi* y *P. teocote* además, también prospera en asociación con *Quercus arizonica*, *Q. rugosa*, y *Q. durifolia*, asociado con *P. ayacahuite* var. *brachyptera*, *P. reflexa* y *P. lumholtzii*.

Suelos: Regosoles y leptosoles, de textura areno arcillosa, migajón limosa y arcillosa, son pobres de color café rojizos, con pH de 5 a 6.8, presentan una capa de humus de 10 a 40 cm ricos en Fósforo pero más o menos ricos en Calcio, Potasio y Nitrógeno.

Clima: Templado semiseco, la temperatura media es de 14°C, con presencia de temperaturas extremas máximas superiores a 42°C, mientras que las mínimas son hasta de -23°C. La precipitación es muy variable desde 500 a 1,400 mm, encontrándose los mejores individuos en sitios con precipitación de 600 a 900 mm por año.

***Pinus cembroides* Zucc.**

Nombre común: Bischicuri, Pino piñon, piñon, piñon prieto y piñonero.

Distribución en México: Forma masas puras en la Sierra Madre Occidental al norte del Trópico de cáncer en mayor población en Chihuahua, Durango, Nuevo León, Coahuila, Hidalgo y Zacatecas y al sur del trópico donde la variación de la temperatura es menor de 10°C en Aguascalientes, D.F., Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, México, Puebla, Querétaro, San Luís Potosí y Veracruz. Se distribuye en un rango de 1350 a 3700 msnm aunque por encima de los 2700 m es poco frecuente.

Asociación vegetal: Desarrolla dentro del ecosistema de bosque de coníferas y de bosque de encino-pino. Habita en laderas de cerros y lomeríos, pendientes secas y rocosas, o al pie de las montañas. En el noreste de Zacatecas crece en terrenos abruptos en las partes más altas de las sierras, en laderas y cañadas.

Suelos: Se clasifican como Leptosol, Regosol, Rendzina, Feozem y Xerosol, de someros a profundos, textura de areno-arcillosa a migajón-arenosa, de color grisáceo o negro, blanco, gris, amarillo - rojizo, café rojizo o rojo. El pH varía de 6 a 8.

Clima: Temperatura media de 18°C, mínimas de -10°C y máximas de 42°C y la precipitación entre 400 y 800 mm. Es una especie de alto potencial adaptativo, resistente a heladas, sequías y temperaturas elevadas. En los sitios donde crece la especie la humedad es baja y media en las laderas y buena en los valles.

***Pinus leiophylla* Schl. et Cham.**

Nombre común: Pino u ocote chino.

Distribución en México: Se encuentra en Chihuahua, Durango, Zacatecas, Jalisco, Sinaloa, Nayarit, Colima, Michoacán, México, Tlaxcala, Puebla, Morelos, Veracruz y Oaxaca. El rango altitudinal varía entre 1,600 y 2,800 msnm. Pero más frecuentemente de 2,200 a 2,750 msnm. En la zona norte del país el rango de distribución altitudinal varía entre 2,500 y 2,800 msnm.

Asociación vegetal: Crece asociado con otros pinos y encinos; rara vez forma masas puras y es más frecuente en lugares abiertos de baja calidad de sitio; ocupa laderas con exposiciones secas o húmedas.

Suelos: Regosoles, leptosoles y luvisoles, con profundidad de hasta 30 cm, con textura migajón-arenosa, pedregosidad baja y buen drenaje. El color es café a café claro, con pH de 5.5 a 6.5, esta especie se desarrolla en suelos de origen calizo o volcánico.

Clima: La temperatura media varía de 14 a 18°C, mínima de -15°C y máxima de 38°C. La precipitación media anual de 700 a 1,500 mm.

***Pinus greggii* Engelm. var. *greggii*.**

Nombre común: Pino garabato o Pino garabatillo (Coahuila).

Distribución en México: Habita en la parte noreste de la Sierra Madre Oriental, en los estados de Coahuila, Nuevo León y San Luis Potosí. Se localiza en forma natural en altitudes entre los 2,300 y los 2,800 msnm.

Asociación vegetal: En los bosques de coníferas y bosques de pino-encino, se asocia con *Pinus cembroides*, *P. arizonica*, *Pseudotsuga* spp., y *Juniperus* sp., se asocia también con *Quercus microphylla*.

Suelos: Son de origen calcáreos y material consolidado y no consolidado, de someros a profundos, entre 40 a 45 cm, con textura areno-arcillosa y arcillosa-limosa y en sus poblaciones varían de pedregosos a muy pedregosos, pero el drenaje es bueno. En general el suelo es ligeramente alcalino entre 6.7 y 7.7.

Clima: Templado semi-seco, temperatura media de 13°C, mínima de hasta -9°C y máxima de hasta 42°C. La precipitación media es de 680 mm. Esta especie crece en sitios secos y también donde las heladas son frecuentes entre diciembre y febrero.

***Pinus chihuahuana* Engelm.**

Nombre común: Pino chino, Pino prieto, saguaco y sawaka (Tarahumara).

Distribución en México: En los estados de Chihuahua, Durango y Jalisco, en bosque de pino entre los 1600 y 2500 m y en bosque de pino - encino entre los 2000 y 2750 msnm.

Asociación vegetal: Se asocia a *Pinus durangensis*, *P. leiophylla*, *P. cembroides* y *P. arizonica*. Además a *Quercus grisea*, *Q. eduardii* y *Q. emoryi*.

Suelos: Habita en suelos profundos, en ocasiones mayores a 2 m y bien drenados, con textura franca y limo-arcillosa. La pedregosidad es de media a alta, con color café a café rojizo. Generalmente el pH es de 6 a 7, materia orgánica de moderados a ricos, de 5 a 10%, con fertilidad de media a baja. Los suelos son sílicos-humíferos, permeables, ricos en Calcio y Potasio, pero pobres en Fósforo.

Clima: Temperatura media de 15°C, mínima de -19°C y máxima de 40°C., con un rango de precipitación de 600 a 1200 mm anuales.

***Pinus cooperi* Blanco**

Nombre común: Pino u ocote.

Distribución en México: En los estados de Chihuahua, Coahuila y Durango, en este último es más abundante. Se ubica entre los paralelos 22°50' a 29°20' de latitud norte y los meridianos 101°30' a 107°50' de longitud oeste. Se encuentra desde los 2,400 a 3,560 msnm.

Asociación vegetal: En bosque de clima templado, en masas mixtas crece en asociación con *Pinus leiophylla*, *P. teocote*, *P. durangensis*, *P. engelmannii* y *P. arizonica*. En los rodales donde domina *Pinus teocote* se encuentran *Quercus rugosa*, *Pinus cooperi* y *P. durangensis*.

Suelos: Derivados de andesitas y aglomerados andesíticos, con profundidad de 0.40 a 3.0 m, textura migajón, areno-arcillosa, pedregosidad media, con una estructura friable o granular, de buen drenaje. Son suelos de color blanco, rosado y rojizo, con pH de 6.5 a 7.0.

Clima: Templado-semihúmedo. La temperatura media anual es de 12.3°C, máxima de 40°C y mínima de -20°C. La precipitación varía de 600 a 1,400 mm.

***Quercus crassipes* Humb. & Bonpl.**

Nombre común: Encino colorado, Encino chilillo, Encino laurelillo, Encino laurel y Encino tesmolillo.

Distribución en México: En los estados de México, Hidalgo, Durango, Michoacán, Puebla Tlaxcala, Veracruz, Chiapas, Oaxaca, Jalisco, Distrito Federal y Guanajuato, entre los 1500 y 2800 msnm.

Asociación vegetal: En bosques de coníferas se asocia a *Pinus leiophylla*, *P. teocote*, *P. pseudostrobus*, *P. montezumae*, *P. cembroides*, *P. douglasiana* y *P. michoacana*. Crece asociado también con *Quercus rugosa*, *Q. castanea*, *Q. laurina*, *Q. crassifolia*, *Q. candicans*, *Q. obtusata*, *Cupressus* spp., y *Arbutus xalapensis*. En el sotobosque se asocia, entre otras especies con: gramíneas como *Setaria viridis*, *Muhlenbergia* spp., *Sporobolus poiretii* y *Aristida* spp.

Suelos: Litosoles y luvisoles, de textura franca-migajon-limosa y pH ligeramente ácido de 6.1 a 6.5, con contenido de materia orgánica de 5 a 10 %.

Clima: Requiere temperatura media anual entre 18 y 20° C. La precipitación media anual varía de 300 a 500 mm anuales, llegando a alcanzar hasta los 800 mm. La especie es intolerante, es decir requiere de abundante luz para el establecimiento de la regeneración y su mejor desarrollo.

***Acacia farnesiana* (L.) Willd**

Nombre común: Huizache.

Distribución en México: En todas las zonas cálidas secas de México, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí, Zacatecas, Querétaro, Oaxaca, Puebla, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Durango, Sinaloa y Morelos, crece desde los 0 hasta los 2500 msnm.

