



SECRETARÍA DE AGRICULTURA,
GANADERÍA, DESARROLLO RURAL,
PESCA Y ALIMENTACIÓN

SAGARPA

inifap

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias



SECRETARÍA DE AGRICULTURA,
GANADERÍA, DESARROLLO RURAL,
PESCA Y ALIMENTACIÓN

SAGARPA

ISBN 978-970-43-0277-1
inifap

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias



COMISIÓN NACIONAL FORESTAL



SEP • CONACYT

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES
FORESTALES, AGRICOLAS Y PECUARIAS**
CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL DEL NORESTE
CAMPO EXPERIMENTAL SALTILLO

DETERMINACIÓN DE AREAS POTENCIALES PARA EL ESTABLECIMIENTO DE PLANTACIONES DE SOTOL (*Dasyllirion cedrosanum* Trel.) EN EL ESTADO DE COAHUILA

RECONOCIMIENTO

Se agradece al Fondo CONAFOR-CONACYT a través del proyecto C03-10376, a la Fundación Produce Coahuila A. C. y a la Secretaría de Fomento Agropecuario del estado de Coahuila por las aportaciones económicas brindadas para la realización del presente trabajo.



**SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA,
DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN**

ING. ALBERTO CARDENAS JIMENEZ
Secretario

ING. FRANCISCO LOPEZ TOSTADO
Subsecretario de Agricultura y Ganadería

ING. ANTONIO RUIZ GARCIA
Subsecretario de Desarrollo Rural

ING. JEFREY MAX JONES JONES
Subsecretario de Fomento a los Agronegocios

C. RAMON CORRAL AVILA
Comisionado Nacional de Acuacultura y Pesca

LIC. JOSE DE JESUS LEVY GARCIA
Oficial Mayor

**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES,
AGRICOLAS Y PECUARIAS**

Ph. D. PEDRO BRAJCICH GALLEGOS
Director General

Dr. SALVADOR FERNANDEZ RIVERA
Coordinador de Investigación Innovación y Vinculación

Dr. ENRIQUE ASTENGO LOPEZ
Coordinador de Planeación y Desarrollo

LIC. MARCIAL ALFREDO GARCIA MORTEO
Coordinador de Administración y de Sistemas

CENTRO DE INVESTIGACION REGIONAL DEL NORESTE

Ph. D. EBASTIAN ACOSTA NUÑEZ
Director Regional

Ph. D. JORGE ELIZONDO BARRON
Director de Investigación

M. A. JOSE LUIS CORNEJO ENCISO
Director de Administración

M. C. GUSTAVO J. LARA GUAJARDO
Director de Coordinación y Vinculación en Coahuila

GOBIERNO DEL ESTADO DE COAHUILA

PROF. HUMBERTO MOREIRA VALDEZ
Gobernador Constitucional del Estado

C. HECTOR FERNANDEZ AGUIRRE
Secretario de Fomento Agropecuario

ING. HECTOR DE LA FUENTE RODRIGUEZ
Subsecretario Agropecuario y de Comercialización

ING. JOSE CARLOS DESTENAVE MEJIA
Director de Agricultura

M. V. Z. ENRIQUE GARCIA PEREZ
Director de Ganadería

DR. HECTOR FRANCO LOPEZ
Secretario de Recursos Naturales y Medio Ambiente

DELEGACION ESTATAL DE SAGARPA

ING. EDUARDO VILLARREAL DAVILA
Delegado en Coahuila

ING. JORGE ALBERTO FLORES BERRUETO
Subdelegado Agropecuario

LIC. REYNOLD MALTOS ROMO
Subdelegado de Planeación

LIC. REYNALDO PEREZ-NEGRON
Subdelegado de Administración

FUNDACION PRODUCE COAHUILA, A. C.

ING. BERNABE IRUZUBIETA QUEZADA
Presidente

ING. JUAN ANTONIO OZUNA CARDENAS
Vicepresidente

M. Sc. IGNACIO A. GONZALEZ CEPEDA
Presidente del Consejo Consultivo Sureste

ING. JAVIER GARCIA NUÑEZ
Tesorero

M. C. JORGE MONTAÑEZ DE LEON
Gerente

En el proceso editorial de esta publicación colaboraron:

Comité Editorial del Campo Experimental Saltillo:

M. C. Gustavo J. Lara Guajardo
M. C. Francisco J. Contreras de la Ree
M. C. Carlos Ríos Quiroz
Dr. Marco A. Arellano García
M. C. David Castillo Quiróz

Revisión Técnica:

Ph. D. Jorge Elizondo Barrón
Ing. J. Trinidad Sáenz Reyes

Captura Computacional:

M. C. Antonio Cano Pineda

Fotografía:

M. C. Antonio Cano Pineda

Edición:

M. C. Antonio Cano Pineda

**MAYOR INFORMACION
INIFAP**

Campo Experimental Saltillo
Blvd. Vito Alessio Robles No. 2565
Col. Nazario S. Ortiz Garza
Saltillo, 25100, Coah.
Tel. (01 844) 4 16 20 25
Fax (01 844) 4 39 19 01

Dirección de Coordinación y Vinculación del
INIFAP-Coahuila

Blvd. Vito Alessio Robles No. 2565
Col. Nazario S. Ortiz Garza
Saltillo, 25100, Coah.
Tel /Fax: (01 844) 4 39 24 36
E-mail: dicovi_coah@hotmail.com
lara.gustavo@inifap.gob.mx



SECRETARÍA DE AGRICULTURA,
GANADERÍA, DESARROLLO RURAL,
PESCA Y ALIMENTACIÓN

SAGARPA

inifap

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

**DETERMINACIÓN DE AREAS
POTENCIALES PARA EL
ESTABLECIMIENTO DE
PLANTACIONES DE SOTOL
(*Dasyllirion cedrosanum* Trell.) EN
EL ESTADO DE COAHUILA**

M. C. Antonio Cano Pineda
Investigador del Programa de Viveros y Plantaciones
Forestales del Campo Experimental Saltillo
M. C. Oscar U. Martínez Burciaga.
Investigador del Programa de Sistemas de Información
Geográfica del Campo Experimental Saltillo

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y
Pecuarias

Centro de Investigación Regional del Noreste
Campo Experimental Saltillo
México

Noviembre 2007

DETERMINACIÓN DE AREAS POTENCIALES PARA EL ESTABLECIMIENTO DE PLANTACIONES DE SOTOL (*Dasyllirion cedrosanum* Trel.) EN EL ESTADO DE COAHUILA

No está permitida la reproducción total o parcial de este folleto, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, fotocopia, registro u otros medios, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del derecho de autor.

Derechos reservados © 2007. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
Progreso No. 5
Barrio de Santa Catarina
Del. Coyoacán
04010 México, D. F.
Tel. (55) 38718700

Primera edición
Impreso en México
Tiraje: 500 ejemplares
No. de Registro INIFAP /CIRNE/F-66
ISBN 978-970-43-0277-1

Esta obra se terminó de imprimir en Noviembre de 2007 en los talleres de:
Imprenta Sánchez
Nueva España 514
Fraccionamiento Urdiñola
Saltillo, 25020, Coah.
Tel. /fax (844) 4146151

Folleto Técnico Núm. 31. Noviembre 2007
CAMPO EXPERIMENTAL SALTILLO
Blvd. Vito Alessio Robles No. 2565
Col. Nazario S. Ortiz Garza
Saltillo, 25100, Coah.
Tel. (01 844) 4 16 20 25
Fax (01 844) 4 39 19 01

La cita correcta de este folleto es:
Cano P., A.; O. U. Martínez B., 2007. Determinación de áreas potenciales para el establecimiento de plantaciones de sotol (*Dasyllirion cedrosanum* Trel.) en el estado de Coahuila. . INIFAP-CIRNE. Campo Experimental Saltillo. Folleto Técnico Núm. 31. Coahuila, México. 48 p.

Mexicana. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Hidrociencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 181 p.

Rzedowski, J. & M. Equihua. 1987. Flora. *En: Atlas Cultural de México*. Secretaría de Educación Pública. Instituto Nacional de Antropología e Historia. Ed. Planeta. México, D. F. 222 p.

Saaty, T. L. 1977. A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. *J. Math. Psychology*, 15, 234-281.

