

APLICACIÓN DE SENSORES REMOTOS PARA LA EVALUACION DE AREAS DE *Prosopis* spp. (1990-2006), EN LA REGIÓN DE MEXICALI, B.C., MÉXICO

REMOTE SENSING APPLICATION TO THE EVALUATION OF *Prosopis* spp. AREAS (1990-2006) IN A REGION OF MEXICALI B.C. MEXICO

J. Méndez González¹, A. Santos Méndez², M. García García³,
V. González Ontiveros¹, J. A. Nájera Luna⁴

¹Profesor Investigador del Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario 173, Nuevo Ideal, Dgo., e-mail: jmendezg@hotmail.com.

²Prestador de Servicios Técnicos Forestales, Mexicali B.C.N., ³ FCF, UANL. ⁴Profesor Investigador del Instituto Tecnológico del Salto, P.N. Dgo.

RESUMEN. El interés actual por el aprovechamiento de *Prosopis* spp., en el Noroeste de México, genera la necesidad de realizar investigaciones para identificar la distribución geográfica de este género. En este sentido, los sensores remotos son una tecnología fundamental para realizar este tipo de trabajos. La presente investigación hace énfasis sobre la distribución espacial de *Prosopis* spp., en una región de Mexicali, B.C.N, México, usando esta tecnología; así mismo, identifica el cambio de uso de suelo por tipo de vegetación en un periodo de diez y seis años (1990- 2006). Los resultados indican que este género se distribuye a lo largo de las planicies húmedas, ocupando cualquier tipo de suelo, sin límites de temperatura, precipitación y altitud. *Prosopis* spp., exhibe características adaptativas interesantes, ya que la perturbación antropogénica ha propiciado que incremente su amplitud ecológica, a una gran variedad ecosistemas, moviéndose gradualmente desde las planicies, a las partes serranas, aproximadamente desde 0-100 a 600-700 msnm. Se observa una disminución drástica de las áreas de *Prosopis* spp., perdiéndose cerca de 135.16 has.año⁻¹.

PALABRAS CLAVE: Sensores remotos, mezquite, distribución, Mexicali.

SUMMARY. The actual interest by the use of *Prosopis* spp., in the Northwest of Mexico, generates the need to carry out investigations to identify the geographical distribution of this genus. In this case, remote sensing is a fundamental technology to carry out this type of studies. The present investigation emphasizes on the spatial distribution of *Prosopis* spp., in a region of Mexicali, B. C. N, Mexico, using this technology and identifying the change of soil by type of vegetation in a period of fifteen years (1990- 2006). Results indicate that this genus is distributed along the humid plains, occupying any type of soil, without limits of temperature, rainfall or altitude. *Prosopis* spp., exhibits interesting adaptive characteristics, since the disruption made by man has favored those increases on its ecological amplitude, to a great variety of ecosystems, being moved gradually from the plain areas, to the mountain parts, approximately since 0-100 to 600-700 msnm. A drastic decrease of *Prosopis* spp. areas is observed losing about near of 135.16 has.año⁻¹.

KEY WORDS: Remote sensing, mezquite, distribution, Mexicali.

INTRODUCCION

La percepción remota es una tecnología que permite la adquisición de datos a distancia (Chuvieco, 1999). Se basa en el uso de sensores instalados en plataformas diversas (satélites, aeronaves, globos, etc.), que registran la energía radiada o reflejada por los objetos que están presentes en la superficie de la Tierra (Falkner, 1995). Dentro de los productos convencionales más

reconocidos y de mayor utilización, se encuentran las imágenes de satélite, que actualmente constituyen la fuente principal de información sistemática acerca del estado que guarda la superficie terrestre.

El avance en el conocimiento de la distribución espacial de las especies vegetales permite contar con información detallada de gran utilidad en la planificación de diferentes alternativas de manejo. Datos satelitales de plataformas de sensores remotos como Landsat-

TM, han sido usadas eficientemente para una gran variedad de aplicaciones en recursos naturales, incluyendo evaluación de fauna (Walker, 1980), erosión de suelo (Palacio y López, 1994), riesgos de incendios (Chuvienco, 1999), cambios en el paisaje (Alves *et al.*, 1999), hasta mapeo y clasificación de vegetación (Tueller 1989; Anderson *et al.*, 1993; Everitt *et al.*, 1993; Jakubauskas *et al.*, 1998; Clark *et al.*, 2001; Hunt *et al.*, 2003).