Asociación vegetal: Habita y desarrolla en la selva baja caducifolia y matorral espinoso. Se le considera como una especie invasora-pionera.

Suelos: Regosoles, Leptosoles y fluvisoles, textura franco-arcillosa y franco-arenosa, pH de neutro a ligeramente alcalino, en algunos casos son fuertemente salinos, además se desarrolla en suelos pobres calcáreos.

Clima: Temperaturas mínimas de 8°C; máximas de hasta 35°C y presentan una media anual de 25°C. Aunque es resistente al fuego, es susceptible a las heladas. Soporta precipitaciones desde 200 hasta 700 mm y 4 a 6 meses secos.

***Agave angustifolia* Haw.**

Nombre común: Tepemete.

Distribución en México: Se encuentra desde los 0 hasta 2000 m. En el norte del país es común a 1500 msnm.

Asociación vegetal: Se asocia con especies de matorral.

Suelos: En suelos luvisol crómico y cambisol cálcico. Generalmente profundos a medianamente profundos de textura arenoso-limosa, pedregosidad alta y con pH de neutros a ligeramente alcalinos.

Clima: Se desarrolla en temperatura media anual de 22°C, soporta precipitaciones de 200 a 700 mm, son comunes las heladas de invierno.

***Agave lechuguilla* Torr.**

Nombres comunes: Lechuguilla; Tzuta (en lengua otomí) e Ixtle.

Distribución en México: Se encuentra a lo largo del Desierto Chihuahuense (Chihuahua, Durango, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí, Zacatecas) hasta los estados de México, Hidalgo y Oaxaca. Prospera desde los 950 m hasta los 2,700 msnm.

Asociación vegetal: Se desarrolla en el matorral desértico rosetófilo, en los matorrales micrófilos, y xerófilo, asociándose con los géneros *Larrea*, *Dasyllirion*, *Acacia*, *Flourenzia*, *Euphorbia antisiphylitica*, *Agave* spp., y *Hechita* spp.

Suelos: Suelos del tipo Leptosol, Xerosol, Yermosol; Rendzina, Fozem, Vertisol y Castañozem. Son de origen calizo con alto contenido de carbonato de calcio, someros, de textura franco-arenosa y franco-arcillosa, y muy pedregosos, de buen drenaje. El color del suelo es oscuro en Rendzina, pardo-oscuro en Castañozem. Son suelos alcalinos, con un pH de 7.5 a 9.4. Los niveles de materia orgánica son bajos alcanzando hasta 2.46%. La concentración de sales es media, la fertilidad es alta en Rendzina.

Clima: Desarrolla en temperaturas máximas de 35° a 40°C y mínimas hasta de -5°C, la media es de 22°C. La precipitación media anual es de 105 a 600 mm.

***Prosopis laevigata* (Humb & Willd) M.C. Johnst**

Nombre común: Mezquite o algarrobo.

Distribución en México: Sonora, San Luis Potosí, Tamaulipas, Guanajuato, Zacatecas, Durango, Coahuila y Nuevo León, correspondiendo en menor importancia a los estados de Oaxaca, Sinaloa, Jalisco, Chihuahua, Baja California Norte y Sur, Querétaro y Aguascalientes. También desarrolla en los

estados de Hidalgo, Tlaxcala, México y Guerrero. Se desarrolla en altitudes desde los 8 hasta los 2,200 msnm.

Asociación vegetal: Forma parte del matorral xerófilo, el matorral desértico micrófilo y el matorral desértico rosetófilo. Se asocia con *Larrea tridentata*, *Agave lechuguilla*, *Euphorbia antisyphilitica*, *Dasyliirion leiophyllum*, *Flourensia cernua*, *Acacia vernicosa*, *Acacia constricta*, *Bouteloua* sp., *Opuntia imbricata*, *Opuntia streptacantha* y *Atriplex canescens*.

Suelos: Admite variedad de suelos, entre ellos: litosoles, xerosoles, yermosoles, castañózem, solonchak y fluvisoles. Requiere de profundidad alta y textura variable, de arenosa a arcillosa. Pedregosidad de media a alta y con buen drenaje, pH de neutros a alcalinos. Es susceptible a suelos ácidos, pero soporta suelos compactados y pedregosos.

Clima: Temperatura media anual de 6 a 20°C, mínima de 0°C y máxima de 48°C, la precipitación es baja 100 mm anuales, esta especie soporta vientos fuertes y tolera estrés hídrico.

***Yucca* spp.**

Nombre común: Palma, Palma china, Palma real o izote.

Distribución en México: Se encuentra en Hidalgo, San Luís Potosí, Querétaro, Zacatecas, Oaxaca, Puebla, Nuevo León, Coahuila, Durango, Chihuahua y Tamaulipas.

Asociación vegetal: Se desarrolla en el matorral xerófilo, asociado con *Larrea tridentata*, *Flourensia cernua*, *Prosopis glandulosa*, *Opuntia* spp., *Parthenium argentatum*, *Parthenium incanum*, *Setaria leuchophila*, *Bouteloua karwinskii*, etc. Crece también en áreas un poco más puras, tomando el nombre de izotales.

Suelos: Son de origen calcáreo, presentan poca profundidad, de pedregosidad media, textura franco a arenosa. Materia orgánica escasa y baja fertilidad. Son del tipo xerosoles, yermosoles.

Clima: tipo Bs, que son semisecos, con precipitaciones menores de 200 a 400 mm anuales.

***Atriplex canescens* (Pursh) Nutt.**

Nombres comunes: Cenizo, costilla de baca, chamizo saladillo.

Distribución en México: En el norte del país en los estados de Baja California, Baja California Sur, Coahuila, Chihuahua, San Luís Potosí, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas, Zacatecas, Durango y Nuevo León. Se encuentra en altitudes desde los 200 hasta los 1,600 msnm. Existe en todos los hábitats áridos y semiáridos.

Asociación vegetal: Generalmente crece formando pequeños manchones y en ocasiones llega a formar masas puras. Se desarrolla en llanos, laderas de cerros y valles en las zonas áridas y semiáridas.

Suelos: Feozem y Regosol calcárico, poco profundos o someros, en varias texturas como arenosa, limo-arenosa, areno-arcillosa y arcillosa. Son suelos alcalinos, la materia orgánica es mínima y la fertilidad de media a baja. Puede desarrollar sobre suelos calcáreos. Presentan una extraordinaria capacidad para extraer el agua de casi cualquier tipo de suelo y a profundidades considerables, llegando a alcanzar hasta más de 15 m, dependiendo de las características de cada sitio.

Clima: Temperatura media anual entre 24 y 25°C, con una mínima de 0°C y hasta un poco más y máxima de hasta 40° C o incluso más. Soporta precipitaciones de 250 mm o menos. Las plantas adultas tienen la capacidad de soportar las temperaturas extremas de los desiertos, por lo que rara vez presentan daños por heladas o insolación, y son muy resistentes a la sequía.

***Dasyliirion* sp.**

Nombre común: Sotol.

Distribución en México: Se encuentra en Chihuahua, Coahuila, Durango, Tamaulipas y Zacatecas. Desde 1,500 m hasta 1,900 msnm.

Asociación vegetal: Desarrolla en el matorral crausicaule, asociado con *Opuntia imbricata*, *Opuntia leptocaulis*, *Prosopis* sp., y *Acacia* sp. También se encuentra en el matorral desértico rosetófilo, asociado con *Agave lechuguilla*, *Hechita glomerata*, *Fouquieria splendens* y *Agave* spp. Crece en el matorral desértico micrófilo, en asociación con *Larrea tridentata*, *Flourensia cernua*, *Prosopis* sp., y *Fouquieria splendens*.

Suelos: Litosoles, regosoles calcárico, xerosol háplico, feozem y rendzinas. Son suelos poco profundos, pedregosos, de drenaje superficial rápido, con concentraciones no muy altas de sales ni de sodio.

Clima: Temperatura promedio anual entre los 20 y 22°C. Las temperaturas mínimas se presentan en los meses de diciembre a febrero, hasta 0°C y las máximas en los meses de mayo a agosto, puede llegar hasta 45°C. Suelen ocurrir heladas de noviembre a marzo. La temporada de lluvias está distribuida en los meses de junio a agosto, con un promedio de 386.8 mm.

***Euphorbia antisiphilitica* Zucc.**

Nombre común: Candelilla.

Distribución en México: En Chihuahua: Camargo, Coyame, Jiménez, Ojinaga; Durango: Cuencamé, Mapimí, Mezquital, Nazas, Rodeo, San Luís del Cordero, Simón Bolívar; además se encuentra en los estados de Coahuila, Nuevo León, San Luís Potosí y Zacatecas en rango altitudinal entre los 150-1450 msnm.

