



Revista Fitotecnia Mexicana

ISSN: 0187-7380

revfitotecniamex@gmail.com

Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C.

México

Olivas Gallegos, Uriel Esaú; Valdez Lazalde, J. René; Aldrete, Arnulfo; González Guillén, Manuel de J.; Vera Castillo, Gil

Áreas con aptitud para establecer plantaciones de maguey cenizo: definición mediante análisis multicriterio y sig

Revista Fitotecnia Mexicana, vol. 30, núm. 4, 2007, pp. 411-419

Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C.

Chapingo, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61030408>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

 redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

ÁREAS CON APTITUD PARA ESTABLECER PLANTACIONES DE MAGUEY CENIZO: DEFINICIÓN MEDIANTE ANÁLISIS MULTICRITERIO Y SIG

SUITABLE AREAS FOR ESTABLISHING MAGUEY CENIZO PLANTATIONS: DEFINITION THROUGH MULTICRITERIA ANALYSIS AND GIS

Uriel Esaú Olivas Gallegos¹, J. René Valdez Lazalde^{1*}, Arnulfo Aldrete¹,
Manuel de J. González Guillén¹ y Gil Vera Castillo²

¹ Colegio de Postgraduados. Km 36.5 Carr. México-Texcoco. 56230, Montecillo, Texcoco, Edo. de México. Tel (595) 952-0246 ó 952-0200 Ext. 1482.

²Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carr. México-Veracruz. Texcoco, Edo. de México.

*Autor para correspondencia (valdez@colpos.mx)

RESUMEN

La evaluación del grado de aptitud de los terrenos permite identificar su capacidad inherente para apoyar el uso más apropiado. Este estudio usó el proceso de análisis jerarquizado (PAJ) en un entorno de sistemas de información geográfica (SIG) para definir áreas con aptitud para establecer *Agave durangensis* Gentry en tres municipios del Estado de Durango, México. Se utilizó información cartográfica de clima, suelo y topografía, además de la opinión de cuatro expertos plantadores forestales para evaluar el grado de aptitud de la tierra. Los resultados indican que existen aproximadamente 50 736 ha con aptitud alta, de las cuales 22 427 ha se encuentran en el municipio Nombre de Dios, 16 480 ha en el municipio Durango y 11 829 ha en Suchil. Se detectaron 53 138 ha de aptitud media y 148 912 ha de aptitud baja distribuidas en la región de estudio. La implementación de la técnica PAJ en un ambiente espacial mostró ser útil para incorporar el conocimiento de plantadores expertos en el proceso de toma de decisiones, para la localización espacial y para la cuantificación de superficies con diferente grado de aptitud para el establecimiento de plantaciones de *Agave durangensis* Gentry.

Palabras clave: *Agave durangensis*, evaluación multicriterio espacial, sistemas de información geográfica, proceso analítico jerarquizado.

SUMMARY

Land suitability analysis helps to identify the natural capacity of a land unit to support its most appropriate use. In this study the analytical hierarchy process (AHP) was implemented with a geographic information system (GIS) to define suitable areas for planting *Agave durangensis* Gentry in three counties of Durango State in México. Climate, soil and topographic cartographic information, and judgments of expert foresters were used to assess land suitability. The results indicate that 50 736 ha have high suitability, of which 22 427 ha are located in Nombre de Dios county, 16 480 ha in Durango county and 11 829 ha located in Suchil county. As medium suitability 53 138 ha were categorized and 148 912 ha with low suitability. The AHP technique implemented in a spatial environment is useful to incorporate expert knowledge in the decision making process, and to

quantify areas with different levels of suitability for establishing *Agave durangensis* Gentry plantations.

Index words: *Agave durangensis*, spatial multicriteria evaluation, geographic information systems, analytic hierarchy process .

INTRODUCCIÓN

Agave durangensis Gentry (maguey cenizo) es una especie de importancia económica que se distribuye en las zonas semiáridas del Estado de Durango, particularmente en los municipios de Nombre de Dios, Suchil y Durango. Ésta y otras especies del género se han aprovechado de manera empírica desde tiempo atrás en el estado para producir mezcal, bebida alcohólica con denominación de origen que se pretende alcance los niveles de calidad y producción similares a los del tequila (Valenzuela *et al.*, 2003). Su aprovechamiento representa una fuente de recursos económicos importante para los habitantes de las comunidades rurales que, en general, viven en condiciones sociales marginales.