Se ha reportado (Shreve y Wiggins 1975; Wiggins 1980; Delgadillo, 1995; Delgadillo y Macias 2002), que en el Norte de México el mezquite se desarrolla en casi todas las comunidades vegetales características de las zonas áridas y semiáridas, tales como matorrales y chaparrales de la Provincia Florística de California, representando un recurso potencialmente importante para el aprovechamiento. Recientemente, en Baja California, se ha dado gran énfasis al aprovechamiento de *Prosopis* spp., por sus usos múltiples, entre los que destacan, utilización de la madera como leña y carbón (González, 1986; Rodríguez y Maldonado, 1996), así como para la elaboración de muebles y artesanías (Felker, 1979). Específicamente en Mexicali, se está haciendo el intento por llevar a cabo un aprovechamiento integral de mezquite. La vaina de *Prosopis*, tiene un potencial sumamente importante para obtener harinas integrales, ya que son fuente importante de carbohidratos (Becker y Grosjean, 1980; Del Valle *et al.*, 1987), los pobladores locales actualmente poseen infraestructura y tecnología de punta para elaborar en forma organizada, productos derivados de harina de mezquite. Desafortunadamente, la falta de herramientas para la planificación del aprovechamiento de este género, limita en gran medida la ejecución de los proyectos, los cuales son financiados por diversas organizaciones gubernamentales y ONG's. El objetivo de la presente investigación fue generar mapas actuales de la distribución geográfica de *Prosopis* spp., en una región delimitada por el interés de comunidades locales del municipio de Mexicali, B.C.N. Así como determinar el cambio de uso de suelo, abarcando el periodo de 1990 al 2006, para generar información y herramientas que sirvan de base a estudios afines y principalmente a estudios de aprovechamiento de mezquite en la región.

MATERIALES Y METODOS

Características físicas y biológicas del área

La presente investigación se llevo a cabo dentro de la región Hidrológica 4 y 7, incluyendo parcialmente las cuencas de Lago Salado, Bacanora-Mejorada y cuenca Río Colorado (Maderey y Torres, 1990), inmersa en la Provincia Biogeográfica Sonorense (CONABIO, 1997), entre altitudes aproximadas de 0 a 800 msnm. Según

García (1998), el clima de esa región se clasifica como BW(h')(x'), muy árido, cálido, temperatura media anual mayor de 22°C, temperatura del mes mas frío mayor de 18°C, precipitación registrada en los rangos de 0 a 125 mm anuales, repartida en todo el año. Los suelos son del tipo Litosol, Regosol calcárico y éutrico, Vertisol crómico y Solonchak órtico, de textura fina y media; la fase química se reporta como salino-sódica (SEMARNAP, 1998). La flora predominante es la llamada "vegetación xerófila", correspondiente a la típica vegetación semidesértica (CONABIO, 1999), aunque también se encuentran pequeñas porciones de vegetación acuática y subacuática.

Ubicación del área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada por la carretera Mexicali-San Felipe B.C.N, México. Los límites geográficos del área de estudio obedecieron a intereses de comunidades locales, para efectos de elaboración y ejecución de proyectos, delimitándose de manera subjetiva según se indica el mapa topográfico (Figura 1).

Metodología para identificación de *Prosopis* spp.

Para la búsqueda de sitios con vegetación de Mezquitil, se utilizó una imagen Landsat TM Path039 Row038, de mayo 28 del 2006. La imagen fue analizada en ERDAS Imagine, a través del método de Clasificación Supervisada, como ha sido propuesto por Curran (1985); Townshend *et al.* (1987); Chuvienco (1995) y Eastman (1999). Se realizó un recorrido preliminar al área, para detectar zonas con presencia de Mezquitales, se registró su ubicación geográfica en coordenadas, utilizando un receptor del Sistema de Posicionamiento Global (GPS etrex) usando la proyección NAD27 UTM Zona 11 Norte. Las zonas registradas como Mezquitil, además de otras comunidades vegetales y los distintos usos de suelo, fueron usados como firma espectral en el clasificador de imágenes. Posteriormente la clasificación fue verificada con un segundo recorrido en campo, en el que se seleccionaron puntos al azar para determinar la correcta clasificación de la imagen.