Asociación vegetal: Asociación con *Agave lechuguilla*, *Agave falcata*, *Agave striata*, *Hechtia glomerata*, *Dasyliirion* spp., y *Yucca carnerosana*, las cuales caracterizan al matorral desértico rosetófilo. En ocasiones se asocia con *Leucophyllum texanum*; *Leucophyllum minus*, *Fouquieria splendens*, *Larrea tridentata*, *Flourensia cernua*, *Prosopis juliflora*, *Opuntia imbricata*, *Opuntia microdasys*, *Opuntia leptocaulis* y *Parthenium argentatum*. También en vegetación de matorral armado, con *Prosopis*, *Acacia*, *Fouquieria*, *Myrtillocactus*, *Ipomoea*, en suelo derivado de conglomerados, abundante; matorral desértico sobre suelo aluvial.

Suelos: Leptosol, Xerosol, Yermosol; Rendzina y Foezem; no profundos, de 10 a 30 cm, de textura franco-arenosa; pedregosidad alta con buen drenaje; con pH de neutros a ligeramente alcalinos, con niveles bajos de materia orgánica, de 2 al 3%.

Clima: Temperatura media anual de 18 a 22°C. Temperaturas mínimas de 14°C y temperaturas máximas de hasta 47°C. La precipitación varía de 120 a 200 mm al año. Se observa que la Candelilla se desarrolla en condiciones de clima extremoso y suelos extremadamente raquíuticos.

***Lippia berlandieri* Schauer.**

Nombre común: Orégano de castilla – Salvia.

Distribución en México: En los estados de Querétaro, Guanajuato, Hidalgo, Oaxaca, Jalisco, San Luís Potosí, Zacatecas, Chihuahua, Durango, Sinaloa, Baja California Sur y Coahuila. En el municipio de Mapimí, Durango, se distribuye en un 37.98% de su territorio. Se desarrolla entre los 400 y 2,000 m de altitud, aunque se le halla en mayor abundancia entre los 1,400 y 1,800 msnm.

Asociación vegetal: En el matorral desértico rosetófilo se asocia con *Agave lechuguilla*, *Hechita* sp., *Yuca* spp., y *Dasyliirion* spp., *Euphorbia antisiphilitica* y *Fouquieria splendens*. También se distribuye en el matorral espinoso asociándose con *Acacia berlandieri*, *Acacia vernicosa*, *Acacia mimosa* y *Mimosa* sp. Además se encuentra en la vegetación krauscaule, encontrando especies de *Opuntia*, *Equinocactus*, *Ferocactus* spp., y *Mamillaria* spp. En los matorrales inerme y subinerme se asocia con *Larrea tridentata*, *Cordia greggii*, *Viquiera brevifolia* y *Mimosa* spp.

Suelos: Preferentes calizos, pedregosos, poco profundos, localizados en las partes altas y laderas más profundas en llanuras y valles. Xerosoles, de tipo clásico, Gypsico, Háplico y Luvico; Yermosoles del tipo lúvico; regosoles de tipo calcáreo; litosoles y rendzinas, pH de 5.8 a 6.5, con baja concentración de sales y baja fertilidad.

Clima: Semiseco con patrón de lluvias de verano, con temperatura media anual de 21.4°C y promedio mensual de abril a octubre sobre los 20°C. Temperatura mínima de 9°C y máximas de 41°C. La precipitación media anual es de 300.5 mm con 83% de la lluvia cayendo de julio a septiembre en forma de tormentas, el mes más lluvioso es julio con 166.1 mm.

***Parthenium argentatum* Gray.**

Nombre común: Guayule o hierba del hule.

Distribución en México: Se localiza en los estados de Coahuila, San Luis Potosí, Durango, Nuevo León, Zacatecas, Chihuahua e Hidalgo. Se desarrolla en altitudes de 600 hasta 2,133 msnm.

Asociación vegetal: Es parte del matorral desértico rosetófilo y matorral micrófilo en laderas de cerros y abanicos aluviales. Se asocia con *Agave lechuguilla*, *Agave striata*, *Dasyllirion cedrosanum*, *Hechita glomerata*, *Jatropha spathulata*, *Yucca carnerosana*, *Larrea tridentata*, *Opuntia imbricata*, *Mimosa biuncifera*, *Bouteloua curtipendula*, *Seteria macrostachya*, *Stipa* sp., etc.

Suelos: Medios a profundos, con textura fina y aluvial, pedregosidad de media a alta con drenaje superficial y rápido. El pH varía de 7 a 8. Estos suelos presentan una capa de caliche que a mayor profundidad las plantas se desarrollan mejor.

Clima: La temperatura promedio anual está entre 18° y 21°C, por lo tanto los climas son secos o áridos (BS) y muy áridos o muy secos (BW). La precipitación se presenta en forma torrencial e irregular, en los meses de junio a septiembre; varía de 200 a 400 mm por año.

***Simmondsia chinensis* (Link.) S.**

Nombre común: Jojoba.

Distribución en México: En la península de Baja California; o en las islas del Golfo de California, islas de San Clemente y Cedros; también en Sonora. Se encuentra entre los 0 y 1500 msnm.

Asociación vegetal: Se desarrolla como parte del matorral xerófilo asociada con *Bursera microphylla*, *Fouquieria splendens*, *Jatropha cuneata*, *Larrea tridentata*, *Lycium* sp., *Olneya tesota*, *Pachycereus pringlei*, *Ambrosia dumosa* y *Cercidium microphyllum*, *Carnegiea gigantea*, *Ambrosia chenopodiifolia*, *Cylindropuntia* sp., *Prosopis juliflora*, *Sapium biloculare* y *Encelia farinosa*.

Suelos: Muy variados, Regosoles y Litosoles, textura arenosa y arcillo arenosa, pH de neutro a alcalino, los suelos tienen abundante Fósforo; esta especie puede crecer en suelos muy salinos.

Clima: Clima de tipo mediterráneo, con temperatura media anual de 30°C; puede haber máximas mayores a 40°C y mínimas menores a 5°C, con heladas en invierno, la precipitación entre 100 y 500 mm.

ANEXO 2

Matrices de comparación pareada y valores estándar (rating) utilizados para estandarizar los subcriterios utilizados en el estudio.

Temperatura máxima	S1	S2	S3	N1	N2	Valor
S1	1	2	4	6	8	1
S2	1/2	1	3	5	7	0.6709
S3	1/4	1/3	1	4	6	0.3624
N1	1/6	1/5	1/3	1	4	0.1653
N2	1/8	1/7	1/5	1/4	1	0.0762

Temperatura mínima	S1	S2	S3	N1	N2	Valor
S1	1	2	4	6	8	1
S2	1/2	1	3	5	7	0.6709
S3	1/4	1/3	1	4	6	0.3624
N1	1/6	1/5	1/3	1	4	0.1653
N2	1/8	1/7	1/5	1/4	1	0.0762

pH	S1	S2	S3	N1	N2	Valor
S1	1	2	4	6	7	1
S2	1/2	1	2	3	5	0.5368
S3	1/4	1/2	1	3	4	0.3511
N1	1/6	1/3	1/3	1	2	0.1654
N2	1/7	1/5	1/4	1/2	1	0.1323

Textura	S1	S2	S3	N1	N2	Valor
S1	1	3	6	8	9	1
S2	1/3	1	3	7	8	0.5101
S3	1/6	1/3	1	5	7	0.2715
N1	1/8	1/7	1/5	1	3	0.0948
N2	1/9	1/8	1/7	1/3	1	0.0555

Profundidad	S1	S2	S3	N1	N2	Valor
S1	1	3	6	8	9	1
S2	1/3	1	3	7	8	0.5860
S3	1/6	1/3	1	6	6	0.3008
N1	1/8	1/7	1/6	1	1	0.0949
N2	1/9	1/8	1/6	1	1	0.0571

Altitud	S1	S2	S3	N1	N2	Valor
S1	1	2	4	7	9	1
S2	1/2	1	2	6	8	0.6095
S3	1/4	1/2	1	4	6	0.3566
N1	1/7	1/6	1/4	1	3	0.1247
N2	1/9	1/8	1/6	1/3	1	0.0694

Pendiente	S1	S2	S3	N1	N2	Valor
S1	1	2	4	7	9	1
S2	1/2	1	2	6	8	0.6095
S3	1/4	1/2	1	4	6	0.3566
N1	1/7	1/6	1/4	1	3	0.1297
N2	1/9	1/8	1/6	1/3	1	0.0694

ANEXO 3

A.3.1. Valores utilizados para estandarizar los criterios y subcriterios asignados a *Pinus arizonica* Engelm.