SARH. 1985. Inventario Forestal del Estado de Coahuila. Pub. Especial No. 51. México. 79 p.

SEMARNAP. 1996. Especies forestales no maderables y maderables no tradicionales de zonas áridas y semiáridas en los estados de Durango, Chihuahua, Jalisco, Michoacán, Guerrero y Oaxaca. <http://www.semarnat.gob.mx/pfnm3/>. (27 de septiembre de 2006).

Villarreal, Q. J. A. 2001. Listados florísticos de México. XXIII Flora de Coahuila. Instituto de Biología de la Universidad Autónoma de México. México, D.F. 138 p.

Zárate, L. A. 2003. Inventario de las poblaciones de sotol (*Dasyllirion cedrosanum* Trel.) en el Estado de Coahuila. Secretaría de Fomento Agropecuario del estado de Coahuila. 24 p.

Marroquín, J. S., G. Borja L., R. Velásquez C. y J. A. de la Cruz C. 1981. Estudio ecológico dasonómico de las zonas áridas del norte de México. Pub. Especial No. 2. 2ª Ed. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. SARH. 166 p.

Martínez B. O. U. y G. J. Lara G. 2003. Potencial productivo en áreas de temporal en el estado de Coahuila. Una propuesta de conversión productiva. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental Saltillo. Publicación especial No. 1. Coahuila, México. 91 p.

Moldes, F. J. (1995): Tecnología de los Sistemas de Información Geográfica. Ed. RA-MA, p. 6-10.

MOPT. 1992. Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Contenido y metodología. Centro de Publicaciones del MOPT. 199 p.

NGCIA, 1995. Advancing Geographic Information Science. National Center for Geographic Information Analysis, 1995.<http://www.ncgia.ucsb.edu/conf/InfoSoc/secC.html>. (23 octubre de 2006)

Primault, B. 1979. Usefulness of agroclimatology in planning: *In*: "Agrometeorology, Seeman et al. Springer-Verlag, Berlín, Germany. 305- 316 p.

Romo, G. J. R. 1985. Zonas con potencial agroclimático para la producción de cinco oleaginosas bajo temporal en la República

CONTENIDO

	Pág.
1 INTRODUCCION	1
2 ANTECEDENTES	5
2.1 Taxonomía	6
2.2 Ecología y distribución	8
2.3 Usos	11
2.4 Definición de áreas con potencial productivo	12
2.5 SIG como herramienta para la determinación de áreas potenciales	14
2.6 Evaluación multicriterio	18
3 METODOLOGIA	20
4 RESULTADOS	28
5 CONCLUSIONES	42
6 BIBLIOGRAFIA	44

Cuad.	INDICE DE CUADROS	Pag.
1	Clasificación de poblaciones de sotol (<i>Dasyllirion cedrosanum</i> Trel.) por producción	21
2	Clasificación de poblaciones de sotol (<i>Dasyllirion cedrosanum</i> Trel.) por densidad de población	21
3	Clasificación de poblaciones de sotol (<i>Dasyllirion cedrosanum</i> Trel.) por diámetro de piña	22
4	Restricciones y consideraciones para el análisis de las poblaciones de sotol (<i>Dasyllirion cedrosanum</i> Trel.)	23
5	Matriz de ponderación para los factores	24

6	Escala de comparación de variables para la determinación de la importancia en el potencial productivo de la especie	25
7	Jerarquización de factores en orden de importancia	27
8	Valores considerados por rango de categorías de potencial productivo	30
9	Distribución de la superficie estatal con posibilidades de producir sotol (<i>Dasyliirion cedrosanum</i> Trel.) con diferentes niveles de potencial productivo	31
10	Distribución de la superficie en rangos de potencial productivo en el estado de Coahuila	32
11	Superficie por municipio de áreas con diferente categoría de potencial productivo en el estado de Coahuila	37

Fig.	INDICE DE FIGURAS	Pág.
1	Distribución de áreas en rangos de potencial productivo de acuerdo a la valoración multicriterio	29
2	Mapa de distribución de zonas potenciales de sotol (<i>Dasyliirion cedrosanum</i> Trel.), en el estado de Coahuila	35
3	Zonas con accesibilidad para aprovechamiento de sotol (<i>Dasyliirion cedrosanum</i> Trel.) en el estado de Coahuila	41

y los Sistemas de Información de Recursos de Tierras en América Latina y El Caribe. *En: Memorias del Taller Organizado por FAO.* Santiago – Chile. 5 p.

FAO, 1997. Zonificación agroecológica. Guía general. Boletín de suelos de la FAO. Roma, Italia. 82 p.

García, B. J. 1979. Metodología para la zonificación de cultivos por procedimientos inductivos. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 500 p.

García, B. J. 1983. El moderno concepto agroclimático y sus múltiples contribuciones en los planes de desarrollo agropecuario. Documento presentado en el Simposio "Caracterización, uso actual y potencial de los recursos agrícolas de las zonas áridas y semiáridas de México. Ed. José Molina Galán. Colegio de Postgraduados. Centro de Genética. Chapingo, México. p. 49-63

Henrickson, J. and M. C. Johnston. 1986. Vegetation and community types of the Chihuahuan Desert. In: Barlow, J. C.; [and others], eds. Chihuahuan Desert--U.S. and Mexico, II. Alpine, TX: Sul Ross State University: p. 20-39.

Hernández, Y. C y M. M. Villa C. 1994. Regional analysis of the hydric status in arid lands. Proceedings of the IV International conference on 45

Pascual Moncayo y Rafael Zárate-Zárate. México. p: 298-301.

6. BIBLIOGRAFIA

- Bogler D. J. 1994. Taxonomy and Phylogeny of *Dasyilirion* (Nolinaceae). Ph.D. Dissertation. University of Texas at Austin. USA. 582 p.
- Burrough, P. and McDonnell, R. 1998. Principles of Geographical Information Systems. Oxford. 333 p.
- Chuvieco E. and R. G. Congalton. 1989. Applications of remote sensing and geographing information system to forest fire hazard mapping. Remote Sensing of Enviromental 29: 147-159.
- CONAFOR 2006. México Forestal, Bosques y Selvas para Siempre. Revista electrónica de la Comisión Nacional Forestal. <http://www.mexicoforestal.gob.mx/nota.php?id=208>. (27 septiembre de 2006).
- Couto, W. 1994. Zonificación Ecológica Económica: Instrumento para la Conservación y el Desarrollo Sostenible de los Recursos de la Amazonía. Materiales de Capacitación. PNUD. Proyecto RLA/92/G32. 19 p.
- ESRI, 1995. Understanding GIS: The Arc/Info Method Self-study workbook PC version. Environmental Systems Research Institute. USA. Chapter: p. 1-10.
- FAO, 1996. Taller Regional sobre Aplicaciones de la Metodología de Zonificación Agro-Ecológica

DETERMINACIÓN DE AREAS POTENCIALES PARA EL ESTABLECIMIENTO DE PLANTACIONES DE SOTOL (*Dasyilirion cedrosanum* Trel.) EN EL ESTADO DE COAHUILA

¹Antonio Cano Pineda

²Oscar Ulises Martínez Burciaga

1. INTRODUCCION

Las perspectivas sobre el aprovechamiento de sotol (*Dasyilirion cedrosanum* Trel.) en el estado de Coahuila son cada vez mayores debido al interés que se ha dado a esta especie como fuente de ingresos para habitantes de las zonas semiáridas, en donde los recursos naturales de importancia económica son escasos y a la vez muy demandados ya que se constituyen como la única fuente de ingresos económicos de las familias del área rural.

Como apoyo a esta actividad, el Gobierno del Estado de Coahuila ha promovido su denominación de origen lo cual abre muchas posibilidades para que este producto sea comercializado de manera muy ventajosa en mercados nacionales e internacionales.

¹ Investigador de Viveros y Plantaciones Forestales del Campo Experimental Saltillo. INIFAP

² Investigador de Sistemas de Información Geográfica del Campo Experimental Saltillo. INIFAP

De manera natural, el sotol ocupa una importante superficie en el territorio estatal y actualmente no ha sido utilizada convenientemente por diversas razones que involucran aspectos como falta de tecnología adecuada, permisos de aprovechamiento, desconocimiento de los mecanismos de comercialización, entre otros. Por ello, se pretende que el impulso que se le de a su aprovechamiento sea ambientalmente responsable, basado en la promoción, con normas de aprovechamiento y tecnología que permita obtener su máximo potencial productivo, sin deterioro del recurso y de los ecosistemas naturales en donde se desarrolla.