Una vez validada la clasificación, la imagen fue transformada en ArcView 3.2 a un archivo de tipo vectorial (shape file), del cual se obtuvieron polígonos de los diferentes usos de suelo y vegetación, entre ellos las zonas de Mezquitil. Del archivo en formato "shape file" se realizó un análisis para el cálculo de la superficie en hectáreas (Burrough, 1986; Maguire, 1991; Goodchild, 1993).

Determinación del cambio de uso de suelo

Para determinar el cambio espacial ocurrido en las comunidades de Mezquitil a través de los últimos 15

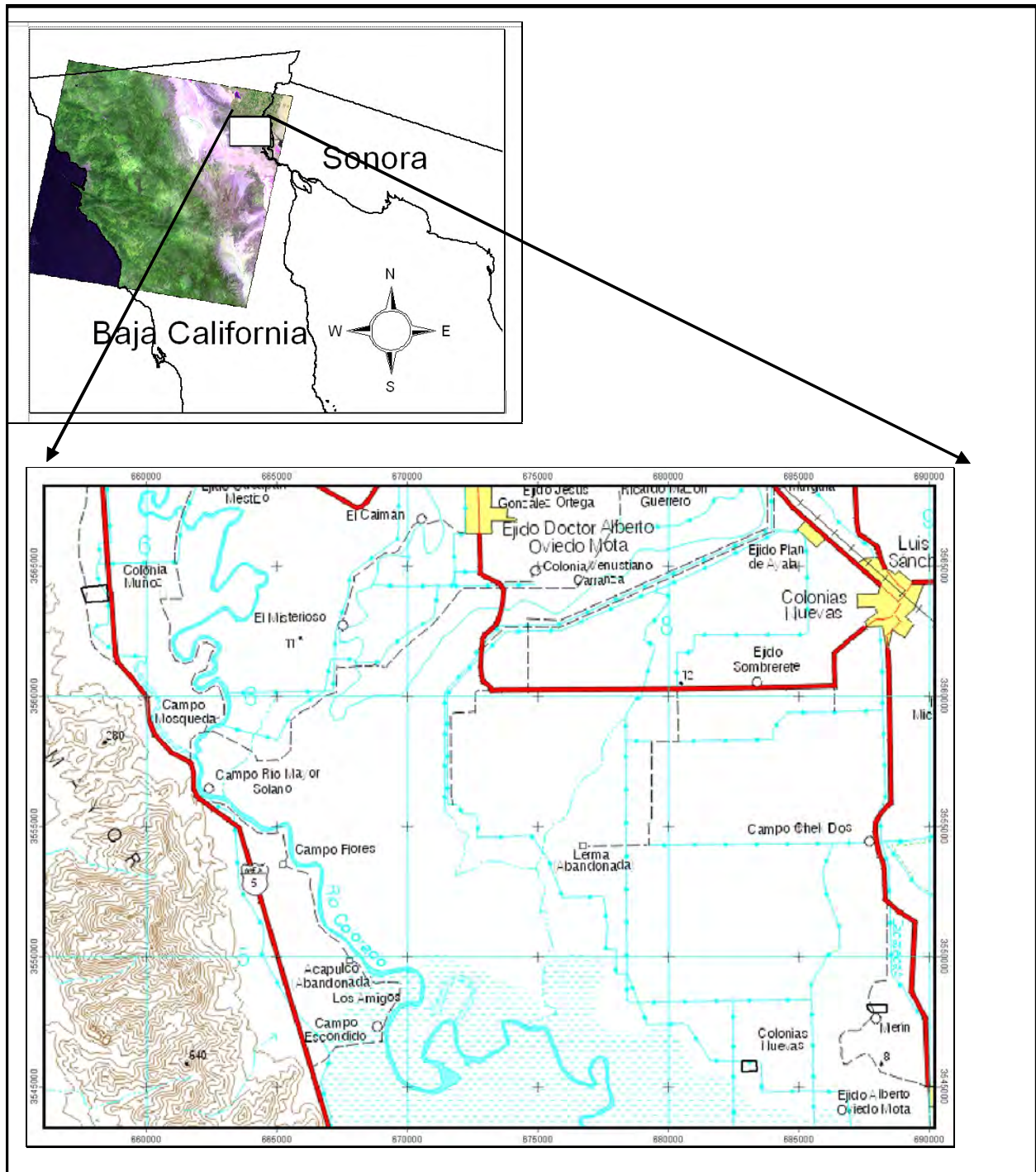


Figura 1. Ubicación geográfica y límites del área de estudio.