CLIMA					
<u>Precipitación (mm)</u>		<u>Temperatura mínima (°C)</u>		<u>Temperatura máxima (°C)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
400 a 500	0	-14 a -12	S3	26 a 28	S1
500 a 600	S3	-12 a -10	S2	28 a 30	S1
600 a 800	S2	-10 a -8	S2	30 a 32	S1
800 a 1000	S1	-8 a -6	S1	32 a 34	S1
1000 a 1200	S1	-6 a -4	S1	34 a 36	S2
1200 a 1500	S1	-4 a -2	S1	36 a 38	S3
1500 a 1800	S1	-2 a 0	S1		
		0 a 2	S1		
		2 a 4	S1		
		4 a 6	S1		

SUELO					
<u>Profundidad</u>		<u>Textura</u>		<u>pH</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>
0.1 a 1 m	S1	Gruesa	S2	Ácido	S2
> 1 m	S2	Media	S1	Ligeramente ácido	S1
		Fina	0	Neutro a alcalino	0

TOPOGRAFÍA			
<u>Altitud (msnm)</u>		<u>Pendiente (%)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
< 1600	0	0 a 10	S1
1600 a 1950	S3	10 a 20	S2
1950 a 2100	S2	20 a 30	S3
2100 a 2400	S1	> 30	0
2400 a 2900	S3		
> 2900	0		

A.3.2. Valores utilizados para estandarizar los criterios y subcriterios asignados a *Pinus engelmannii* Carr.

CLIMA					
<u>Precipitación (mm)</u>		<u>Temperatura mínima (°C)</u>		<u>Temperatura máxima (°C)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
400 a 500	0	-14 a -12	S1	26 a 28	S1
500 a 600	0	-12 a -10	S1	28 a 30	S1
600 a 800	S3	-10 a -8	S1	30 a 32	S1
800 a 1000	S2	-8 a -6	S1	32 a 34	S1
1000 a 1200	S1	-6 a -4	S1	34 a 36	S2
1200 a 1500	S1	-4 a -2	S1	36 a 38	S3
1500 a 1800	S1	-2 a 0	S1		
		0 a 2	S1		
		2 a 4	S1		
		4 a 6	S1		

SUELO					
<u>Profundidad</u>		<u>Textura</u>		<u>pH</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>
0.1 a 1 m	S1	Gruesa	S1	Ácido	S1
> 1 m	S1	Media	S2	Ligeramente ácido	S1
		Fina	0	Neutro a alcalino	0

TOPOGRAFÍA			
<u>Altitud (msnm)</u>		<u>Pendiente (%)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
< 1600	0	0 a 10	S1
1600 a 1850	S3	10 a 20	S2
1850 a 2200	S1	20 a 30	S3
2200 - 2550	S2	> 30	0
> 2550	0		

A.3.3. Valores utilizados para estandarizar los criterios y subcriterios asignados a *Pinus cembroides* Zucc.

CLIMA					
<u>Precipitación (mm)</u>		<u>Temperatura mínima (°C)</u>		<u>Temperatura máxima (°C)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
400 a 500	S3	-14 a -12	0	26 a 28	S1
500 a 600	S2	-12 a -10	0	28 a 30	S1
600 a 800	S1	-10 a -8	S3	30 a 32	S1
800 a 1000	S1	-8 a -6	S2	32 a 34	S1
1000 a 1200	S1	-6 a -4	S1	34 a 36	S2
1200 a 1500	S1	-4 a -2	S1	36 a 38	S3
1500 a 1800	S1	-2 a 0	S1		
		0 a 2	S1		
		2 a 4	S1		
		4 a 6	S1		

SUELO					
<u>Profundidad</u>		<u>Textura</u>		<u>pH</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>
0.1 a 1 m	S1	Gruesa	S1	Ácido	0
> 1 m	S2	Media	S2	Ligeramente ácido	S2
		Fina	0	Neutro a alcalino	S1

TOPOGRAFÍA			
<u>Altitud (msnm)</u>		<u>Pendiente (%)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
< 1350	0	0 a 10	S1
1350 a 1700	S3	10 a 20	S2
1700 a 2100	S2	20 a 30	S3
2100 a 2700	S1	> 30	0
2750 a 3200	S3		

A.3.4. Valores utilizados para estandarizar los criterios y subcriterios asignados a *Pinus leiophylla* Schl. et Cham.

CLIMA					
<u>Precipitación (mm)</u>		<u>Temperatura mínima (°C)</u>		<u>Temperatura máxima (°C)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
400 a 500	0	-14 a -12	S3	26 a 28	S1
500 a 600	0	-12 a -10	S2	28 a 30	S1
600 a 800	S3	-10 a -8	S2	30 a 32	S1
800 a 1000	S2	-8 a -6	S1	32 a 34	S1
1000 a 1200	S1	-6 a -4	S1	34 a 36	S2
1200 a 1500	S1	-4 a -2	S1	36 a 38	S3
1500 a 1800	S1	-2 a 0	S1		
		0 a 2	S1		
		2 a 4	S1		
		4 a 6	S1		

SUELO					
<u>Profundidad</u>		<u>Textura</u>		<u>pH</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>
0.1 a 1 m	S1	Gruesa	S2	Ácido	0
> 1 m	0	Media	S1	Ligeramente ácido	S1
		Fina	0	Neutro a alcalino	0

TOPOGRAFÍA			
<u>Altitud (msnm)</u>		<u>Pendiente (%)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
< 1600	0	0 a 10	S1
1600 a 2000	S3	10 a 20	S2
2000 a 2500	S2	20 a 30	S3
2500 a 2800	S1	> 30	0
> 2800	0		

A.3.5. Valores utilizados para estandarizar los criterios y subcriterios asignados a *Pinus greggii* Engelm. var. *greggii*.

CLIMA					
<u>Precipitación (mm)</u>		<u>Temperatura mínima (°C)</u>		<u>Temperatura máxima (°C)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
400 a 500	0	-14 a -12	0	26 a 28	S1
500 a 600	0	-12 a -10	0	28 a 30	S1
600 a 800	S2	-10 a -8	S3	30 a 32	S1
800 a 1000	S1	-8 a -6	S3	32 a 34	S1
1000 a 1200	S1	-6 a -4	S2	34 a 36	S2
1200 a 1500	S1	-4 a -2	S1	36 a 38	S3
1500 a 1800	S1	-2 a 0	S1		
		0 a 2	S1		
		2 a 4	S1		
		4 a 6	S1		

SUELO					
<u>Profundidad</u>		<u>Textura</u>		<u>pH</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>
0.1 a 1 m	S1	Gruesa	S2	Ácido	0
> 1 m	S2	Media	S1	Ligeramente ácido	0
		Fina	0	Neutro a alcalino	S1

TOPOGRAFÍA			
<u>Altitud (msnm)</u>		<u>Pendiente (%)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
< 1400	0	0 a 10	S1
1400 a 1700	S2	10 a 20	S2
1700 a 2000	S1	20 a 30	S3
2000 a 2800	S2	> 30	0
> 2800	0		

A.3.6. Valores utilizados para estandarizar los criterios y subcriterios asignados a *Pinus chihuahuana* Engelm.

CLIMA					
<u>Precipitación (mm)</u>		<u>Temperatura mínima (°C)</u>		<u>Temperatura máxima (°C)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
400 a 500	0	-14 a -12	S1	26 a 28	S1
500 a 600	0	-12 a -10	S1	28 a 30	S1
600 a 800	S3	-10 a -8	S1	30 a 32	S1
800 a 1000	S2	-8 a -6	S1	32 a 34	S1
1000 a 1200	S1	-6 a -4	S1	34 a 36	S2
1200 a 1500	S1	-4 a -2	S1	36 a 38	S3
1500 a 1800	S1	-2 a 0	S1		
		0 a 2	S1		
		2 a 4	S1		
		4 a 6	S1		

SUELO					
<u>Profundidad</u>		<u>Textura</u>		<u>pH</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>
0.1 a 1 m	S1	Gruesa	0	Ácido	0
> 1 m	S1	Media	S1	Ligeramente ácido	S2
		Fina	S2	Neutro a alcalino	S1

TOPOGRAFÍA			
<u>Altitud (msnm)</u>		<u>Pendiente (%)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
< 1600	0	0 a 10	S1
1600 a 2000	S3	10 a 20	S2
2000 a 2400	S2	20 a 30	S3
2400 a 2750	S1	> 30	0
> 2750	0		

A.3.7. Valores utilizados para estandarizar los criterios y subcriterios asignados a *Pinus cooperi* Blanco.

CLIMA					
<u>Precipitación (mm)</u>		<u>Temperatura mínima (°C)</u>		<u>Temperatura máxima (°C)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
400 a 500	0	-14 a -12	0	26 a 28	S1
500 a 600	0	-12 a -10	S3	28 a 30	S1
600 a 800	S3	-10 a -8	S2	30 a 32	S1
800 a 1000	S2	-8 a -6	S1	32 a 34	S1
1000 a 1200	S1	-6 a -4	S1	34 a 36	S2
1200 a 1500	S1	-4 a -2	S1	36 a 38	S3
1500 a 1800	S1	-2 a 0	S1		
		0 a 2	S1		
		2 a 4	S1		
		4 a 6	S1		

SUELO					
<u>Profundidad</u>		<u>Textura</u>		<u>pH</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>
0.1 a 1 m	S1	Gruesa	S1	Ácido	0
> 1 m	S1	Media	S2	Ligeramente ácido	S2
		Fina	0	Neutro a alcalino	S1

TOPOGRAFÍA			
<u>Altitud (msnm)</u>		<u>Pendiente (%)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
< 2400	0	0 a 10	S1
2400 a 2700	S2	10 a 20	S2
2700 a 3000	S1	20 a 30	S3
3000 a 3200	S3	> 30	0

A.3.8. Valores utilizados para estandarizar los criterios y subcriterios asignados a *Quercus crassipes* Humb. & Bonlp.