Desafortunadamente en los últimos años se ha aprovechado la planta de manera irracional por productores locales y de otras entidades, lo que ha provocado el deterioro del recurso y puesto en riesgo su sustentabilidad. De acuerdo con Valenzuela *et al.* (2003), la reproducción y establecimiento en forma natural del maguey mezcalero en las zonas productoras de Durango, no es suficiente para abastecer el volumen de mezcal que demanda el mercado estatal, nacional y recientemente internacional, lo que pone en grave riesgo la continuidad del aprovechamiento y la conservación de la especie.

La importancia económica del agave para los pobladores, aunada a la problemática descrita, obliga a implementar acciones que reviertan la condición decadente del recurso. Una de ellas es impulsar la repoblación de la especie mediante el desarrollo de plantaciones en los terrenos de mayor aptitud, y maximizar así su supervivencia y productividad.

Para establecer plantaciones forestales exitosas, desde una perspectiva agroecológica, es necesario tener conocimiento detallado de al menos tres aspectos: 1) Los requerimientos climáticos, edáficos y fisiográficos de las especies; 2) Las características edafoclimáticas y fisiográficas de los sitios donde se pretende plantar; y 3) Un método que permita unificar los dos aspectos anteriores.

La evaluación de la aptitud de un terreno, definida como su capacidad para servir a un uso determinado, requiere de un proceso a través del cual se predice la capacidad inherente de la tierra para servir a dicho uso durante un tiempo. Existen varios sistemas de evaluación para determinar la aptitud de las tierras, por lo que en la planificación del uso del suelo la elección del método de evaluación depende mucho de los usos a ser considerados en la planificación (Santé y Crescente, 2005).

Una herramienta que recientemente ha destacado por su utilidad en el mapeo y análisis de la aptitud de la tierra son los sistemas de información geográfica (SIG) (Malczewski, 2004). Éstos permiten integrar de manera expedita y eficaz variables biofísicas y climáticas de un área determinada. Adicionalmente, es posible incorporar a los procedimientos de SIG información no espacial, por ejemplo la opinión de expertos en la materia, información que puede ser tan importante como los datos e información espacial del ambiente.

En México, tradicionalmente se ha utilizado la técnica de álgebra booleana en un entorno de SIG como proceso fundamental para definir aptitud de áreas (Meza, 2002; Moreno y Moreno, 1995). Sin embargo, esta técnica de análisis multicriterio presenta desventajas importantes, pues considera que todas las variables biofísicas y climáticas tienen igual importancia, condición que rara vez es cierta en la realidad; adicionalmente, los resultados que se obtienen con el álgebra booleana solamente reflejan las categorías extremas de aptitud (áreas aptas y de nula aptitud), sin estimar el grado o nivel intermedio.

Actualmente empiezan a ser integradas en los SIG otras técnicas de modelación cartográfica para solucionar problemas de mayor complejidad, que superan las desventajas que presentan las técnicas convencionales de álgebra booleana. Entre ellas destacan la evaluación multicriterio es-

pacial (Malczewski, 2004), la cual tiene su fundamento en la teoría y conceptos de la toma de decisiones. Es una herramienta de apoyo para la descripción, evaluación, ordenación, jerarquización y selección de alternativas o cursos de acción (Barredo, 1996). El proceso implica la entrada de los datos geográficos, las preferencias del tomador de decisiones y la manipulación de los datos e información mediante reglas de decisión (Malczewski, 2004). Para ello el tomador de decisiones debe articular sus objetivos e identificar los criterios útiles para indicar el grado con que estos objetivos se logran, además de formar una estructura jerárquica de los criterios en evaluación (Malczewski, 1999). Por ejemplo, Ceballos y López (2003) integraron variables biofísicas y un proceso de evaluación multicriterio en un SIG, al utilizar componentes ambientales como clima, suelo y topografía, en la definición de áreas con aptitud para establecer cultivos de avena (*Avena sativa* L.) en Toluca, México.