años, se analizó una Imagen Landsat TM Path039 Row038, de mayo 24 de 1990. Los sitios de verificación preliminares, y posteriores a la clasificación 2006 fueron utilizados como firma espectral. El resultado de la clasificación fue transformado a formato vectorial "shape file" y se calculó la superficie en hectáreas de las comunidades de Mezquital y de otros usos de suelo. Por diferencias de superficie entre imágenes satelitales

de diferentes fechas se obtuvo el cambio de uso de suelo.

RESULTADOS Y DISCUSION

Identificación de áreas de *Prosopis* spp., y usos de suelo por tipos de vegetación

La clasificación de los usos de suelo resultante fue de la siguiente manera: 1) Agrícola, 2) Agrícola de riego, 3)

Agua, 4) Vegetación halófila, 5) Matorral secundario, 6) Matorral Micrófilo, 7) Mezquital y 8) Otras (no identificadas) indicados en el Cuadro 1 y Figuras 2 y 3. Los resultados muestran que actualmente dentro del área de estudio, el Matorral es el que ocupa la mayor superficie (37.9% del área), seguida por las áreas de *Prosopis* spp., con un total de 20.5% de la superficie total; así mismo, la Agricultura tiene también un papel importante en esta zona, ya que representa aproximadamente el 15.7%. En este sentido, debido a la abundancia, cobertura y distribución espacial, las áreas de *Prosopis* poseen un alto valor de importancia ecológica dentro de estos ecosistemas, siendo ya resaltado por varios investigadores (Burkart, 1976; Dahl, 1982; González, 1986; Rodríguez y Maldonado 1996; López *et al.*, 2006).

Un total de 16,734.8 has, de *Prosopis* spp., fueron cuantificadas dentro de los límites del área de estudio (Figura 1), reconociéndose por características dimensionales como dominante y codominante. Según los resultados de la clasificación de la imagen satelital 2006, las áreas de *Prosopis* spp., se encuentran

distribuidas principalmente en las zonas más húmedas, como lo reportan (Solbrig y Cantino, 1975; Pasiecznik *et al.*, 2001), siguiendo gran parte de los contornos de ríos y arroyos (Figura 2), registrándose la mayor densidad arbórea en estas mismas zonas. Observaciones similares han sido reportadas por Pasiecznik *et al.* (2001). Un rasgo característico de este género, es la de establecerse principalmente en las planicies de uso agrícola.

Por otro lado, existe una asociación importante entre *Prosopis* spp., y especies del matorral secundario o vegetación perturbada por la acción antropogénica, destacando géneros tales como: *Cercidium*, *Acacia*, *Pithecellobium*, *Caesalpinia*, *Atriplex*, similar a lo reportado por Pasiecznik *et al.* (2001). Por el contrario, los resultados revelan que las relaciones de *Prosopis* spp., con el matorral micrófilo es casi nula. Es decir, en la zona de estudio pocas veces se podría encontrar a *Prosopis*, asociado a comunidades con géneros como *Agave lechuguilla*, *Euphorbia*, *Parthenium*, *Yucca* entre otros.