CLIMA					
<u>Precipitación (mm)</u>		<u>Temperatura mínima (°C)</u>		<u>Temperatura máxima (°C)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
400 a 500	S3	-14 a -12	0	26 a 28	S1
500 a 600	S2	-12 a -10	0	28 a 30	S1
600 a 800	S1	-10 a -8	S3	30 a 32	S1
800 a 1000	S1	-8 a -6	S3	32 a 34	S1
1000 a 1200	S1	-6 a -4	S2	34 a 36	S2
1200 a 1500	S1	-4 a -2	S1	36 a 38	S2
1500 a 1800	S1	-2 a 0	S1		
		0 a 2	S1		
		2 a 4	S1		
		4 a 6	S1		

SUELO					
<u>Profundidad</u>		<u>Textura</u>		<u>pH</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>
0.1 a 1 m	S2	Gruesa	0	Ácido	S2
> 1 m	S1	Media	S1	Ligeramente ácido	S1
		Fina	S2	Neutro a alcalino	0

TOPOGRAFÍA			
<u>Altitud (msnm)</u>		<u>Pendiente (%)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
< 1500	0	0 a 10	S1
1500 a 2000	S2	10 a 20	S2
2000 a 2800	S1	20 a 30	S3
> 2800	0	> 30	0

A.3.9. Valores utilizados para estandarizar los criterios y subcriterios asignados a *Acacia farnesiana* (L.) Willd.

CLIMA					
<u>Precipitación (mm)</u>		<u>Temperatura mínima (°C)</u>		<u>Temperatura máxima (°C)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
400 a 500	S1	-14 a -12	0	26 a 28	S1
500 a 600	S1	-12 a -10	0	28 a 30	S1
600 a 800	S1	-10 a -8	0	30 a 32	S1
800 a 1000	S1	-8 a -6	0	32 a 34	S2
1000 a 1200	S1	-6 a -4	0	34 a 36	S3
1200 a 1500	S1	-4 a -2	0	36 a 38	0
1500 a 1800	S1	-2 a 0	S3		
		0 a 2	S2		
		2 a 4	S1		
		4 a 6	S1		

SUELO					
<u>Profundidad</u>		<u>Textura</u>		<u>pH</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>
0.1 a 1 m	S2	Gruesa	S2	Ácido	0
> 1 m	S1	Media	S1	Ligeramente ácido	0
		Fina	0	Neutro a alcalino	S1

TOPOGRAFÍA			
<u>Altitud (msnm)</u>		<u>Pendiente (%)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
0 a 1000	S2	0 a 10	S1
1000 a 2000	S1	10 a 20	S2
2000 a 2500	S2	20 a 30	S3
> 2500	0	> 30	0

A.3.10. Valores utilizados para estandarizar los criterios y subcriterios asignados a *Agave durangensis* Gentry.

CLIMA					
<u>Precipitación (mm)</u>		<u>Temperatura mínima (°C)</u>		<u>Temperatura máxima (°C)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
400 a 500	S2	-14 a -12	0	26 a 28	S1
500 a 600	S1	-12 a -10	0	28 a 30	S1
600 a 800	S1	-10 a -8	0	30 a 32	S1
800 a 1000	S1	-8 a -6	0	32 a 34	S1
1000 a 1200	S1	-6 a -4	S3	34 a 36	S2
1200 a 1500	S1	-4 a -2	S2	36 a 38	S3
1500 a 1800	S1	-2 a 0	S1		
		0 a 2	S1		
		2 a 4	S1		
		4 a 6	S1		

SUELO					
<u>Profundidad</u>		<u>Textura</u>		<u>pH</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>
0.1 a 1 m	S1	Gruesa	S2	Ácido	S1
> 1 m	0	Media	S1	Ligeramente ácido	S1
		Fina	0	Neutro a alcalino	0

TOPOGRAFÍA			
<u>Altitud (msnm)</u>		<u>Pendiente (%)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
<1500	0	0 a 5	0
1500 a 2000	S1	5 a 20	S1
2000 a 2500	S2	20 a 30	S2
2500 a 3000	S3	> 30	0
> 3000	0		

A.3.11. Valores utilizados para estandarizar los criterios y subcriterios asignados a *Agave angustifolia* Haw.

CLIMA					
<u>Precipitación (mm)</u>		<u>Temperatura mínima (°C)</u>		<u>Temperatura máxima (°C)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
400 a 500	S1	-14 a -12	0	26 a 28	S1
500 a 600	S1	-12 a -10	0	28 a 30	S1
600 a 800	S1	-10 a -8	0	30 a 32	S1
800 a 1000	S1	-8 a -6	0	32 a 34	S1
1000 a 1200	S1	-6 a -4	S3	34 a 36	S1
1200 a 1500	S1	-4 a -2	S2	36 a 38	S2
1500 a 1800	S1	-2 a 0	S1		
		0 a 2	S1		
		2 a 4	S1		
		4 a 6	S1		

SUELO					
<u>Profundidad</u>		<u>Textura</u>		<u>pH</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>
0.1 a 1 m	S2	Gruesa	S1	Ácido	0
> 1 m	S1	Media	0	Ligeramente ácido	0
		Fina	S2	Neutro a alcalino	S1

TOPOGRAFÍA			
<u>Altitud (msnm)</u>		<u>Pendiente (%)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
0 a 350	S3	0 a 10	S1
350 a 700	S2	10 a 20	S2
700 a 1500	S1	20 a 30	S3
1500 a 2000	S2	> 30	0
> 2000	0		

A.3.12. Valores utilizados para estandarizar los criterios y subcriterios asignados a *Agave lechuguilla* Torr.

CLIMA					
<u>Precipitación (mm)</u>		<u>Temperatura mínima (°C)</u>		<u>Temperatura máxima (°C)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
400 a 500	S1	-14 a -12	0	26 a 28	S1
500 a 600	S1	-12 a -10	0	28 a 30	S1
600 a 800	S1	-10 a -8	0	30 a 32	S1
800 a 1000	S1	-8 a -6	0	32 a 34	S1
1000 a 1200	S1	-6 a -4	S3	34 a 36	S1
1200 a 1500	S1	-4 a -2	S2	36 a 38	S2
1500 a 1800	S1	-2 a 0	S1		
		0 a 2	S1		
		2 a 4	S1		
		4 a 6	S1		

SUELO					
<u>Profundidad</u>		<u>Textura</u>		<u>pH</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>
0.1 a 1 m	S1	Gruesa	S2	Ácido	0
> 1 m	S2	Media	S1	Ligeramente ácido	0
		Fina	S3	Neutro a alcalino	S1

TOPOGRAFÍA			
<u>Altitud (msnm)</u>		<u>Pendiente (%)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
< 950	0	0 a 10	S1
950 a 1200	S3	10 a 20	S2
1200 a 1500	S2	20 a 30	S3
1500 a 2500	S1	> 30	0
2500 a 2700	S2		
>2500	0		

A.3.13. Valores utilizados para estandarizar los criterios y subcriterios asignados a *Prosopis laevigata* (Humb. & Willd). M.C. Johnst.

CLIMA					
<u>Precipitación (mm)</u>		<u>Temperatura mínima (°C)</u>		<u>Temperatura máxima (°C)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
400 a 500	S1	-14 a -12	0	26 a 28	S1
500 a 600	S1	-12 a -10	0	28 a 30	S1
600 a 800	S1	-10 a -8	0	30 a 32	S1
800 a 1000	S1	-8 a -6	0	32 a 34	S1
1000 a 1200	S1	-6 a -4	0	34 a 36	S1
1200 a 1500	S1	-4 a -2	0	36 a 38	S1
1500 a 1800	S1	-2 a 0	S2		
		0 a 2	S1		
		2 a 4	S1		
		4 a 6	S1		

SUELO					
<u>Profundidad</u>		<u>Textura</u>		<u>pH</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>
0.1 a 1 m	S2	Gruesa	S1	Ácido	0
> 1 m	S1	Media	S2	Ligeramente ácido	0
		Fina	0	Neutro a alcalino	S1

TOPOGRAFÍA			
<u>Altitud (msnm)</u>		<u>Pendiente (%)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
0 a 600	S3	0 a 10	S1
600 a 1200	S2	10 a 20	S2
1200 a 2200	S1	20 a 30	S3
> 2200	0	> 30	0

A.3.14. Valores utilizados para estandarizar los criterios y subcriterios asignados a *Yucca* spp.