Como parte de un proyecto integral de desarrollo tecnológico para el manejo sustentable del sotol (*Dasylium cedrosanum* Trel.) que el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) llevó a cabo en el estado, se contempló el establecimiento de plantaciones con fines de reforestación y con fines comerciales, que acrecienten la disponibilidad de este recurso con el objetivo de contar con la materia prima necesaria para el desarrollo de la industria productora de sotol.

La determinación de áreas con aptitud para el establecimiento de estas plantaciones, es la acción primordial para garantizar que las plantas se establezcan en las condiciones adecuadas para

- Debido a que se desconoce el comportamiento de la especie bajo manejo en plantaciones, éstas deben ser planeadas y evaluadas en su rendimiento y rentabilidad, antes de implementar un programa en grandes extensiones y diagnosticar los cambios que puedan presentarse en recursos asociados como el suelo, la fauna y la vegetación nativa.

- Los resultados mostrados no son definitivos, y debe considerarse que el éxito o fracaso de una plantación o manejo de poblaciones naturales en un sitio dado, no está garantizado por la valoración o clasificación del sitio resultante de este trabajo.

- La escala de trabajo permite la prospección de las condiciones regionales para el establecimiento de políticas ambientales y generales de aprovechamiento; las condiciones locales y decisiones sobre el terreno, deberán ser tomadas por el manejador del área, pretendiendo con este trabajo señalar los focos de atención que sirvan para esta toma de decisiones, sobre las características específicas que se presenten en el terreno, mismas que pueden variar con las consideradas como base para el estudio por efecto de la escala.

5. CONCLUSIONES

- El potencial productivo del sotol (*Dasyllirion cedrosanum* Trel.) en estado de Coahuila es importante al predominar en más del 30% de superficie de la entidad.

- Uno de los factores más determinantes en el potencial productivo es la exposición, considerando el resultado del análisis que muestra como sitios de mayor potencial aquellos que se encuentran en condiciones de exposición sur y los menos favorecidos los ubicados en terrenos de mayor humedad y menor insolación como es la exposición norte.

- Considerando que los sitios mas adecuados para el establecimiento de plantaciones de sotol (*Dasyllirion cedrosanum* Trel.) se encuentra en terrenos de pendiente ligera a moderada (8-16%), en suelos de poco desarrollo vertical, bajo contenido de materia orgánica, alta pedregosidad en condiciones de ladera y exposición sur, debe considerarse que toda práctica vegetativa en el terreno como lo es una plantación, debe ser acompañada de prácticas preventivas de erosión y al mismo tiempo de captación de agua.

su supervivencia y desarrollo productivo, el cual mediante la aplicación de tecnología podrá ser modificado para mejorar su calidad y disminuir los turnos de aprovechamiento.

Por otra parte, el conocimiento de las condiciones agroecológicas donde se desarrolla la especie de manera natural con un determinado potencial, sirve para ubicar las mismas condiciones en otros sitios donde se combinen otras situaciones como acceso a las áreas, distancia a centros de población, etc., de manera que los aprovechamientos se den con las mayores ventajas posibles.

Esto se logra de una manera más fácil y precisa mediante la utilización de sistemas de información geográfica (SIG) los cuales combinan diferentes capas de información (clima, suelos, topografía, vías de comunicación, centros de población, etc.) para seleccionar áreas con los atributos deseados.

En este trabajo, se presenta el mapa de distribución de las áreas con tres categorías de potencial productivo para el establecimiento de plantaciones de sotol (*Dasyllirion cedrosanum* Trel.) las cuales fueron determinadas mediante la combinación de factores que afectan o favorecen la actividad propuesta y restricciones que no permiten el desarrollo de la misma actividad mediante un análisis multicriterio basado en sistemas de información geográfica.

La valoración de los factores y restricciones que determinaron las áreas seleccionadas, fue basada en los criterios de un grupo interdisciplinario de investigadores que han realizado estudios sobre esta especie. Esto, en primera instancia se puede considerar como un paso preliminar que aporta directrices para llevar a cabo las plantaciones con buenas probabilidades de éxito, sin embargo, se reconoce que es necesario tener más información sobre los requerimientos agroclimáticos de la especie, que nos permita obtener mayor precisión en los resultados esperados.

Por lo cual, es de esperarse que se desarrollen nuevos trabajos que complementen la información generada en este estudio y que las acciones que se deriven, sean planeadas con criterios más específicos que aseguren el éxito total de las plantaciones a establecer.

Considerando los alcances que se puedan lograr en este estudio, que son para apoyar la planeación del establecimiento de plantaciones de sotol en toda la superficie estatal, se planteó el objetivo siguiente:

Determinar las áreas con potencial productivo para el establecimiento de plantaciones de sotol (*Dasyliirion cedrosanum* Trel.) en el estado de Coahuila.

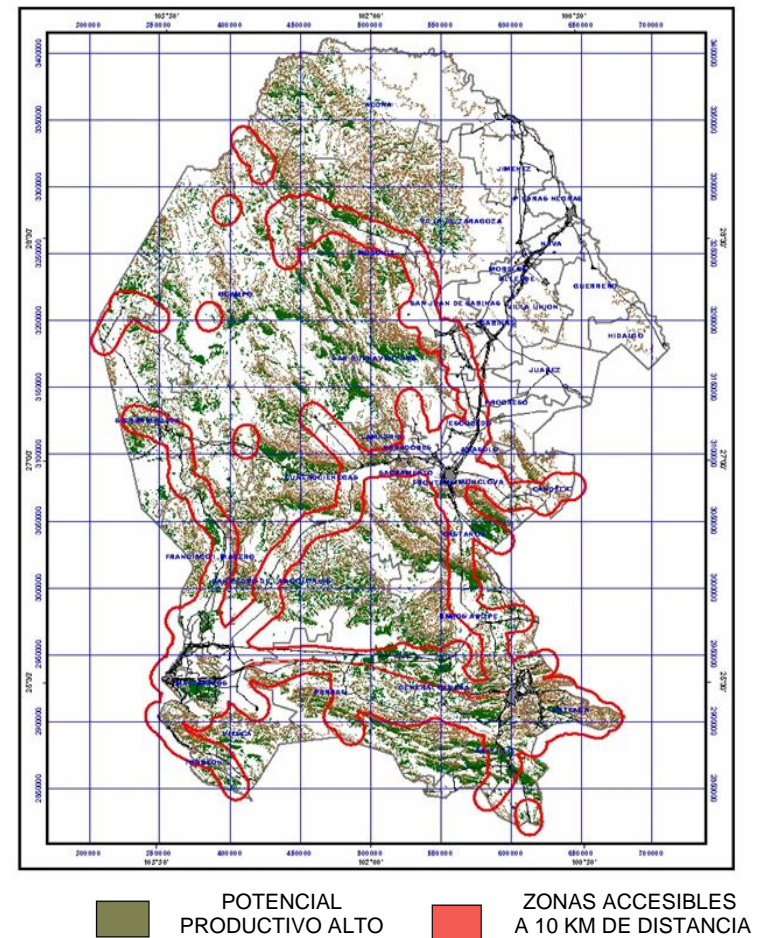


Figura 3. Zonas con accesibilidad para aprovechamiento de sotol (*Dasyliirion cedrosanum* Trel.) en el estado de Coahuila.

Transversas en el sureste del estado, definida como una de las regiones con los terrenos de mayor potencial productivo, muestra poco acceso por la falta de caminos transitables todo el año o por lo menos los mejores sitios, se encuentran a más de 10 km de distancia de un camino de terracería. Hacia el norte y centro del estado los terrenos con potencial productivo alto se ven aislados de la infraestructura vial, mostrando que las zonas de mayor potencial productivo para el sotol (*Dasyliirion cedrosanum* Trel.) se encuentran lejanas de caminos, por lo que su acceso se limita a brechas y caminos en malas condiciones en el mejor de los casos o al uso de animales de carga como único acceso.