Una de las técnicas de evaluación multicriterio es el proceso analítico jerarquizado (PAJ –AHP analytic hierarchy process), la cual fue diseñada para reflejar la manera de pensar de la gente ante problemas complejos, asumiendo que mediante la comparación de pares de criterios es posible derivar la importancia relativa de éstos. Parte del supuesto que los expertos tienen una habilidad innata para emitir juicios sobre pequeños problemas y asignar valores numéricos a dichos juicios (Romero, 1996; FAO, 2000). La técnica consiste en descomponer un problema complejo de decisión en grupos y jerarquías simples. En una matriz de comparación pareada se confrontan los criterios relevantes identificados para establecer su peso o importancia en la toma de decisiones (v. g., definir áreas con aptitud para establecer plantaciones).

El PAJ es un proceso debido a que no hay un preciso instante en que se toma la decisión, es analítico porque utiliza un razonamiento lógico-matemático que representa el conocimiento y entendimiento del tomador de decisiones a un problema, y es jerárquico porque descompone el problema en decisiones de menor dimensión.

Los objetivos de este estudio fueron: 1) Localizar áreas con aptitud para el establecimiento de plantaciones de agave cenizo en tres municipios del estado de Durango, y 2) Mostrar la aplicación del proceso analítico jerarquizado (PAJ) en un ambiente de SIG.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio

El estudio se desarrolló en los municipios Durango, Nombre de Dios y Suchil, del Estado de Durango (Figura



Figura 1. Localización geográfica del área de estudio.

1), localizados entre las coordenadas 23° 13' y 24° 43' LN y 103° 79' y 105° 58' LO, con una superficie aproximada de 12 342 km².

Características ecológicas de la especie bajo estudio

Un paso fundamental para realizar estudios de aptitud de tierras es conocer los requerimientos climáticos, fisiográficos y edáficos de la especie de interés. El agave cienizo se distribuye de manera natural en los Estados de Durango y Zacatecas, en altitudes entre 1500 y 3000 m; se encuentra asociada a vegetación de matorrales xerófilos (crasicaule y espinoso) y a pastizales naturales. Se desarrolla en suelos calcáreos, líticos éutrícos y xerosoles en las faldas de los cerros, no soporta terrenos planos debido a que puede acumularse agua en el suelo y causar pudrición del sistema radical; requiere poca profundidad de suelo para su desarrollo (0.25 a 0.50 m). Se le encuentra en áreas con temperatura media anual de 16.1 °C, máxima de 37.8 °C; su límite de temperatura mínima es de -6 °C. En condiciones naturales se desarrolla en áreas donde la precipitación varía entre 400 y 600 mm anuales (Valenzuela *et al.*, 2003).

Criterios para la selección de áreas con aptitud

Se seleccionaron los criterios que se consideraron relevantes para el buen desarrollo de la especie. 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; todos ellos conferencistas invitados en la VII Reunión Nacional de Plantaciones Forestales, celebrada en Morelia, Michoacán en noviembre de 2005. 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. El análisis de estos datos se detalla párrafos abajo en la sección denominada proceso analítico jerarquizado.

Base de datos cartográfica

Inicialmente 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 del 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.

Proceso analítico jerarquizado (PAJ)

Para determinar la aptitud de la tierra para el establecimiento de plantaciones de la especie en estudio, y bajo un entorno de un SIG, se utilizó el método de evaluación multicriterio PAJ, propuesto por Saaty (1980, 1994). El PAJ utiliza una escala de valores de 1 al 9 (Cuadro 1) para asignar valores numéricos a los juicios hechos por las personas (considerados expertos en el problema de estudio). Se mide la contribución de cada elemento de la jerarquía al nivel inmediato superior al comparar dos criterios a la vez; es decir, mediante el procedimiento de comparación pareada (Malczewski, 1999).

La jerarquización del problema en estudio se muestra en la Figura 2. Se observa el objetivo o meta a lograr (de-

finición del grado de aptitud de la tierra para el establecimiento de plantaciones de agave), los criterios (clima, suelo y topografía), subcriterios (precipitación, temperatura mínima, temperatura máxima, profundidad, textura, pH, altitud y pendiente), y las alternativas existentes (escala de 0 a 1). Se definieron cuatro categorías de aptitud: valores de 0 a 0.7 son no aptos o con aptitud marginal, de 0.7 a 0.8 son de aptitud baja, de 0.8 a 0.9 son de aptitud media y de 0.9 a 1 son de aptitud alta.