CLIMA					
<u>Precipitación (mm)</u>		<u>Temperatura mínima (°C)</u>		<u>Temperatura máxima (°C)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
400 a 500	S2	-14 a -12	0	26 a 28	S1
500 a 600	S1	-12 a -10	S3	28 a 30	S1
600 a 800	S1	-10 a -8	S3	30 a 32	S1
800 a 1000	S1	-8 a -6	S2	32 a 34	S1
1000 a 1200	S1	-6 a -4	S1	34 a 36	S1
1200 a 1500	S1	-4 a -2	S1	36 a 38	S2
1500 a 1800	S1	-2 a 0	S1		
		0 a 2	S1		
		2 a 4	S1		
		4 a 6	S1		

SUELO					
<u>Profundidad</u>		<u>Textura</u>		<u>pH</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>
0.1 a 1 m	S1	Gruesa	S2	Ácido	0
> 1 m	0	Media	S1	Ligeramente ácido	0
		Fina	0	Neutro a alcalino	S1

TOPOGRAFÍA			
<u>Altitud (msnm)</u>		<u>Pendiente (%)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
0 a 400	S3	0 a 10	S1
400 a 800	S2	10 a 20	S2
800 a 1400	S1	20 a 30	S3
> 1400	0	> 30	0

A.3.15. Valores utilizados para estandarizar los criterios y subcriterios asignados a *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt.

CLIMA					
<u>Precipitación (mm)</u>		<u>Temperatura mínima (°C)</u>		<u>Temperatura máxima (°C)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
200 a 300	S3	-10 a - 8	0	30 a 32	S1
300 a 400	S2	- 8 a - 6	0	32 a 34	S1
400 a 500	S1	- 6 a - 4	0	34 a 36	S1
500 a 600	S1	- 4 a - 2	S2	36 a 38	S2
		- 2 a 0	S1	38 a 40	S3
				40 a 42	0

SUELO					
<u>Profundidad</u>		<u>Textura</u>		<u>pH</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>
0.1 a 1 m	S1	Gruesa	S1	Medianamente alcalino	S1
> 1 m	0	Media	S2	Neutro	0
		Fina	0		

TOPOGRAFÍA			
<u>Altitud (msnm)</u>		<u>Pendiente (%)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
< 200	0	0 a 10	S1
200 a 800	S3	10 a 20	S2
800 a 1200	S1	20 a 30	S3
1200 a 1600	S2	> 30	0
> 1600	0		

A.3.16. Valores utilizados para estandarizar los criterios y subcriterios asignados a *Dasyilirion* sp.

CLIMA

<u>Precipitación (mm)</u>		<u>Temperatura mínima (°C)</u>		<u>Temperatura máxima (°C)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
200 a 300	S2	-10 a - 8	0	30 a 32	S1
300 a 400	S1	- 8 a - 6	0	32 a 34	S1
400 a 500	S1	- 6 a - 4	0	34 a 36	S1
500 a 600	S1	- 4 a - 2	S2	36 a 38	S1
		- 2 a 0	S1	38 a 40	S2
				40 a 42	S2

SUELO

<u>Profundidad</u>		<u>Textura</u>		<u>pH</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>
0.1 a 1 m	S1	Gruesa	S1	Medianamente alcalino	S2
> 1 m	0	Media	S2	Neutro	S1
		Fina	0		

TOPOGRAFÍA

<u>Altitud (msnm)</u>		<u>Pendiente (%)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
< 1500	0	0 a 10	S1
1500 a 1900	S1	10 a 20	S2
> 1900	0	20 a 30	S3
		> 30	0

A.3.17. Valores utilizados para estandarizar los criterios y subcriterios asignados a *Euphorbia antisyphilitica* Zucc.

CLIMA

<u>Precipitación (mm)</u>		<u>Temperatura mínima (°C)</u>		<u>Temperatura máxima (°C)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
200 a 300	S2	-10 a - 8	0	30 a 32	S1
300 a 400	S1	- 8 a - 6	0	32 a 34	S1
400 a 500	S1	- 6 a - 4	0	34 a 36	S1
500 a 600	S1	- 4 a - 2	0	36 a 38	S1
		- 2 a 0	S1	38 a 40	S1
				40 a 42	S1

SUELO

<u>Profundidad</u>		<u>Textura</u>		<u>pH</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>
0.1 a 1 m	S1	Gruesa	S2	Medianamente alcalino	S2
> 1 m	0	Media	S1	Neutro	S1
		Fina	0		

TOPOGRAFÍA

<u>Altitud (msnm)</u>		<u>Pendiente (%)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
< 150	0	0 a 10	S1
150 a 500	S3	10 a 20	S2
500 a 850	S2	20 a 30	S3
850 a 1450	S1	> 30	0
> 1450	0		

A.3.18. Valores utilizados para estandarizar los criterios y subcriterios asignados a *Lippia berlandieri* Schauer.

CLIMA

<u>Precipitación (mm)</u>		<u>Temperatura mínima (°C)</u>		<u>Temperatura máxima (°C)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
200 a 300	S1	-10 a - 8	0	30 a 32	S1
300 a 400	S1	- 8 a - 6	0	32 a 34	S1
400 a 500	S1	- 6 a - 4	0	34 a 36	S1
500 a 600	S1	- 4 a - 2	0	36 a 38	S2
		- 2 a 0	S1	38 a 40	S3
				40 a 42	0

SUELO

<u>Profundidad</u>		<u>Textura</u>		<u>pH</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>
0.1 a 1 m	S1	Gruesa	S1	Medianamente alcalino	S2
> 1 m	S3	Media	S2	Neutro	S1
		Fina	S3		

TOPOGRAFÍA

<u>Altitud (msnm)</u>		<u>Pendiente (%)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
0 a 1000	S3	0 a 10	S1
1000 a 1400	S2	10 a 20	S2
1400 a 1800	S1	20 a 30	S3
> 1800	0	> 30	0

A. 3.19. Valores utilizados para estandarizar los criterios y subcriterios asignados a *Parthenium argentatum* Gray.

CLIMA

<u>Precipitación (mm)</u>		<u>Temperatura mínima (°C)</u>		<u>Temperatura máxima (°C)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
200 a 300	S3	-10 a - 8	S3	30 a 32	S1
300 a 400	S2	- 8 a - 6	S2	32 a 34	S1
400 a 500	S1	- 6 a - 4	S1	34 a 36	S1
500 a 600	S1	- 4 a - 2	S1	36 a 38	S1
		- 2 a 0	S1	38 a 40	S1
				40 a 42	S1

SUELO

<u>Profundidad</u>		<u>Textura</u>		<u>pH</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>
0.1 a 1 m	S1	Gruesa	0	Medianamente alcalino	S1
> 1 m	S2	Media	S2	Neutro	0
		Fina	S1		

TOPOGRAFÍA

<u>Altitud (msnm)</u>		<u>Pendiente (%)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
< 600	0	0 a 10	S1
600 a 1000	S3	10 a 20	S2
1000 a 1500	S2	20 a 30	S3
1500 a 2100	S1	> 30	0
> 2100	0		

A.3.20. Valores utilizados para estandarizar los criterios y subcriterios asignados a *Simmondsia chinensis* (Link.) S.

CLIMA					
<u>Precipitación (mm)</u>		<u>Temperatura mínima (°C)</u>		<u>Temperatura máxima (°C)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
200 a 300	S2	-10 a - 8	0	30 a 32	S1
300 a 400	S1	- 8 a - 6	0	32 a 34	S1
400 a 500	S1	- 6 a - 4	0	34 a 36	S1
500 a 600	S1	- 4 a - 2	S2	36 a 38	S2
		- 2 a 0	S1	38 a 40	S3
				40 a 42	0

SUELO					
<u>Profundidad</u>		<u>Textura</u>		<u>pH</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>	<u>Tipo</u>	<u>Clase</u>
0.1 a 1 m	S2	Gruesa	S1	Medianamente alcalino	S2
> 1 m	S1	Media	S2	Neutro	S1
		Fina	0		

TOPOGRAFÍA			
<u>Altitud (msnm)</u>		<u>Pendiente (%)</u>	
<u>Rango</u>	<u>Clase</u>	<u>Rango</u>	<u>Clase</u>
0 a 500	S3	0 a 10	S1
500 a 1000	S2	10 a 20	S2
1000 a 1500	S1	20 a 30	S3
> 1500	0	> 30	0

ANEXO 4

Matrices de traslape de especies forestales maderables y no maderables con los niveles de aptitud alta y media para cada especie que compiten por el espacio óptimo en hectáreas.