2. ANTECEDENTES

Históricamente los recursos naturales de las zonas áridas y semiáridas, han sido utilizados por sus pobladores como una alternativa para el complemento a sus ingresos familiares; en otros casos estos han representado o representan la única fuente de ingreso económico.

El incremento de la población y de sus necesidades, ha aumentado la demanda de productos naturales procedentes de estos sitios, con lo cual, muchas de las poblaciones naturales de una gran cantidad de especies se han ido mermando, provocando como consecuencia un deterioro en los ecosistemas de zonas áridas y semiáridas, así como una falta de materia prima para la elaboración de los productos requeridos por la población.

En los últimos años debido al aumento en la demanda de bebidas tradicionales producidas a partir de especies de agaves mexicanos, como el tequila y el mezcal, ha surgido el interés de producir a escala industrial el tradicional sotol

A partir de la obtención de la denominación de origen por los estados de Coahuila, Chihuahua y Durango para la elaboración de sotol, ha

comenzado a crecer el interés por su utilización, mismo que se ha reflejado en el aumento de solicitudes y autorizaciones para su aprovechamiento.

Con el impulso y apoyo de las autoridades para el uso de este recurso, se abre la posibilidad de que los dueños o poseedores de predios que cuentan con sotolares, diversifiquen sus actividades e incrementen el ingreso económico para sus familias y, en consecuencia, se induzca el arraigo de los pobladores.

2.1 Taxonomía

El sotol pertenece al género *Dasyilirion*, de la familia Agavaceae (Henrickson y Johnston, 1986).

Este género comprende alrededor de 14 a 18 especies y se distribuye en el suroeste de los Estados Unidos y México (Henrickson y Johnston, 1986 y Bogler, 1994).

De acuerdo a Bogler (1994), en México existen 14 especies de este género las cuales son: *Dasyilirion ecotrichum*; *D. glaucophyllum* (estado de México.); *D. graminifolium*; *D. inermis* (San Luis Potosí); *D. leiophyllum* (Chihuahua y oeste de Coahuila); *D. longissimum*, (Estado de México); *D. miquihuanense* (Tamaulipas); *D. parrianum* (San Luis Potosí); *D. serratifolium* (sureste de México); *D. simplex* (Durango, Estado de México); *D. texanum* (norte de Coahuila); *D. texanum* var. *Avernas* (Estado de México); *D. wheeleri* (Sonora,

Un factor importante, aunque externo a la calidad de sitio, es la facilidad de acceso a los terrenos, bajo la consideración de que a pesar de la calidad del lugar los tiempos y costos indirectos de llegar a él pueden resultar en una baja rentabilidad del aprovechamiento forestal, requiriendo en ocasiones de fuertes inversiones en infraestructura previa al manejo del área. Por lo anterior, se consideró establecer un área perimetral de 10 Km alrededor de las vías de comunicación existentes, considerando todos aquellos caminos pavimentados y de terracería transitable todo el año (Figura 3).

Esta distancia es completamente arbitraria sin existir sustento alguno en su definición, con ella se pretende establecer un idea de la facilidad de acceso hacia los terrenos, sin que ello defina de manera definitiva la viabilidad de algún posible proyecto. La definición de las vías de comunicación es tomada de los conjuntos de datos vectoriales escala 1:250,000 de INEGI, por lo cual pueden existir variaciones en las condiciones o definición de las vías de comunicación puesto que la información corresponde a datos de 1996 o anteriores, además del factor de escala señalado en varias ocasiones.

Bajo todas estas consideraciones la información nos muestra como la zona de mayor acceso por vías de comunicación terrestre es a la región de los Pliegues Saltillo-Parras, mientras que las Sierras

Cuadro 11 (continuación). Superficie por municipio de áreas con diferente categoría de potencial productivo en el estado de Coahuila.

Potencial Productivo	Municipio	Superficie (ha)
Medio	Ocampo	1,210,238
Medio	Sierra Mojada	455,275
Medio	Cuatro Ciénegas	404,143
Medio	Parras	314,989
Medio	Ramos Arizpe	305,976
Medio	San Pedro	305,402
Medio	Acuña	275,994
Medio	San Buenaventura	250,823
Medio	Saltillo	192,159
Medio	Fco. I. Madero	168,407
Medio	Múzquiz	151,155
Medio	Castaños	148,669
Medio	Viesca	126,696
Medio	General Cepeda	102,767
Medio	Zaragoza	92,666
Medio	Torreón	50,512
Medio	Candela	40,399
Medio	Monclova	27,705
Medio	Arteaga	23,578
Medio	La Madrid	16,696
Medio	Sacramento	11,728
Medio	Escobedo	9,517
Medio	Matamoros	8,791
Medio	Frontera	8,105
Medio	Nadadores	7,984
Medio	Progreso	5,359
Medio	Abasolo	2,933
Media	Villa Unión	244
Total Medio		4,718,910

Chihuahua y Durango); *D. cedrosanum* (centro y sur de Coahuila); *D. heteroteca* (norte de Coahuila).

Para México, Henrickson y Johnston (1986) mencionan solamente nueve especies: *Dasyilirion texanum* (Coahuila, Nuevo León y norte de San Luis Potosí); *D. parrayanum* sinonimia de *D. graminifolium* (San Luis Potosí); *D. wheeleri* (Durango); *D. cedrosanum* (Durango, Coahuila y

Zacatecas); *D. leiophyllum* (Chihuahua y oeste de Coahuila); *D. heteracanthum* (Chihuahua y noreste de Coahuila); *D. palaciossi* (San Luis Potosí); *D. longissimum* (Tamaulipas, San Luis Potosí e Hidalgo).

Las especies reportadas para Coahuila son cinco: *Dasyilirion texanum*, *D. cedrosanum*, *D. leiophyllum*, *D. stewartii* con las variedades *D. stewartii* var. *stewartii*; *D. stewartii* var. *glaucum* y *D. heteracanthum* (Henrickson y Johnston 1986; Bogler, 1994).

El Sotol (*Dasyilirion cedrosanum*), es una planta nativa del desierto Chihuahuense, de hojas delgadas que contienen numerosas espinas en sus orillas. Sobrevive tanto a la crudeza de helados inviernos como a los cálidos veranos, gracias a su fortaleza y energía latente. Generalmente el sotol se encuentra a ras del suelo. Algunos ejemplares poseen un tallo leñoso, en algunas especies

bastante alto, que llega a medir desde 1.50 a 2.50 m de altura (CONAFOR, 2006).

El sotol es una especie del matorral desértico rosetófilo y crasirrosulifolio espinoso, tipos de vegetación característicos del área biogeográfica conocida como el Desierto Chihuahuense (Marroquín *et al*, 1981). El sotol en las comunidades vegetales de estos tipos de vegetación, cumple importantes funciones en procesos edáficos e hidrológicos, proporciona abrigo y alimento a la vida silvestre y es parte del patrimonio genético de la alta biodiversidad de esta zona.

2.2 Ecología y distribución

El área de distribución de las poblaciones naturales de sotol (*Dasyllirion cedrosanum* Trel.) se encuentra ubicada dentro la zona fisiográfica del Altiplano Mexicano, en un rango de altitud que oscila entre 1,000 y 2,000 msnm, entre la Sierra Madre Occidental y la Sierra Madre Oriental, distribuyéndose en amplias extensiones de esta última.

Dicho altiplano es compartido en su mayor parte por los estados de Chihuahua, Coahuila y Durango.

Los factores geográficos se encuentran determinados en un área de sierras sedimentarias

Cuadro 11. Superficie por municipio de áreas con diferente categoría de potencial productivo en el estado de Coahuila.