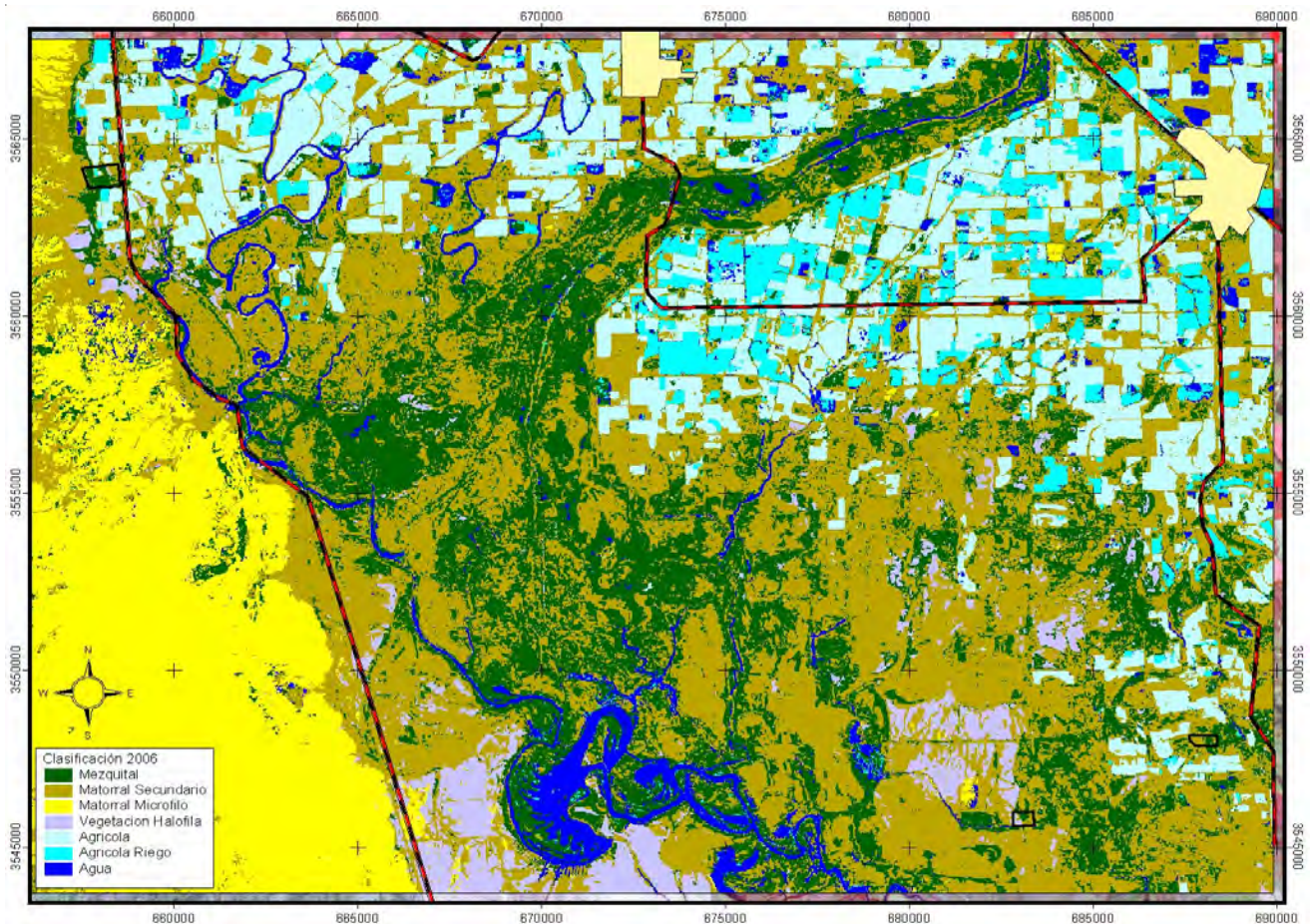


Figura 2. Distribución del género *Prosopis* spp. según imagen satelital 2006.

La sobreposición del mapa de suelos del área de estudio indica que las áreas de mezquite, ocupan cualquier tipo de suelo, desarrollándose principalmente en suelos salinos y sódicos, desde el tipo Solonchak hasta los Vertisoles, lo que demuestra su amplio rango de preferencias. Burkart (1976) y Felker *et al.* (1981) reportan que el género *Prosopis* spp., en México es tolerante a suelos salinos; mientras que Dahl (1982) menciona que no existen límites edáficos; incluyendo rocas, dunas, suelos arenosos o salinos en el que el mezquite no pueda sobrevivir. Se ha documentado ((Pasiiecznik *et al.*, 2001), que la profundidad del suelo, pobre drenaje y escaso oxígeno en el subsuelo puede afectar el crecimiento y sobrevivencia de *Prosopis* spp., pero no así el estado nutricional del mismo.