Especie	<i>P. durangensis</i>		<i>P. engelmannii</i>		<i>P. chihuahuana</i>		<i>P. cembroides</i>		<i>P. arizonica</i>		<i>P. leiophylla</i>	
	alta	media	alta	media	alta	media	alta	media	alta	media	alta	media
<i>P. durangensis</i>			5216.82	228.7	5837.82	600.95	2472.13	3138.28	5733.9	528.05	5021.74	755.25
<i>P. engelmannii</i>	X	X			7158.5	133.07	2558.41	1096.1	7634.75	259.46	6899.51	154.87
<i>P. chihuahuana</i>	X	X	X	X			2745.53	8634.18	7853.28	7233.99	7510.47	1817.24
<i>P. cembroides</i>	X	X	X	X	X	X			3864.21	8829.37	2692.94	2602.34
<i>P. arizonica</i>	X	X	X	X	X	X	X	X			7996.74	759.3
<i>P. leiophylla</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		

Especie	<i>Prosopis laevigata</i>		<i>Acacia farnesiana</i>	
	alta	media	alta	media
<i>Prosopis laevigata</i>			0	83969.39
<i>Acacia farnesiana</i>	X	X		

Especie	<i>Agave durangensis</i>		<i>Agave lechuguilla</i>	
	alta	media	alta	media
<i>Agave durangensis</i>			1.5	49840.4
<i>Agave lechuguilla</i>	X	X		

Especie	<i>Agave angustifolia</i>		<i>Agave lechuguilla</i>	
	alta	media	alta	media
<i>Agave angustifolia</i>			0.03	73001.1
<i>Agave lechuguilla</i>	X	X		

Especie	<i>Dasyllirion</i> sp.		<i>Euphorbia antisyphilitica</i>		<i>Lippia berlandieri</i>	
	alta	media	alta	media	alta	media
<i>Dasyllirion</i> sp.			4615.03	408.53	2373.05	1164.51
<i>Euphorbia antisyphilitica</i>	X	X			3210.78	724.85
<i>Lippia berlandieri</i>	X	X	X	X		

Especie	<i>Dasyllirion</i> sp.		<i>Parthenium argentatum</i>		<i>Yucca</i> spp.		<i>Simmondsia chinensis</i>	
	alta	media	alta	media	alta	media	alta	media
<i>Dasyllirion</i> sp.			0	1584.52	0	6460.36	0	11378.49
<i>Parthenium argentatum</i>	X	X			0	3066.45	0	11881.73
<i>Yucca</i> spp.	X	X	X	X			0	13491.48
<i>Simmondsia chinensis</i>	X	X	X	X	X	X		

ANEXO 5

Encuesta a expertos

La presente encuesta se realiza como parte del trabajo de investigación del estudiante de maestría Pedro Hernández Zaragoza, adscrito al Postgrado en Ciencias Forestales del Colegio de Postgraduados. Tiene como objetivo obtener la opinión de expertos para ordenar (ponderar) la preferencia de especies forestales para establecer plantaciones comerciales en sitios con aptitud múltiple donde se pueden plantar varias especies. Se busca identificar la preferencia de plantar una especie sobre otra (s) utilizando un método cuantitativo. El estudio se realiza para los municipios de Durango, Nombre de Dios, Suchil, Mapimí, Nazas y Rodeo del estado de Durango. Se agradece de antemano la colaboración valiosa para obtener la información solicitada asegurando confidencialidad total de las respuestas.

1.- Datos generales del encuestado

Nombre del entrevistado _____

Trabaja como: Empleado de gobierno Federal/Estatal Investigador/Académico

Iniciativa privada Otros (Especifique)

Nombre de la Institución: _____

Correo electrónico: _____

2.- Definición de preferencias de especies forestales

El ejercicio consiste en utilizar los principios y la metodología conocida como “comparaciones pareadas” o por pares definidos por Saaty (1980) para ordenar las preferencias sobre un tema específico con base en el juicio de expertos. Particularmente, nuestro interés se enfoca en ordenar las preferencias de especies forestales maderables y no maderables para implementar plantaciones forestales.

Inicialmente debemos definir los elementos o criterios que sirven de base para ordenar las preferencias. Para plantaciones forestales maderables estos elementos son: extensión del turno de producción, calidad de la madera, supervivencia de la especie y susceptibilidad a plagas y enfermedades. En el caso de plantaciones forestales no maderables los elementos son: productividad de la especie y comercialización de la especie. Con base en cada uno de esos elementos y utilizando una matriz de comparación por pares el experto debe determinar la preferencia entre especies que compiten por el espacio para ser plantadas.

Para realizar la comparación es necesario utilizar una escala de medición. Saaty (1980) generó una escala para la comparación que consta de valores que van del 1 al 9 para describir el grado de preferencia de una especie sobre otra (Cuadro 1).

Cuadro 1. Escala diseñada por Saaty (1980) para comparar entre especies a plantar.

Intensidad de Preferencia	Definición	Explicación
1	Preferencia igual	Las dos especies son igualmente preferidas para establecer la plantación.
3	Preferencia moderada	La experiencia y el juicio moderadamente a favor de una especie sobre la otra.
5	Preferencia fuerte	La experiencia y el juicio fuertemente a favor de una especie sobre la otra.
7	Preferencia muy fuerte o preferencia demostrada	Una especie es fuertemente favorecida sobre la otra.
9	Preferencia extrema	La evidencia favorece una especie sobre la otra es del orden de afirmación más alto posible.
2,4,6,8	Valores intermedios entre los valores de escala	Cuando es necesario un término medio de preferencia de una especie sobre otra.

Utilizando la escala presentada arriba es posible comparar (mediante un arreglo matricial) cada especie con las demás y asignar un valor de preferencia a la especie (n) en relación a las otras considerando un elemento de interés (turno, calidad de la madera, etc.) Es importante considerar que los valores de cada par que se compara se registran únicamente en la parte derecha de la matriz (**Matriz 1, parte sin colorear**).

Ejemplo. Considere la Matriz 1, al comparar *Pinus durangensis* Ehren., (fila 2 de la matriz) con *Pinus engelmannii* Carr., de la columna 3 de la matriz, si considera que *P. durangensis* es moderadamente más importante que *P. engelmannii* considerando el elemento turno, se asignaría un valor de 3 (marcado en color rojo) en el cuadro respectivo de la matriz, repitiéndose el procedimiento hasta comparar cada una de las 4 especies de las hileras con las de las columnas.

Matriz 1. Comparación por pares de especies de árboles maderables considerando como elemento de comparación la **extensión del turno de producción**.

Especie	<i>P. durangensis</i>	<i>P. engelmannii</i>	<i>P. chihuahuana</i>	<i>P. arizonica</i>
<i>P. durangensis</i>	1	3		
<i>P. engelmannii</i>		1		
<i>P. chihuahuana</i>			1	
<i>P. arizonica</i>				1

Si al comparar una especie (hilera) con otra (columna) usted considera que la especie de la hilera es menos preferida que la de la columna comparada, entonces asigne uno de los valores recíprocos registrados en la escala (Cuadro 2).

Cuadro 2. Escala Saaty con valores recíprocos.

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

Nota: De ser necesario utilice valores intermedios sugeridos por la escala de medición.

Por ejemplo, si al comparar *P. durangensis* con *P. engelmannii* usted considera que *P. engelmannii* es más importante que *P. durangensis* en un grado moderadamente más preferente, usted registraría el valor de 1/3 lo cual alternativamente significa que *P. durangensis* es moderadamente menos preferente que *P. engelmannii* para establecer una plantación (Matriz 2).

Matriz 2. Comparación por pares de especies de árboles maderables considerando como elemento de comparación la **extensión del turno de producción**.

Especie	<i>P. durangensis</i>	<i>P. engelmannii</i>	<i>P. chihuahuana</i>	<i>P. arizonica</i>
<i>P. durangensis</i>	1	1/3		
<i>P. engelmannii</i>		1		
<i>P. chihuahuana</i>			1	
<i>P. arizonica</i>				1

3.- De acuerdo a las instrucciones dadas llene las siguientes matrices:

3.1. Especies maderables

Indique en la matriz el grado de preferencia de cada una de las especies con respecto a las otras de acuerdo a su conocimiento y experiencia, utilizando la escala de Saaty.

1. Matriz para definir preferencia de especies para establecer plantaciones maderables considerando el elemento **“extensión del turno de producción”**.

Especie	<i>P. durangensis</i>	<i>P. engelmannii</i>	<i>P. chihuahuana</i>	<i>P. arizonica</i>	<i>P. cembroides</i>	<i>P. leiophylla</i>
<i>P. durangensis</i>	1					
<i>P. engelmannii</i>		1				
<i>P. chihuahuana</i>			1			
<i>P. arizonica</i>				1		
<i>P. cembroides</i>					1	
<i>P. leiophylla</i>						1

2. Matriz para definir preferencia de especies para establecer plantaciones maderables considerando el elemento **“calidad de la madera”**.

Especie	<i>P. durangensis</i>	<i>P. engelmannii</i>	<i>P. chihuahuana</i>	<i>P. arizonica</i>	<i>P. cembroides</i>	<i>P. leiophylla</i>
<i>P. durangensis</i>	1					
<i>P. engelmannii</i>		1				
<i>P. chihuahuana</i>			1			
<i>P. arizonica</i>				1		
<i>P. cembroides</i>					1	
<i>P. leiophylla</i>						1

3. Matriz para definir preferencia de especies para establecer plantaciones maderables considerando el elemento **“supervivencia de la especie”**.