Potencial Productivo	Municipio	Superficie (ha)
Alto	Ocampo	464,343
Alto	Cuatro Ciénegas	261,346
Alto	Parras	260,260
Alto	Saltillo	167,958
Alto	San Buenaventura	163,747
Alto	Múzquiz	163,153
Alto	San Pedro	156,153
Alto	Sierra Mojada	154,387
Alto	Ramos Arizpe	142,098
Alto	Acuña	126,252
Alto	General Cepeda	96,611
Alto	Fco. I. Madero	93,997
Alto	Zaragoza	83,750
Alto	Castaños	78,882
Alto	Viesca	69,083
Alto	Torreón	37,231
Alto	Matamoros	28,826
Alto	Arteaga	22,924
Alto	Candela	20,665
Alto	La Madrid	12,679
Alto	Monclova	9,052
Alto	Escobedo	4,061
Alto	Sacramento	3,775
Alto	Frontera	3,750
Alto	Nadadores	1,932
Alto	Progreso	1,800
Alto	Abasolo	1,083
Alto	Villa Unión	171
Total Alto		2,629,969

La superficie por rango de potencial productivo y por municipio, se muestra en el Cuadro 11 donde se observa que en el norte del estado se ubica la mayor superficie con categoría alta y media; sin embargo, estas superficies, principalmente las de categoría alta, no son compactas.

Las zonas más compactas se ubican en los pie de monte de las sierras “El Capulín”, “El Fuste” y “El Pino”, así como el suroeste de la Laguna del “Güaje”, todas ellas en el municipio de Ocampo.

Las mayores posibilidades de éxito ya sea de poblaciones naturales o de plantaciones, se encuentran en los municipios de Ocampo, Sierra Mojada, Cuatro Ciénegas y Parras. Dicha posibilidad se distribuye de manera general, en una franja que ocupa las partes bajas de la Sierra Madre Oriental, desde el noroeste del estado hacia el sureste del mismo. La superficie disminuye en cantidad y calidad de sitio conforme se incrementa la altitud de la sierra y las condiciones ambientales cambian hacia el oriente con la influencia de la planicie costera del golfo en el noreste del estado; esto se aprecia en los datos de los Municipios de Monclova, Frontera, Progreso, Abasolo, Villa Unión, etc., que mantienen las menores superficies de calidad alta y media, y se ubican del lado oriente de la Sierra Madre Oriental.

marinas de calizas del Cenozoico y del Mesozoico (principalmente calizas, margas y lutitas) que se elevan en los extensos bolsones y valles aluviales del cuaternario, con cuencas hidrológicas cerradas en su mayor parte, compartida por las tres entidades federativas con mayor presencia de poblaciones de sotol (Chihuahua, Coahuila y Durango), Zárate (2003).

Los factores climáticos del Altiplano Mexicano son caracterizados por un clima seco del tipo desértico y estepario (BW y BS), correspondiendo el primero a los extensos valles y bolsones y, el segundo, menos seco, a las partes elevadas de las sierras.

Los climas secos se caracterizan por una fuerte variación en su temperatura, con oscilaciones mayores a 14° C entre el mes más cálido (junio) y el más frío que es enero. Por otro lado, la escasa precipitación pluvial (siempre menor a 400 mm anuales) se presenta en verano, en escasos aguaceros (lluvias breves de alta intensidad) y la presencia común de condiciones de sequía interstival o de canícula.

Es frecuente en este tipo de climas muy secos continentales que la precipitación en un año, sea mucho más de lo registrado como promedio. Así, hay años mucho más secos y otros bastante más húmedos en que prevalecen los primeros, es decir la moda es siempre más baja que la media. En la zona de estudio (mitad austral de Coahuila), el

sotol se distribuye dentro de un rango de temperaturas medias que va desde los 17 a los 21 °C y con un rango de precipitación media anual de 150 a 400 mm.

En lo que se refiere a los factores edáficos, los suelos de esta zona son principalmente de los xerosol, rendzinas y regosol con una gran riqueza en carbonatos de calcio, delgados, con poco desarrollo de horizontes de suelo o bien existiendo solo uno sobreyaciendo sobre el material parental, con buen drenaje y aireación, en posiciones fisiográficas de ladera, pié de monte y sobre abanicos aluviales, en donde los principales agentes formadores que intervienen son el arrastre por el agua (suelos aluviales) y el campo gravitacional (suelos coluviales).

En cuanto a vegetación, con la denominación de matorral xerófilo se acostumbra incluir toda la vegetación arbustiva correspondiente a regiones de clima seco, aunque existe una amplia gama de variantes en función de las condiciones de temperatura, cantidad de lluvia y condiciones del suelo. Puede tener una altura de entre uno y cuatro m y se encuentra representada en ellos una notable diversidad de formas de plantas, entre las cuales destacan diferentes grupos de cactáceas (nopales, biznagas, pitayas, órganos, etc.), de magueyes y tipos similares (lechuguilla, sotol. guapilla), de izotes y de otros de aspecto no menos llamativo, como el ocotillo, el cirio o la candelilla

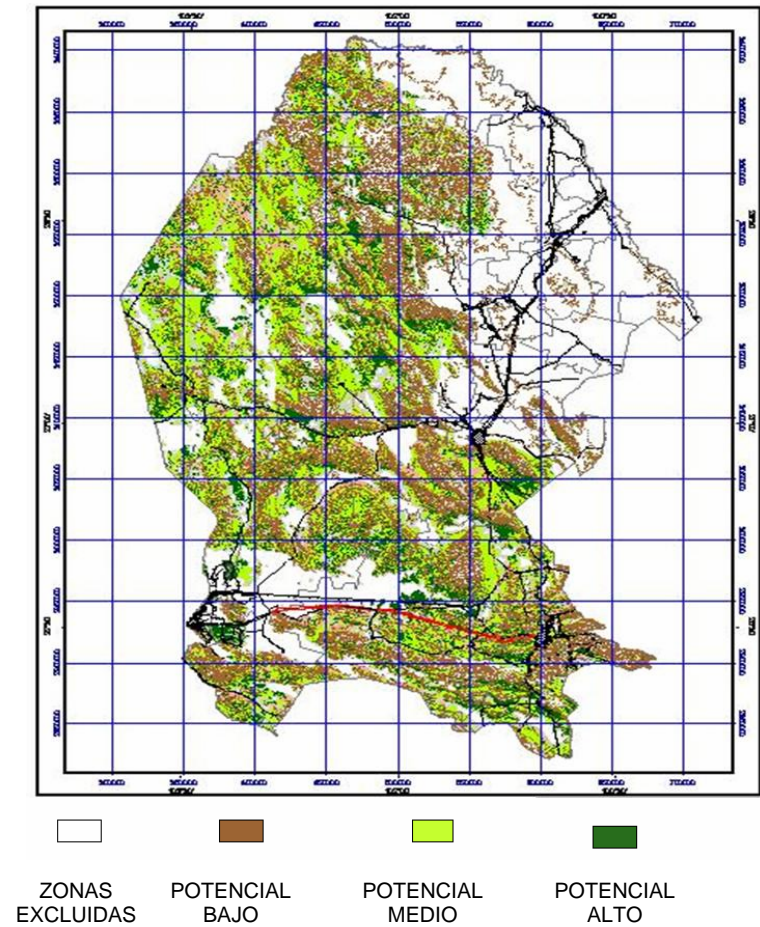


Figura 2. Mapa de distribución de zonas potenciales de sotol (*Dasyliirion cedrosanum* Trel.), en el estado de Coahuila.

Es necesario mencionar que el *Dasyllirion cedrosanum* Trel., no es la única especie del género distribuida en Coahuila y que los datos empleados si bien pueden no corresponder en el norte del estado a la distribución de la especie, si pueden estar señalando zonas de equivalencia ambiental para el desarrollo de otras especies dentro del mismo género.

Tal es caso de la serranía del “Burro” en la cual se señalan importantes zonas con potencial productivo alto y medio dentro de los municipios de Acuña, Múzquiz y Zaragoza, de las cuales existen reportes de las especies *Dasyllirion leiophyllum* Engelm. y *Dasyllirion texanum* Scheele.

(Rzedowski y Equihua, 1987).

En el estado de Coahuila, el sotol crece entre comunidades del matorral desértico rosetófilo, que comprende la zona de los “Charcos de Figueroa”, del municipio de Ocampo, misma que se prolonga al este y al sur de la “Sierra Hermosa de Santa Rosa” y hasta “Puerto Aura”. De la “Hacienda de Carrizalejo”, situada al norte de “El Berrendo”, se extiende otra zona de sotol que continúa hasta “La Presita”, al norte del “Puerto del Aire”. También se extiende una gran área de sotol a 25 kilómetros al este de Castaños, Coahuila, bordeando la Sierra Madre Oriental de la que ocupa extensos lomeríos; más al sur, su presencia es evidente en las sierras que conforman las subprovincias fisiográficas de la Sierra de la Paila, Pliegues Saltillo – Parras y Sierras transversales.