La precipitación pluvial registrada en áreas con presencia de mezquite en esta región, es menor a los 100 mm anuales. En este sentido, se ha encontrado que algunas especies de *Prosopis* se desarrollan en una gran variedad de zonas lluviosas desde menores a 50 mm (FAO, 1997), hasta cercanas a los 1500 mm en la región Andina (Pasiiecznik *et al.*, 2001). Así mismo, no parece haber límites de temperatura, para la distribución de *Prosopis* spp. Las especies nativas de México, sobreviven a -5°C incluso *P. glandulosa*, soporta -20°C y temperaturas superiores a los 50°C (Fisher *et al.*, 1959).

Según Burkart (1976), las comunidades de *Prosopis* spp., se adaptan a diferentes condiciones de humedad climática o edáfica, se desarrolla frecuentemente en terrenos de suelos profundos y en aluviones cercanos a escorrentías. Es común encontrar esta comunidad mezclada con diversos elementos como huizache (*Acacia* spp.), palo fierro (*Olneya tesota*), palo verde (*Cercidium* spp.), guamúchil (*Pithecellobium dulce*) entre otros.

Uso de suelo por tipo de vegetación

Los resultados del análisis de la imagen de satélite de 1990 (Figura 3), indican que hace 16 años, las áreas de mezquite eran más densas y cubrían alrededor de 18,897 has.; es decir, 2.65% más de lo que existe hoy día. De la misma manera, los resultados indican que en 1990, tanto el matorral como el mezquital, ocupaban la mayor parte del área de estudio (Tabla 1), no obstante, el matorral micrófilo ocupaba también una porción importante de esta región. Hoy día la agricultura ha desplazado el matorral secundario (Figura 3), ocasionando cambios en la diversidad de especies, así como en la distribución espacial de las mismas.

Todo indica que las características adaptativas de *Prosopis*, se manifiestan en periodos de tiempo corto, ya que al parecer la deforestación en el matorral micrófilo, aunado a la perturbación a la vegetación y

degradación del suelo, ocasiona la proliferación e invasión de mezquite. Según los resultados encontrados en esta investigación, analizando rangos altitudinales, el género *Prosopis* se ha ido desplazando desde los 100 hasta los 700 msnm, aproximadamente; hacia las partes altas de la Sierra, asociándose con la vegetación secundaria, producto de los aprovechamientos inadecuados (Figura 1 y 2), incrementando su amplitud ecológica a gran variedad de suelos y ecosistemas. En este sentido, Pasiiecznik *et al.* (2001), mencionan que la altitud, no parece ser un factor que afecte directamente la distribución de *Prosopis* spp., no obstante, la influencia humana, incluyendo introducciones intencionales de especies vegetales, invasiones arbustivas y la deforestación, sí pueden hacerlo. La proliferación de *Prosopis* en las comunidades áridas y semiáridas en esta región del país puede ser a causa de las altas temperaturas registradas, ya que como se han argumentado por Sundararaj *et al.* (1966), las temperaturas óptimas para la germinación de *Prosopis juliflora* es del orden de 30°C; incluso por arriba de 45°C (Pérez y Morales, 1990).

El Cuadro 1, muestra la superficie (has) de cada tipo de vegetación en el periodo de 1990 y 2006, así como la tendencia (incremento o decremento) porcentual para cada uno de ellos.

Los resultados indican que las áreas de Agricultura, ha incrementado significativamente en superficie durante el periodo considerado (1990-2006); así como el Matorral secundario. En este sentido, el cambio más importante se observa en las áreas agrícolas, las cuales han aumentado 4.75% desde 1990 a la fecha, el equivalente a 3,875 has, (Figura 4). Por otro lado, la extensión de los cuerpos de agua, vegetación halófila, el matorral micrófilo y por supuesto los mezquiales, disminuyen significativamente. El cambio más drástico se observa en las áreas de *Prosopis*, con pérdida alrededor de 2,200 has de 1990 al 2006 (Cuadro 1 y Figura 4).