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. Este procedimiento se hizo mediante el método de comparación pareada a través del cálculo del máximo eigen vector en el programa R (The R Foundation for Statistical Computing, 2005). Inicialmente se definieron cinco niveles de aptitud para cada subcriterio en estudio (S1, S2, S3, N1 y N2), de los cuales S1 representa el cumplimiento ideal del subcriterio, cumplimiento que decrece hasta N2 el cual representa un cumplimiento marginal del subcriterio (Cuadro 2); la clase 0 indica los valores del intervalo que podrían resultar fatales para la especie. El Cuadro 3 muestra a manera de ejemplo, la matriz de comparación pareada utilizada para estandarizar el subcriterio precipitación en función de los requerimientos ecológicos para la especie; para su llenado se utilizó la escala (Cuadro 1), cuyo procedimiento es detallado por Saaty (1980). El resto de los subcriterios utilizados en la evaluación se procesaron de manera similar, y sólo se presentan los valores definidos para cada nivel (Cuadro 4).

Cuadro 1. Escala fundamental utilizada en la comparación por pares.

Intensidad de importancia	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Dos actividades contribuyen igualmente al logro del 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 cero	Si se asigna a_{ij} al comparar la actividad i con la j, entonces se asigna $a_{ij} = 1/a_{ij}$ al comparar la j con la i.	Supuesto razonable

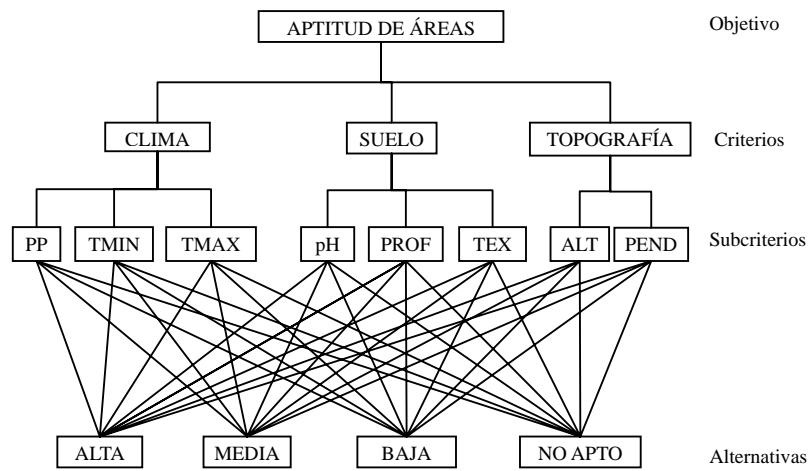


Figura 2. Jerarquización del problema de decisión. PP = Precipitación; TMIN = Temperatura mínima; TMAX = Temperatura máxima; PROF = Profundidad; TEX = Textura; ALT = Altitud; PEND = Pendiente.

Cuadro 2. Clasificación de valores para estandarizar los subcriterios para *Agave durangensis*.

Precipitación (mm)		Temperatura mínima (°C)		Temperatura máxima (°C)	
Intervalo	Clase	Intervalo	Clase	Intervalo	Clase
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		

Profundidad		Textura		pH	
Intervalo	Clase	Tipo	Clase	Tipo	Clase
0.1 a 1 m	S1	Gruesa	S2	Ácido	0
> 1 m	0	Media	S1	Ligeramente ácido	0
		Fina	0	Neutro a alcalino	S1

Altitud (msnm)		Pendiente (%)	
Intervalo	Clase	Intervalo	Clase
< 1500	0	0 a 5	0
1500 a 2000	S1	5 a 20	S1
2000 a 2500	S2	20 a 30	S2
2500 - 3000	S3	> 30	0
> 3000	0		

Cuadro 3. Matriz de comparación pareada utilizada para estandarizar el subcriterio precipitación.

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

S1 = Cumplimiento total del subcriterio; N2 = Cumplimiento marginal del subcriterio; S2, S3 y N1 representan un grado de cumplimiento intermedio entre S1 y N2.