Especie	<i>P. durangensis</i>	<i>P. engelmannii</i>	<i>P. chihuahuana</i>	<i>P. arizonica</i>	<i>P. cembroides</i>	<i>P. leiophylla</i>
<i>P. durangensis</i>	1					
<i>P. engelmannii</i>		1				
<i>P. chihuahuana</i>			1			
<i>P. arizonica</i>				1		
<i>P. cembroides</i>					1	
<i>P. leiophylla</i>						1

4. Matriz para definir preferencia de especies para establecer plantaciones maderables considerando el elemento **“susceptibilidad a plagas y enfermedades”**.

Especie	<i>P. durangensis</i>	<i>P. engelmannii</i>	<i>P. chihuahuana</i>	<i>P. arizonica</i>	<i>P. cembroides</i>	<i>P. leiophylla</i>
<i>P. durangensis</i>	1					
<i>P. engelmannii</i>		1				
<i>P. chihuahuana</i>			1			
<i>P. arizonica</i>				1		
<i>P. cembroides</i>					1	
<i>P. leiophylla</i>						1

5. Matriz para definir preferencia de especies para establecer plantaciones considerando el elemento **“productividad de la especie”**.

Especie	<i>Prosopis laevigata</i>	<i>Acacia farnesiana</i>
<i>Prosopis laevigata</i>	1	
<i>Acacia farnesiana</i>		1

6. Matriz para definir preferencia de especies para establecer plantaciones considerando el elemento **“comercialización de la especie”**.

Especie	<i>Prosopis laevigata</i>	<i>Acacia farnesiana</i>
<i>Prosopis laevigata</i>	1	
<i>Acacia farnesiana</i>		1

3.2. Especies no maderables

1. Matriz para definir preferencia de especies para establecer plantaciones no maderables considerando el elemento **“productividad de la especie”**.

Especie	<i>Agave durangensis</i>	<i>Agave lechuguilla</i>
<i>Agave durangensis</i>	1	
<i>Agave lechuguilla</i>		1

2. Matriz para definir preferencia de especies para establecer plantaciones no maderables considerando el elemento **“comercialización de la especie”**.

Especie	<i>Agave durangensis</i>	<i>Agave lechuguilla</i>
<i>Agave durangensis</i>	1	
<i>Agave lechuguilla</i>		1

3. Matriz para definir preferencia de especies para establecer plantaciones no maderables considerando el elemento **“productividad de la especie”**.

Especie	<i>Agave angustifolia</i>	<i>Agave lechuguilla</i>
<i>Agave angustifolia</i>	1	
<i>Agave lechuguilla</i>		1

4. Matriz para definir preferencia de especies para establecer plantaciones no maderables considerando el elemento **“comercialización de la especie”**.

Especie	<i>Agave angustifolia</i>	<i>Agave lechuguilla</i>
<i>Agave angustifolia</i>	1	
<i>Agave lechuguilla</i>		1

5. Matriz para definir preferencia de especies para establecer plantaciones no maderables considerando el elemento **“productividad de la especie”**.

Especie	<i>Dasyllirion</i> sp.	<i>Euphorbia antisyphilitica</i>	<i>Lippia berlandieri</i>
<i>Dasyllirion</i> sp.	1		
<i>Euphorbia antisyphilitica</i>		1	
<i>Lippia berlandieri</i>			1

6. Matriz para definir preferencia de especies para establecer plantaciones no maderables considerando el elemento **“comercialización de la especie”**.

Especie	<i>Dasyllirion</i> sp.	<i>Euphorbia antisyphilitica</i>	<i>Lippia berlandieri</i>
<i>Dasyllirion</i> sp.	1		
<i>Euphorbia antisyphilitica</i>		1	
<i>Lippia berlandieri</i>			1

7. Matriz para definir preferencia de especies para establecer plantaciones no maderables considerando el elemento **“productividad de la especie”**.

Especie	<i>Dasyllirion</i> sp.	<i>Parthenium argentatum</i>	<i>Yucca</i> spp.	<i>Simmondsia chinensis</i>
<i>Dasyllirion</i> sp.	1			
<i>Parthenium argentatum</i>		1		
<i>Yucca</i> spp.			1	
<i>Simmondsia chinensis</i>				1

8. Matriz para definir preferencia de especies para establecer plantaciones no maderables considerando el elemento **“comercialización de la especie”**.

Especie	<i>Dasyllirion</i> sp.	<i>Parthenium argentatum</i>	<i>Yucca</i> spp.	<i>Simmondsia chinensis</i>
<i>Dasyllirion</i> sp.	1			
<i>Parthenium argentatum</i>		1		
<i>Yucca</i> spp.			1	
<i>Simmondsia chinensis</i>				1

4.- Considera que debería agregarse algún elemento más a este estudio

¡GRACIAS!

ANEXO 6

Superficies (ha) con aptitud para las especies de interés por municipio, mediante AHP-WLC.

ESPECIE	APTITUD	MUNICIPIO						TOTAL (ha)
		DURANGO	NOMBRE DE DIOS	SUCHIL	MAPIMÍ	NAZAS	RODEO	
<i>Pinus durangensis</i> Ehren.	Alta	6464	---	---	---	---	---	6464
	Media	3908	---	---	---	---	---	3908
	Baja	13353	---	---	---	---	---	13353
<i>Pinus engelmannii</i> Carr.	Alta	8298	---	---	---	---	---	8298
	Media	1441	---	---	---	---	---	1441
	Baja	6450	---	10159	---	---	---	16609
<i>Pinus arizonica</i> Engelm.	Alta	12483	---	---	---	---	---	12483
	Media	14500	---	589	---	---	---	15089
	Baja	40209	2065	15829	---	---	---	58104
<i>Pinus chihuahuana</i> Engelm.	Alta	9142	---	---	---	---	---	9142
	Media	13761	---	---	---	---	---	13761
	Baja	48161	---	---	---	---	---	48161
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. et. Cham.	Alta	8149	---	---	---	---	---	8149
	Media	4394	---	---	---	---	---	4394
	Baja	9707	---	---	---	---	---	9707
<i>Pinus cembroides</i> Zucc.	Alta	27508	---	---	---	---	---	27508
	Media	50964	---	12871	---	---	---	63835
	Baja	57375	2096	9498	---	---	---	68969
<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd.	Alta	---	---	---	---	---	---	0
	Media	81936	---	---	---	5281	4384	91601
	Baja	108581	58440	385	2547	11318	8059	189329
<i>Prosopis laevigata</i> (Humb. & Willd)	Alta	---	---	---	---	6000	577	6577
	Media	80290	---	43	1483	94814	27483	204114
	Baja	115725	65353	5082	9536	39906	31460	267061

Continúa...

...continuación

ESPECIE	APTITUD	MUNICIPIO						TOTAL (ha)
		DURANGO	NOMBRE DE DIOS	SUCHIL	MAPIMÍ	NAZAS	RODEO	
<i>Agave durangensis</i> Gentry	Alta	9002	18455	9816	---	---	---	37273
	Media	25712	18470	16735	---	---	---	60917
	Baja	92392	45179	14955	---	---	---	152527
<i>Agave lechuguilla</i> Torr.	Alta	33481	---	---	---	116	2056	35653
	Media	107733	34787	31612	918	18059	18782	211892
	Baja	102605	67956	9171	10294	31973	30517	252517
<i>Agave angustifolia</i> Haw.	Alta	317	---	---	---	---	---	317
	Media	87118	---	77	---	6394	7194	100784
	Baja	120274	78127	18114	9478	19023	19705	264721
<i>Lippia berlandieri</i> Schauer.	Alta	---	---	---	---	1123	2840	3963
	Media	---	---	---	46052	56457	12973	115482
	Baja	---	---	---	214233	65901	18668	298802
<i>Euphorbia antisyphilitica</i> Zucc.	Alta	---	---	---	---	3050	3637	6688
	Media	---	---	---	---	6762	10459	17221
	Baja	---	---	---	---	60187	16879	77066
<i>Dasyllirion</i> sp.	Alta	---	---	---	---	7542	4367	11909
	Media	---	---	---	647	9388	4103	14138
	Baja	---	---	---	15981	35101	55428	106510
<i>Parthenium argentatum</i> Gray.	Alta	---	---	---	---	---	---	0
	Media	---	---	---	19	4700	15265	19984
	Baja	---	---	---	68168	15406	20003	103577
<i>Simmondsia chinensis</i> (Link.) S.	Alta	---	---	---	8465	1777	7716	17958
	Media	---	---	---	7489	64468	37956	109913
	Baja	---	---	---	2395	56632	33239	92267
<i>Yucca</i> spp.	Alta	---	---	---	---	---	---	0
	Media	---	---	---	36047	10830	5118	51995
	Baja	---	---	---	194468	7031	36125	237624