Una exploración rápida de los cambios porcentuales y de la superficie (escala anual), del periodo evaluado (16 años), es indicada en la Figura 5. La escala de la izquierda representa el cambio anual de superficie por tipo de vegetación, mientras que a la derecha se muestra el cambio de superficie en términos porcentuales. Los resultados indican que las áreas agrícolas, dentro de los límites establecidos en esta área de estudio, incrementan aproximadamente 242 has·año⁻¹; es decir 0.30% anual de la superficie analizada, lo cual es debido al cambio de uso de suelo de matorral a agrícola o conversión de pastizal a agricultura, entre otros. Inversamente, la vegetación halófila, es la menos perturbada ya que solo pierde 11.0 has·año⁻¹, el equivalente al 0.01% de la superficie.

Cuadro 1.- Superficie por tipo de vegetación y cambio porcentual desde 1990 al 2006.

		USO DE SUELO 2006 (Ha)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
USO DE SUELO 1990 (Has)	Sup (Has)	12811.7	3,708.1	3,364.5	2,608.6	30,919.8	11,172.5	16,734.8	273.9
	1	8,936.2	+4.75 %						
	2	2,105.7	+1.96%						
	3	4,757.5		-1.71%					
	4	2,786.4			-0.22%				
	5	30,590.4				+0.40%			
	6	12,624.8					-1.78%		
	7	18,897.4						-2.65%	
	8	895.5							-0.76%

1= Agrícola; 2 = Agrícola de riego; 3 = Agua; 4 = Vegetación halófila; 5 = Matorral secundario; 6 = Matorral Micrófilo; 7 = Mezquital; 8 = Otras.