Con base a la estandarización mediante comparación de pares de los criterios y subcriterios, se asignaron los valores correspondientes de acuerdo con los requerimientos ecológicos de la especie, en valores de 0 a 1 (Cuadro 4).

Después de estandarizar los subcriterios, se estimaron los pesos (importancia) de cada uno de ellos en la definición de las áreas con aptitud para plantar la especie de interés. Para ello fue necesario incorporar en el proceso información de expertos plantadores. Con esa finalidad se diseñó, calibró y aplicó una encuesta mediante una entrevista directa con 11 expertos en el establecimiento de plantaciones forestales, a partir de las cuales se derivaron los pesos (Cuadro 5) para cada criterio y subcriterio evaluado. Se procesaron las encuestas con el programa IDRISI, mediante la aplicación del módulo WEIGHT (Eastman, 2003).

Existe el riesgo de que el peso asignado por los expertos a cada criterio y subcriterio resulte inadecuado, como resultado de comparaciones pareadas erróneas o incongruentes. Para eliminar tal riesgo, el método incluye el cálculo de un índice de consistencia (IC) que mide la solidez de las comparaciones y muestra la probabilidad de que los valores de importancia sean generados de manera aleatoria. Un valor de IC menor de 0.10 se considera adecuado en las comparaciones (Saaty, 1980; Malczewski, 1999). Una vez obtenidos los resultados, se eliminaron los que mostraron una consistencia inadecuada ($IC > 0.10$), y posteriormente se obtuvo el promedio de las ponderaciones consistentes, que fueron cuatro en total.

Finalmente, con el programa IDRISI se construyó un modelo cartográfico que permitió desarrollar el PAJ. En resumen, 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) (Figura 3). 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.

Cuadro 4. Valores estandarizados para los subcriterios utilizados.

Subcriterios					
Precipitación	Valor	Temp. Máxima	Valor	Temp. Mínima	Valor
S1	1.00	S1	1.00	S1	1.00
S2	0.58	S2	0.67	S2	0.67
S3	0.30	S3	0.36	S3	0.36
N1	0.09	N1	0.16	N1	0.16
N2	0.06	N2	0.07	N2	0.07
Profundidad	Valor	pH	Valor	Textura	Valor
S1	1.00	S1	1.00	S1	1.00
S2	0.58	S2	0.53	S2	0.51
S3	0.30	S3	0.35	S3	0.27
N1	0.09	N1	0.16	N1	0.09
N2	0.06	N2	0.13	N2	0.05
Altitud	Valor	Pendiente	Valor		
S1	1.00	S1	1.00		
S2	0.61	S2	0.61		
S3	0.35	S3	0.35		
N1	0.12	N1	0.12		
N2	0.07	N2	0.07		

Cuadro 5. Pesos definidos por los expertos para cada criterio y subcriterio en evaluación.

Criterios					
<u>Criterio</u>	<u>Peso (W)</u>	<u>Criterio</u>	<u>Peso (W)</u>	<u>Criterio</u>	<u>Peso (W)</u>
Clima	0.54	Suelo	0.35	Topografía	0.11
Subcriterios					
<u>Clima</u>	<u>Peso (W)</u>	<u>Suelo</u>	<u>Peso (W)</u>	<u>Topografía</u>	<u>Peso (W)</u>
Precipitación	0.62	Profundidad	0.43	Altitud	0.57
Temp. máxima	0.17	Textura	0.24	Pendiente	0.43
Temp. mínima	0.20	pH	0.32		