2.3 Usos

Las hojas de varias especies de *Dasyllirion* se usan a escala doméstica en tejidos de petates, sombreros, canastas, sopladores de fuego y muchos otros objetos. Se utiliza también en la elaboración de bebidas alcohólicas y como alimento forrajero ya que las cabezas, o sea las porciones centrales de las plantas, junto con las bases de las hojas, sirven de buen alimento para el ganado en la época seca, aunque no es alto su contenido de proteínas, pero su contenido en azúcares es suficiente para mantener el ganado

vacuno (inclusive lechero) en buenas condiciones, durante períodos prolongados. Como plantas ornamentales, las porciones basales de las hojas de diversas especies de sotol, por su forma peculiar reciben el nombre de cucharitas, se emplean para decorar interiores y exteriores en ranchos y pueblos, particularmente con motivo de fiestas religiosas. Además, la fibra presente en la hoja de sotol posee características adecuadas para la elaboración de papel (SEMARNAP, 1996).

2.4 Definición de áreas con potencial productivo

Con la regionalización se definen o identifican las áreas que posean las características apropiadas para la producción de alguna especie vegetal en particular. Según la FAO (1997) la zonificación agroecológica es la división de la superficie de la tierra en unidades más pequeñas, que tienen características similares relacionadas con la aptitud de la tierra, la producción potencial y el impacto ambiental. Por lo tanto, la regionalización se constituye como una herramienta muy importante de planeación en la búsqueda de alternativas nuevas o a la expansión de las ya existentes.

Recientemente se han hecho intentos de definir zonas homogéneas desde el punto de vista de potencial de los recursos y de las necesidades del hombre, con la finalidad de facilitar la planificación del desarrollo regional y el uso racional de los

transversas principalmente en la cara sur de las sierras desde el sur de Saltillo hacia Parras y en menor medida en la sierra de Jimulco. Otras zonas importantes se ubican en las sierras de “La Fragua” y “San Marcos” en el municipio de Cuatro Ciénegas, en las sierras de “San Marco” y “Pinos”, “La Gavia” y “La Gloria” en los municipios de Ramos Arizpe y Castaños (Figura 2).

Como se mencionó anteriormente, los 200 sitios empleados para la caracterización ambiental del hábitat del sotol (*Dasyilirion cedrosanum* Trel.) se ubican desde la zona centro hasta el sur de la entidad, no obstante ésta determinación de áreas potenciales, fue realizada en el total de la superficie estatal, por lo tanto, se muestran resultados más allá de los terrenos en los cuales existe información de campo que corrobore la existencia y condición de las poblaciones naturales, por ello, la información reportada en el presente escrito puede considerarse confiable dentro de los límites señalados para los datos conocidos, perdiendo exactitud o confiabilidad conforme aumenta la latitud, esto no significa que los parámetros empleados en la evaluación sean incorrectos, por el contrario señala la necesidad de ampliar los límites de estudios posteriores que indiquen la condición de las poblaciones y los parámetros ambientales bajo los cuales se desarrollan.

superficie que abarcan (47.5%), que son zonas ubicadas bajo condiciones en donde imperan las restricciones agroclimáticas bajo las cuales, es prácticamente imposible encontrar o establecer superficies en donde se desarrolle la especie *Dasyllirion cedrosanum* Trel.

Por otra parte, si se considera tan solo el territorio no excluido por alguna restricción, es decir, que tiene potencial productivo, la superficie coincide con el área de distribución de acuerdo a los municipios señalados por los listados florísticos de México (Villarreal, 2001)

La mayor superficie como se aprecia en el Cuadro 10, es ocupada por terreno de potencial medio, mientras un tercio del territorio es de potencial alto, esta última, forma áreas continuas y compactas hacia la región de las sierras

Cuadro 10. Distribución de la superficie en rangos de potencial productivo en el estado de Coahuila.

Potencial productivo	Superficie (ha)	%
Alto	2,632,663	33.23
Medio	4,724,975	59.64
Bajo	565,014	7.13
Total	7,922,652	100.00

recursos. Este ha sido un concepto de zonificación frecuentemente utilizado por economistas agrícolas, con el fin de facilitar el diagnóstico y la formulación de planes de desarrollo rural a nivel regional o microregional (Couto, 1994).

Primault (1979) y Romo (1985) argumentan que para realizar una regionalización, se hace necesario utilizar métodos agroclimáticos y agroecológicos, que constituyen un primer marco de referencia y que dejan al descubierto los aspectos socioeconómicos que constituyen un segundo grupo de métodos de regionalización que debe de ser tomado en cuenta en este tipo de trabajos; un tercero y último grupo sería el de los métodos integrales que consideran los marcos de referencia biofísico y socioeconómico.

En Costa Rica durante los sesenta se dieron a conocer las primeras metodologías para el estudio de los recursos naturales culminando en estudios de regionalización con muchas deficiencias de integración. No obstante el interés en estudios integrados a través de nuevas metodologías no se han producido estudio específicos aptos para tal fin (García, 1983).

Los estudios de potencial productivo se han desarrollado ya desde algunos años en varios lugares del mundo, e inclusive existen entre ellos algunos que consideran criterios muy distintos,

pero que finalmente, conducen al mismo objetivo que es el de regionalizar o delimitar áreas con base al potencial productivo de los recursos, esto con el propósito de asignar su uso con base a la aptitud que sostienen, de manera que las extracciones sean rentables y sostenibles y preserve el potencial de las mismas (Martínez y Lara, 2003).

La determinación del potencial productivo constituye la base para elaborar proyectos de viabilidad en aspectos económicos, ecológicos y/o sociales que puedan contribuir en gran medida a mejorar las condiciones de vida de los habitantes de las poblaciones cuyas actividades se relacionen con el aprovechamiento de dichos recursos (SARH, 1985); por tal motivo el conocimiento de los factores agroclimáticos bajo los cuales se desarrollan las especies en su estado natural son de suma importancia para tal fin.

Hernández y Villa, 1994 mencionan a un reporte de FAO en donde se indica a la caracterización clima-planta como la metodología mas utilizada para identificar áreas con igual potencial de respuesta de los recursos naturales. Sin embargo, otras metodologías se han utilizado para conjuntar efectos climáticos y edáficos, para regionalizar las áreas en función del déficit de humedad del suelo.

2.5 Los SIG como herramientas para la determinación de áreas potenciales.

Hasta el desarrollo reciente de los sistemas

resolución espacial de escala 1:250,000.

Se valoró la importancia y la magnitud de los factores y se observó que existen fuentes de error debido a la escala, la jerarquización y la ponderación de los factores. Por ello, se considera la recategorización en clases de calidad de sitio tomando como valor máximo el obtenido por el análisis, descartando el rango de 193 a 255 como fuente de error.

Si consideramos la extensión total del estado incluyendo las áreas excluidas por alguna restricción, solo el 17.5% muestra un potencial productivo alto y casi la mitad del territorio presenta alguna restricción que limita la distribución de las poblaciones naturales (Cuadro 9).

Cuadro 9. Distribución de la superficie estatal con posibilidades de producir sotol (*Dasyllirion cedrosanum* Trel) con diferentes niveles de potencial productivo.

Potencial productivo	Superficie (ha)	%
Alto	2,632,663	17.4
Medio	4,724,975	31.3
Bajo	565,014	3.7
Zonas excluidas	7,155,521	47.4
Total	15,078,173	100.0

En lo referente a las zonas excluidas, cabe mencionar por la importancia en cuanto a

Cuadro 8. Valores considerados por rango de categorías de potencial productivo.

Potencial productivo	Rango
Zonas excluidas	0
Bajo	1 - 64
Medio	65 - 128
Alto	129 - 192

La valoración presentada fue considerada empleando como calidad más alta los valores máximos encontrados en el análisis, sin considerar los valores del 193 a 255 que teóricamente es posible alcanzar en la evaluación; lo anterior considerando que existen en el estado poblaciones con densidades altas, con adecuadas dimensiones para su aprovechamiento, estas se encuentran en los sitios de mayor calidad, por lo que el empleo de los valores no presentes en el resultado implicaría la ausencia de sitios de calidad alta, hecho que resultaría incongruente con la realidad mostrada por los datos empleados en los 200 sitios observados para la determinación de los factores y las restricciones.