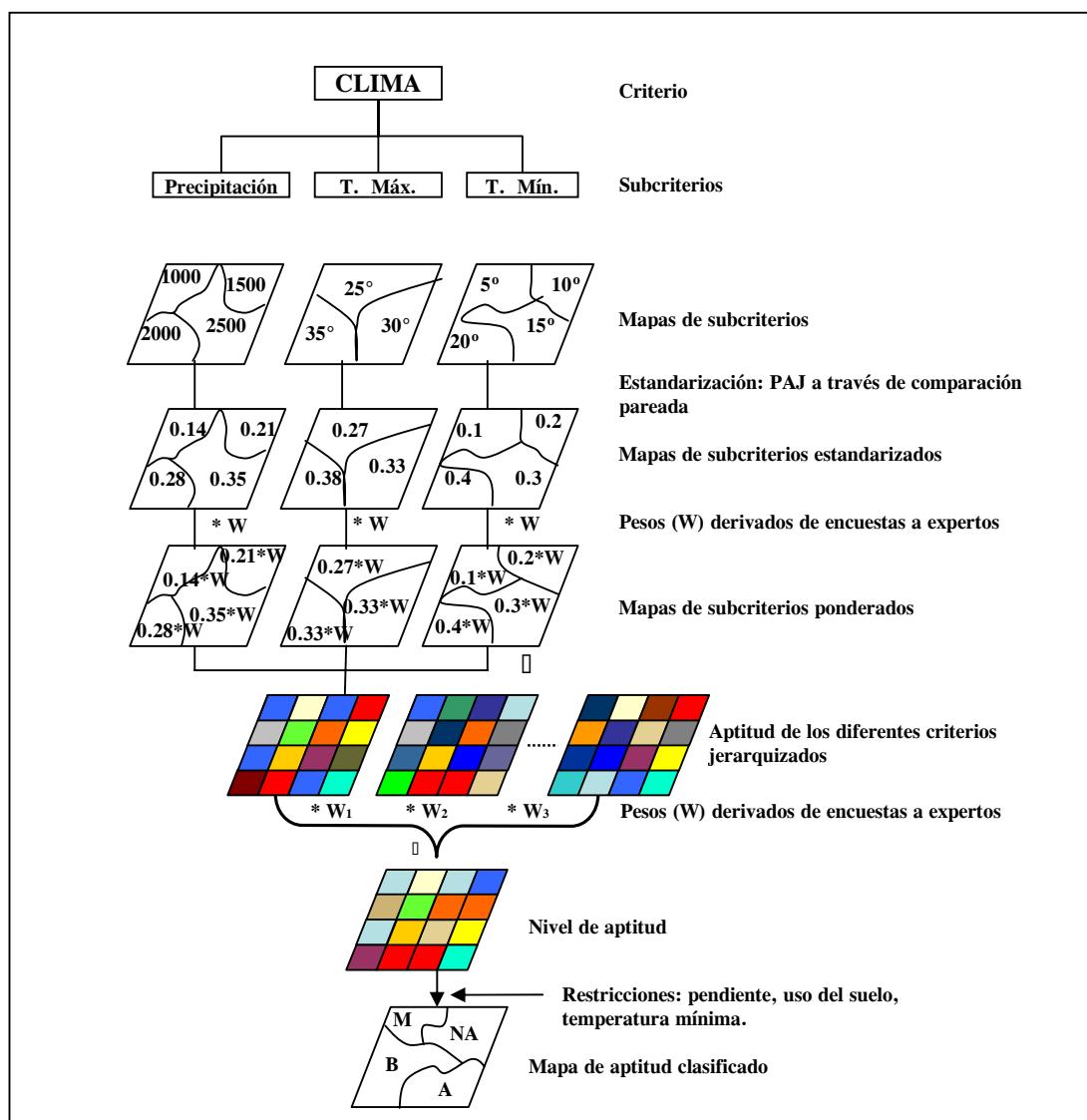


Figura 3. Modelo cartográfico implementado para localizar espacialmente las áreas para el establecimiento de maguey cenizo.

En una última fase, el mapa de aptitud preliminar fue manipulado mediante procedimientos del álgebra booleana para discriminar del análisis, las áreas que actualmente tienen uso con baja o nula posibilidad de cambio de uso por razones diversas: legales (áreas forestales arboladas, áreas de conservación biológica), uso permanente definido (urbano, carreteras, cuerpos de agua), mayor rentabilidad (agricultura intensiva), y otros.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El PAJ incorpora la opinión de los expertos (v. g., encuestas aplicadas a expertos en el establecimiento de las plantaciones forestales) en el análisis para ponderar los criterios y subcriterios. Pero al analizar los resultados se observaron inconsistencias en las respuestas u opiniones de los expertos. Por lo anterior, se utilizaron únicamente las respuestas de cuatro expertos que mostraron consistencia en el proceso; con ellas se calculó la media aritmética de los valores obtenidos. El criterio más importante fue el clima, seguido por el suelo y finalmente la topografía

(Cuadro 5). Dentro de cada criterio se estimó el peso de cada subcriterio utilizado en la evaluación (Cuadro 5).

La Figura 4 muestra la distribución espacial de las áreas identificadas con diferente grado de aptitud para establecer maguey cenizo en los municipios de interés; 50 736 ha corresponden a aptitud alta, de las cuales 22 427 ha se localizan en la parte sur-centro del municipio Nombre de Dios, 16 480 ha en el sureste del municipio Durango, y 11 829 ha en la parte norte de Suchil. Una superficie relativamente similar (53 138 ha) corresponde a aptitud media, con una distribución espacial relativamente contigua a las áreas de aptitud alta. Estas áreas, identificadas en los municipios Durango y Nombre de Dios, coinciden con las zonas señaladas como mezcaleras por Valenzuela *et al.* (2003). Una superficie mucho más grande de aptitud baja (148 912 ha) fue identificada en la zona Oriental de los tres municipios que conforman la región de estudio.

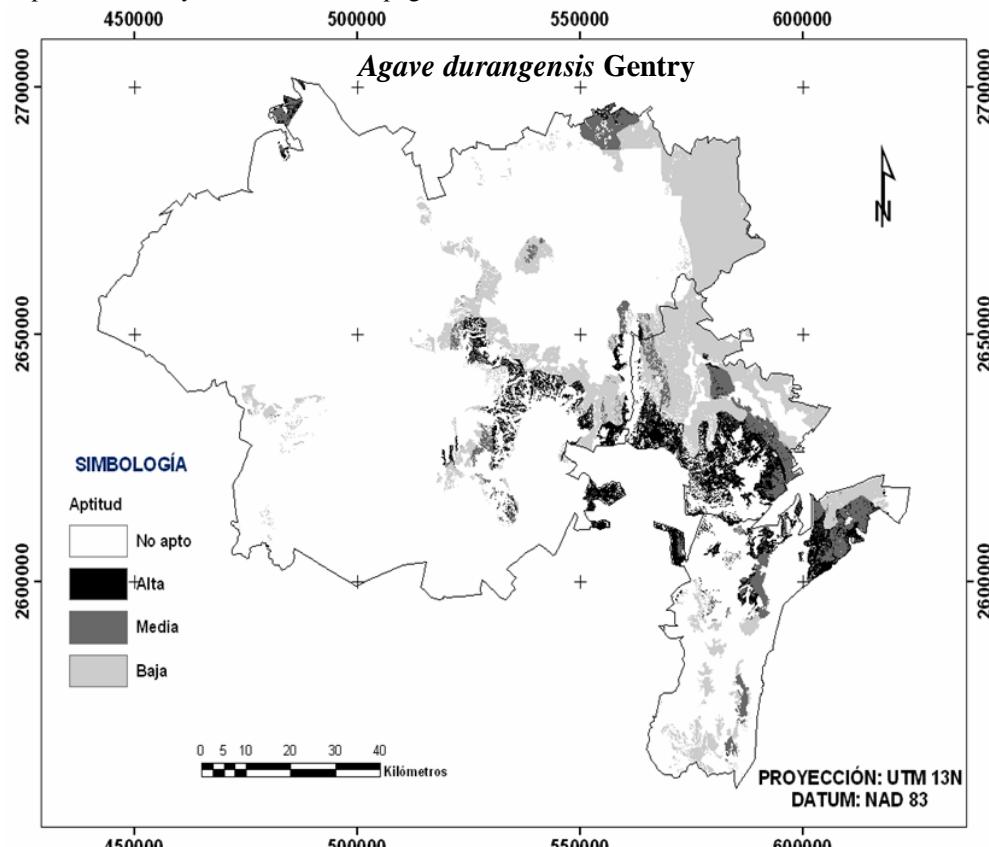


Figura 4. Distribución espacial de áreas con aptitud para maguey cenizo.

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 la especie. La superficie que registró niveles de temperatura mínima considerada como no aceptable o por debajo de los requerimientos ecológicos de las especies fue excluida del análisis.

La precisión de estos resultados depende en gran medida de la información espacial y de la información incorporada en el proceso para la definición de las áreas con aptitud. 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 proveen información valiosa como apoyo a los procesos de la toma de decisiones inmersos en la planeación de programas y proyectos de plantaciones de agave de la región.