Los valores son el resultado del análisis realizado con el apoyo de un sistema de información geográfica y con las capas temáticas generadas en el proyecto de potencial productivo por el INIFAP que contienen información con

computarizados, la integración de datos numéricos y cartográficos era muy limitada, tanto desde el punto de vista operacional, como de los resultados. El investigador o responsable de desarrollo, confrontado a exigencias de esta naturaleza, era obligado a utilizar procedimientos de integración muy rudimentarios como la sobreposición de mapas, el uso de transparencias u *overlays*, el dibujo manual de isolíneas de productividad de factores, construcción de tablas cruzadas entre factores, la cuantificación de áreas con planímetros etc. El surgimiento de los sistemas de información geográfica, ha cambiado completamente esa realidad. No solamente por facilitar tareas manuales, antes complejas y lentas en su ejecución, más sobretodo, al abrir posibilidades de integración entre datos espaciales y numéricos impensables en el pasado. Los SIG son bancos de datos para informaciones codificadas espacialmente (FAO, 1996).

Un sistema de información geográfica es una colección organizada de equipo de cómputo (hardware), datos geográficos y personal; diseñado para capturar, almacenar, actualizar, manipular, analizar y desplegar eficientemente todas las formas de información geográficamente referenciada (ESRI, 1995).

La definición más sencilla de un Sistema de Información Geográfica, SIG o GIS (del inglés Geographical Information System) es: toda base de

datos informatizada que está georreferenciada, esto es, que posee coordenadas geográficas o geocodificadas. El National Center for Geographic Information and Analysis proporciona una definición más amplia: “Un sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión” NGCIA (1995). Otra definición muy similar la sugiere Burrough y Mcdonnell (1998): “Un SIG reúne, introduce, almacena, transforma y cartografía datos espaciales sobre el mundo real para un conjunto de objetivos particulares”. El objetivo principal de un SIG no es representar la realidad a través de un mapa, sino analizar los datos contenidos en los mismos para crear nuevos mapas a partir de los ya existentes. No son una ciencia en sí misma, sino una herramienta al servicio de muchas y variadas disciplinas, cualquiera que emplee información espacial.

Los SIG’s incorporan datos con diversas características y diversos tipos de representación. Se acostumbra diferenciar por lo menos dos tipos de representación: la vectorial (como los mapas, por ejemplo), y la matricial o raster (como las imágenes). La existencia de múltiples formas de representación aumenta el potencial de utilización del sistema, debido a varias causas: datos provenientes de fuentes distintas, tienen en

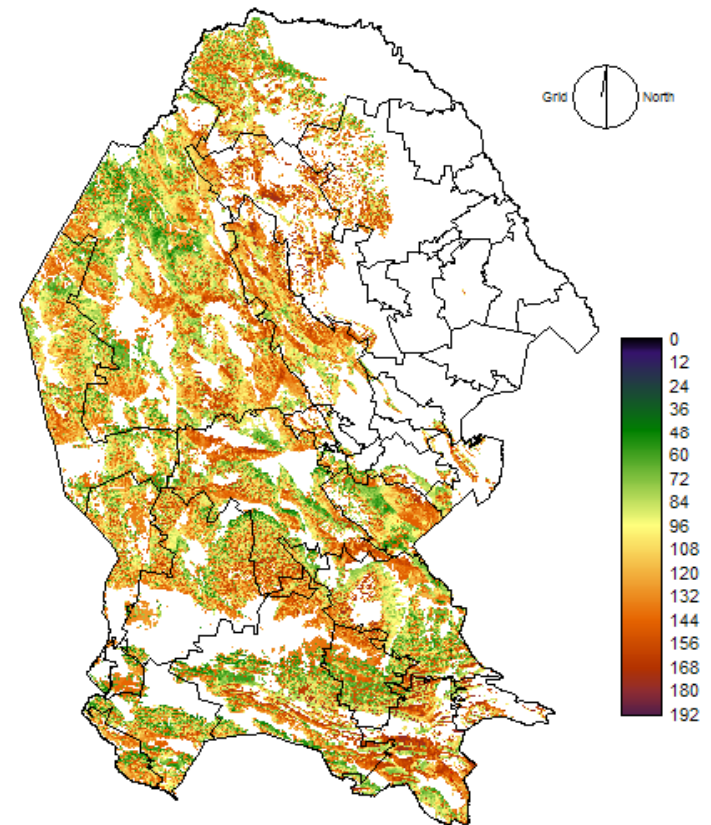


Figura 1. Distribución de áreas en rangos de potencial productivo de acuerdo a la valoración multicriterio.

4. RESULTADOS

En general, el análisis multicriterio genera como resultado un mapa en formato matricial con valores entre 0 y 255 como rango posible (Figura 1), correspondiendo a la misma escala establecida para los factores involucrados. En el caso del sotol (*Dasyllirion cedrosanum* Trel.), el análisis muestra un rango más reducido de 0 a 192, estos valores son adimensionales y reflejan únicamente el resultado de la evaluación multicriterio de acuerdo a los términos establecidos y a la ponderación de los factores, de este modo, existen puntos del territorio con valores muy bajos de calidad de sitio representados por valores cercanos a 1 y valores de calidad alta con un máximo valor de 192, mientras que los valores cero reflejan todos aquellos puntos del territorio en los que se presenta alguna de las condicionantes descritas como restricción y por lo tanto quedan fuera de los sitios evaluados.

Para poder explicar el comportamiento del potencial productivo en términos cualitativos los valores resultantes fueron agrupados en cuatro clases con una amplitud de rango igual para todas las clases tal y como se muestra en el Cuadro 8.

general, formas diferentes y no siempre la conversión de la representación tiene sentido; variados métodos de manipulación pueden requerir representaciones diferentes. En definitiva, los sistemas de información geográfica amplían enormemente las posibilidades de análisis que brindan los mapas convencionales, además de facilitar su almacenamiento y visualización (Chuvieco and Congalton, 1989).

El nacimiento de los SIG a finales de los años 60 del siglo XX, viene condicionado por la necesidad de resolver problemas inabordables desde una perspectiva clásica de gestión de la información.

Las primeras experiencias arrancan en distintos campos de la ciencia y la técnica. En concreto, el Canadian Geographical Information System constituye el sistema pionero en la gestión de recursos naturales (Moldes, 1995). Otro trabajo importante fue el desarrollado por arquitectos involucrados en la planificación territorial en el Harvard Laboratory For Computer Graphics And Spatial Analysis, de la Universidad de Harvard (USA). Se trataba de combinar información a partir de mapas temáticos en papel. Se superponían en una mesa de luz con el fin de cartografiar zonas de uso según distintos criterios. Se planteó el uso de ordenadores para esta labor, cristalizando el sistema SYMAP, pionero en los sistemas vectoriales y el GRID en ráster.

2.6 Evaluación multicriterio

El modelo de evaluación multicriterio, analiza los componentes individuales que de acuerdo a la información conocida de las poblaciones de muestrales que infieren en el comportamiento de la variable dependiente, una de las características del análisis multivariable es que opera en condiciones de independencia a las realizaciones maestras. El análisis consiste en N repeticiones de un experimento aleatorio, en cada una de las cuales se obtienen medidas correspondientes a n diferentes variables aleatorias. Estas variables pueden ser continuas (precipitación), discretas (clases de pendientes), nominales (litología) e incluso puede presentarse una combinación de los tipos anteriores (MOPT, 1992).

La Evaluación Multicriterio (MCE) empleada por IDRISI™ es conocido como Método de Jerarquías Analíticas o Método de Saaty (Saaty, 1977). El método utiliza dos tipos de criterios para su ejecución:

1. Restricciones. Variable de tipo cualitativo que limita la distribución o fenómeno en consideración, fundamentando en que la existencia o ausencia de un elemento del medio no permite el desarrollo adecuado de la especie. Definidos los efectos de cada criterio, se generan capas de información binarias (valores 0 y 1) marcando los terrenos en los que se presentan restricciones con valores 0 y

Cuadro 7. Jerarquización de factores en orden de importancia.