Una consideración de importancia al implementar el PAJ en un SIG, es que el proceso permite ser retroalimentado; es decir, permite mejorar la consistencia de los juicios de los expertos mediante revisión de las encuestas a partir de las cuales se hacen las comparaciones pareadas, y la incorporación de nueva información que se haya generado en el proceso y que sea consistente.

CONCLUSIONES

La técnica de evaluación multicriterio PAJ mostró tener utilidad para incorporar en un ambiente de SIG la información espacial y las opiniones consistentes de los expertos. Sin embargo, es importante asegurar que las bases de datos a utilizar sean las correctas. Idealmente se deberían utilizar escalas más grandes (1:25 000 ó 1:50 000) y de resolución espacial menor a 30 m, que para el caso de México se han generado escasamente. También es importante considerar la factibilidad financiera y social del uso de la tierra, estudios de mercado, estudios de procedencia y progenie, de manera que en conjunto estos factores aporten mejores elementos para la toma de decisiones. Es importante asegurar que exista el conocimiento y la habilidad del personal que toma las decisiones para aplicar este tipo de técnicas.

AGRADECIMIENTOS

A la Comisión Nacional Forestal y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo financiero otorgado en este trabajo mediante el proyecto 2002-C01-6537/A-1.

BIBLIOGRAFÍA

- Barredo C J I (1996)** Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la Ordenación del Territorio. Ed. RA-MA. Madrid, España. 258 p.
- Ceballos S A, J López B (2003)** Evaluating biophysical variables to identify suitable areas for oat in Central Mexico: A multi-criteria and GIS approach. *Agric. Ecosys. Environ.* 95:371-377.
- Eastman J R (2003)** IDRISI Version 14.0 Kilimanjaro. Guía para SIG y Procesamiento de Imágenes. Clark Worcester, MA. 290 p.
- FAO (2000)** El Proceso Analítico Jerárquico y su Aplicación para Determinar los Usos de la Tierra. Informe Técnico No. 2. Santiago, Chile. 65 p.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, INEGI (2005)** Sistema de Elevación digital *In:* <http://www.inegi.gob.mx> (15/10/05).
- Maleczewski J (1999)** GIS and Multicriteria Decision Analysis. John Wiley. Ontario, Canada. 392 p.
- Maleczewski J (2004)** GIS-based land-use suitability analysis: A critical overview. *Progr. Planning* 62:3-65.
- Meza S R (2002)** Identificación de Áreas Potenciales para Palo de Arco Mediante el Uso de SIG en Baja California Sur. Folleto Científico No. 1. SAGARPA-INIFAP, Campo Experimental Todos los Santos. La Paz, Baja California Sur, México. 25 p.
- Moreno S R, F Moreno S (1995)** Los sistemas de información geográfica en la administración de recursos naturales: Recomendaciones de las experiencias del INIFAP. *Ciencia For.* Méx. 20:93-109.
- The R Foundation for Statistical Computing (2005)** R Software. Free Software Foundation *In:* <http://www.r-project.org> (20/11/05).
- Romero C (1996)** Análisis de las Decisiones Multicriterio. Publicaciones de Ingeniería de Sistemas. Isdefe. 4 ed. Madrid, España. 115 p.
- Saaty T L (1980)** The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill. USA. 269 p.
- Saaty T L (1994)** Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the AHP. The Analytic Hierarchy Process Series. Vol. VI. RWS Publications, Pittsburgh, PA. 527 p.
- Santé R I, R Crecente M (2005)** Evaluación de métodos para la obtención de mapas continuos de aptitud para usos agroforestales. *Geo-Focus* 5:40-68.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT (2002)** Evaluación de la Degradoación del Suelo Causada por el Hombre en la República Mexicana Escala 1:250 000. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales – Colegio de Postgrados. Memoria Nacional. 68 p.
- Valenzuela R J F, O H Velasco G, M A Marcos L (2003)** Desarrollo Sustentable de Agave Mezcalero en Durango. CIIDIR . Instituto Politécnico Nacional, Unidad Durango – Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 171. Nombre de Dios, Durango. 188 p.