Orden	Factor	Factor de ponderación	Sentido	Clase considerada
1	Exposición	0.3981	Positivo	De 0 a 180° y de 360 a 180° de azimut
2	Pendiente	0.2581	Positivo	todas
3	Precipitación	0.1803	Positivo	todas
4	Textura	0.0676	Positivo	todas
5	Temp. media máxima	0.0496	Positivo	Rango óptimo 25 a 28°C
6	Temp. media mínima	0.0276	Positivo	Rango óptimo 4 a 7°C
7	Temp. Media anual	0.0187	Positivo	Rango óptimo 16 a 18°C

En el Cuadro 6 se describe la escala utilizada en este análisis en la cual, los valores enteros representan mayor importancia de las variables acomodadas en la columna con respecto a las variables acomodadas en la fila mientras que los valores fraccionarios, representan la situación contraria

El método de análisis multicriterio propuesto por Saaty (1977), determina los factores de ponderación de cada una de las variables mismos que serán utilizados en el SIG para la construcción del mapa de áreas potenciales.

En el Cuadro 7 se presentan los factores jerarquizados por orden de importancia de acuerdo a los factores de ponderación y el sentido en que cada factor actúa sobre el objetivo deseado.

los terrenos sin restricciones como valores 1.

2. Factores. Variable de tipo cuantitativo y continuo que afecta o favorece la actividad propuesta. Es decir, que de estas variables no depende la presencia o ausencia de la especie, pero si esta más relacionada a la condición referida en este caso por la densidad, tamaño de la planta o de la piña, etc. Dicho de otro modo, se establece, que a medida que aumenta o disminuye la intensidad de la variable evaluada, aumenta o disminuye la calidad del sitio en función de las expresiones fenológicas relacionadas a la productividad, por lo que los factores pueden presentarse en sentido positivo cuando se incrementa la calidad del sitio a medida que se incrementa el valor del factor o, en sentido negativo, cuando la calidad se incrementa a medida que el valor del factor disminuye.

Finalmente, cada uno de los factores, es aplicado considerando un peso de ponderación que representa la importancia relativa con la que el conjunto de factores afectan el desarrollo de la actividad o fenómeno en estudio. Para el caso del sotol, la evaluación del terreno es observada no solo al considerar las restricciones a la distribución de las poblaciones y los factores que influyen en ella, sino también, valora en que medida un efecto es más importante en comparación con los demás factores incluidos.

Este método es una combinación lineal donde los criterios incluidos (factores y restricciones), operan por álgebra de mapas, donde estas últimas son aplicadas por multiplicación sucesiva para excluir las áreas con valor cero y multiplicando cada factor por el valor de ponderación dentro de las áreas útiles, es decir, aquellas en donde no existe restricción alguna. Los valores relativos de ponderación son importantes porque determinan de que manera los factores en forma individual influirán relativamente en los demás, ya que el factor de decisión más alto tendrá mayor influencia en el resultado final.

3. METODOLOGIA

Para la determinación de las áreas con diferente potencial productivo, fue necesaria la evaluación de 200 sitios de muestreo para determinar los requerimientos agroclimáticos y la definición de las restricciones de hábitat de la especie.

Las poblaciones de sotol se clasificaron en las categorías de bajo, medio, alto y muy alto en base a los valores relacionados a la producción como la densidad, el diámetro y peso de las piñas por hectárea, agrupándolos como se indica en los cuadros 1 al 3.

Los criterios que considera cada una de las comparaciones de los factores de acuerdo a la escala considerada se presentan en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Escala de comparación de variables para la determinación de la importancia en el potencial productivo de la especie.

	Precipitación	Pen-diente	Expo-sición	Tex-tura	Temp. M.A.*	Temp. Max.	Temp. Min.
Precipitación	X						
Pen-diente	2	X					
Expo-sición	3	3	X				
Textura	1/5	1/7	1/8	X			
Temp. M.A.	1/9	1/9	1/9	1/5	X		
Temp. Max	1/5	1/7	1/8	1/2	5	X	
Temp. Min	1/7	1/9	1/9	1/5	3	1/3	X

Temp. M.A.= Temperatura media anual

La escala representa un continuo de valores del uno al nueve que determinan niveles de importancia de una variable con respecto a otra en un ámbito de valores desde extremadamente más importante hasta extremadamente menos importante.

factores, es necesario la construcción de una matriz de doble entrada para la comparación por pares de los factores entre si, mediante la escala de valoración mostrada en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Matriz de ponderación para los factores.

Criterios utilizados	Criterios utilizados
9: con relación a la variable de la columna, la variable de la fila es extremadamente más importante	1/9: con relación a la variable de la columna, la variable de la fila es extremadamente menos importante
8 con relación a.....casi extremadamente más importante	1/8 con relación a.....casi extremadamente menos importante
7 ..marcadamente mucho más importante	1/7 ..marcadamente mucho menos importante
6: con relación a la variable de la columna, la variable de la fila es marcadamente más importante	1/6: con relación a la variable de la columna, la variable de la fila es marcadamente menos importante
5 con relación a.....casi marcadamente más importante	1/5 con relación a.....casi marcadamente menos importante
4: con relación a la variable de la columna, la variable de la fila es moderadamente más importante	1/4: con relación a la variable de la columna, la variable de la fila es moderadamente menos importante
3 con relación a.....mayormente más importante	1/3 con relación a..... ..mayormente menos importante
2 con relación a.....un poco más importante	1/2 con relación a.....un poco menos importante
1. con relación a la variable de la columna, la variable de la fila es igualmente importante	

Cuadro 1. Clasificación de poblaciones de sotol (*Dasyilirion cedrosanum* Trel.) por producción.

Categoría	Rango de valores (Kg/ha)
Bajo	728 – 4,763
Medio	4,763 – 8,799
Alto	8,799 – 12,835
Muy Alto	12,835 – 16,871

Cuadro 2. Clasificación de poblaciones de sotol (*Dasyilirion cedrosanum* Trel.) por densidad de población.

Categoría	Rango de valores (plantas/ha)
Bajo	56 – 305
Mediano	306 – 554
Alto	555 – 803
Muy Alto	804 – 1052

Cuadro 3. Clasificación de poblaciones de sotol (*Dasyilirion cederosanum* Trel.) por diámetro de piña.

Restricciones	Consideraciones
Altura sobre el nivel del mar	Menores a 700 y mayores a 2,500 msnm
Fases químicas	Salinas, salino-sódico, fuertemente salino, fuertemente salino-sódico.
Vegetación y usos del suelo	Bosques, vegetación de galería, chaparral; cuerpos de agua, matorral de coníferas, matorral espinoso tamaulipeco, mezquital, mezquital-huizachal, plantación forestal, pradera de alta montaña, vegetación halófila y gypsófila y vegetación de desiertos arenosos.
Suelos	Castañozem, fluvisol, gleysol, luvisol, solonchak, solonetz y vertisol.

Posteriormente, se realizó una valoración mediante el análisis espacial de las capas de información del medio físico sobre una plataforma de ArcView 3.2, empleando la cartografía temática digital del estado de Coahuila sobre la cual se sobrepusieron los 200 sitios georreferenciados de poblaciones de sotol de características conocidas

(densidad, peso y diámetro de la piña). Comparando los atributos de las distintas capas de información con la calidad de las poblaciones, y se identificaron tanto las restricciones de hábitat como los factores a considerar en el análisis. En el Cuadro 4 se presentan las restricciones y las consideraciones que se hicieron sobre cada una de las variables agroclimáticas.

Categoría	Rango de valores (cm)
Pequeño	12 – 18
Regular	18 – 25
Grande	25 – 31
Muy grande	31 – 38

Cuadro 4. Restricciones y consideraciones para el análisis de las poblaciones de sotol (*Dasyilirion cederosanum* Trel.).

Con relación a los factores, éstos representan un continuo de valores en los que a medida que el valor aumenta, la calidad del sitio es mayor, por lo cual es necesario transformar la escala a valores byte (0 a 255), a fin de contar con una escala común para todos los factores, de modo que puedan ser comparados entre ellos en igualdad de condiciones.

Para la estimación de la ponderación entre