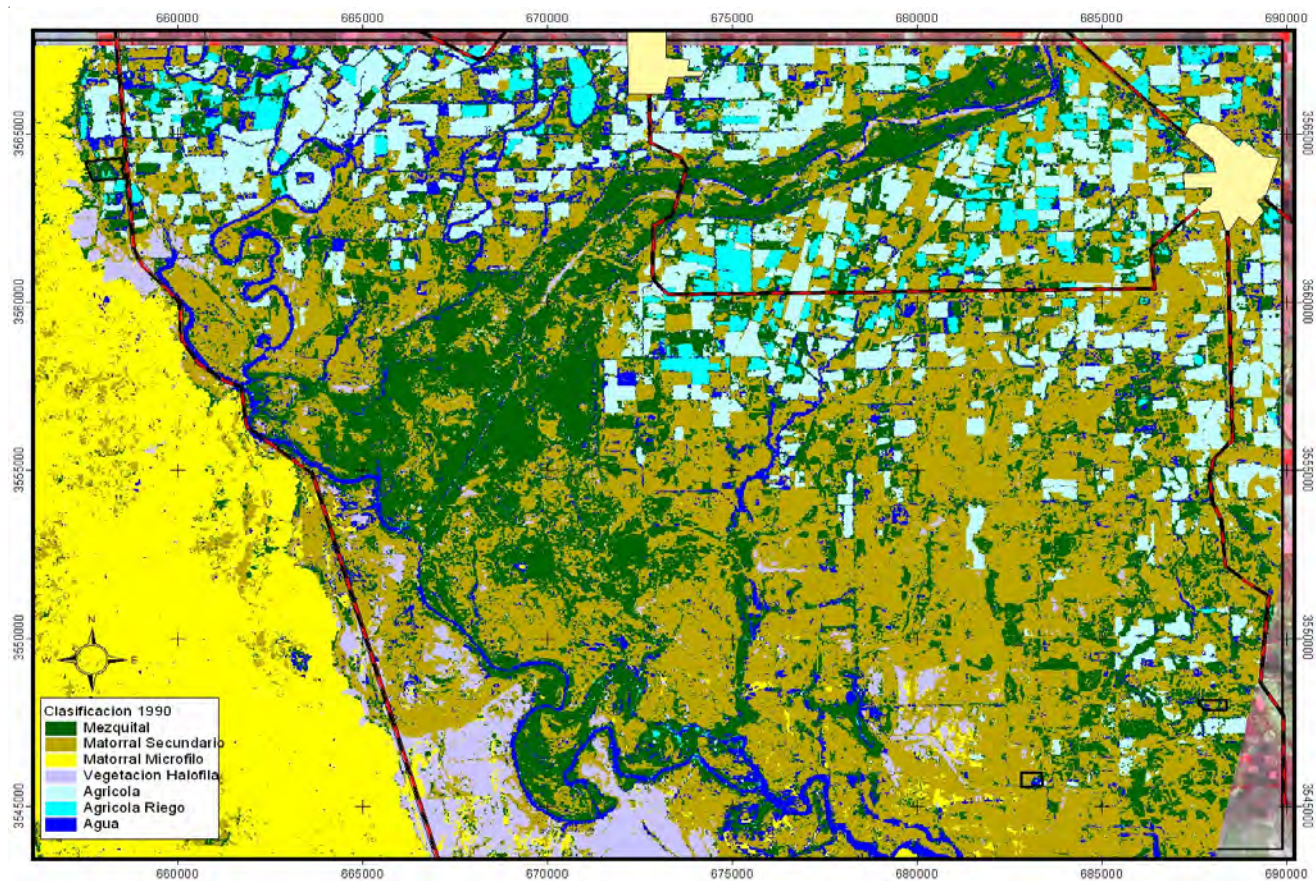


Figura 3. Distribución del genero *Prosopis* spp. según imagen satelital 1990.

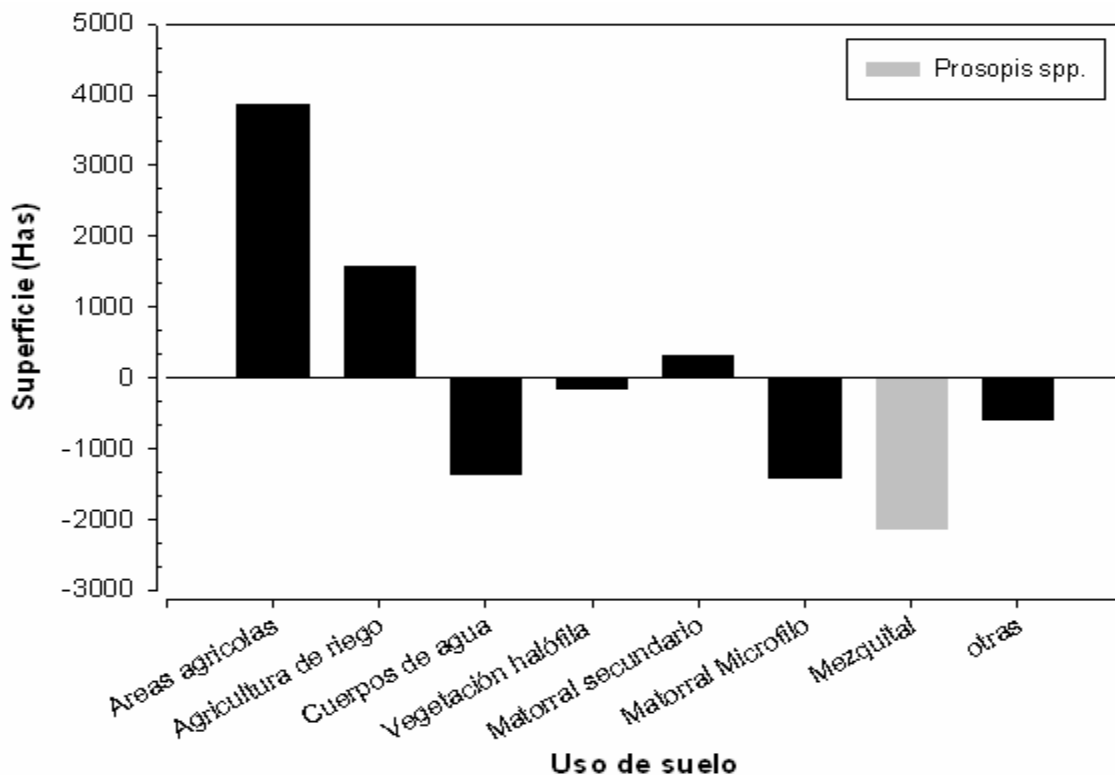


Figura 4. Cambio en superficie (ha) según tipo de vegetación (1990-2006).

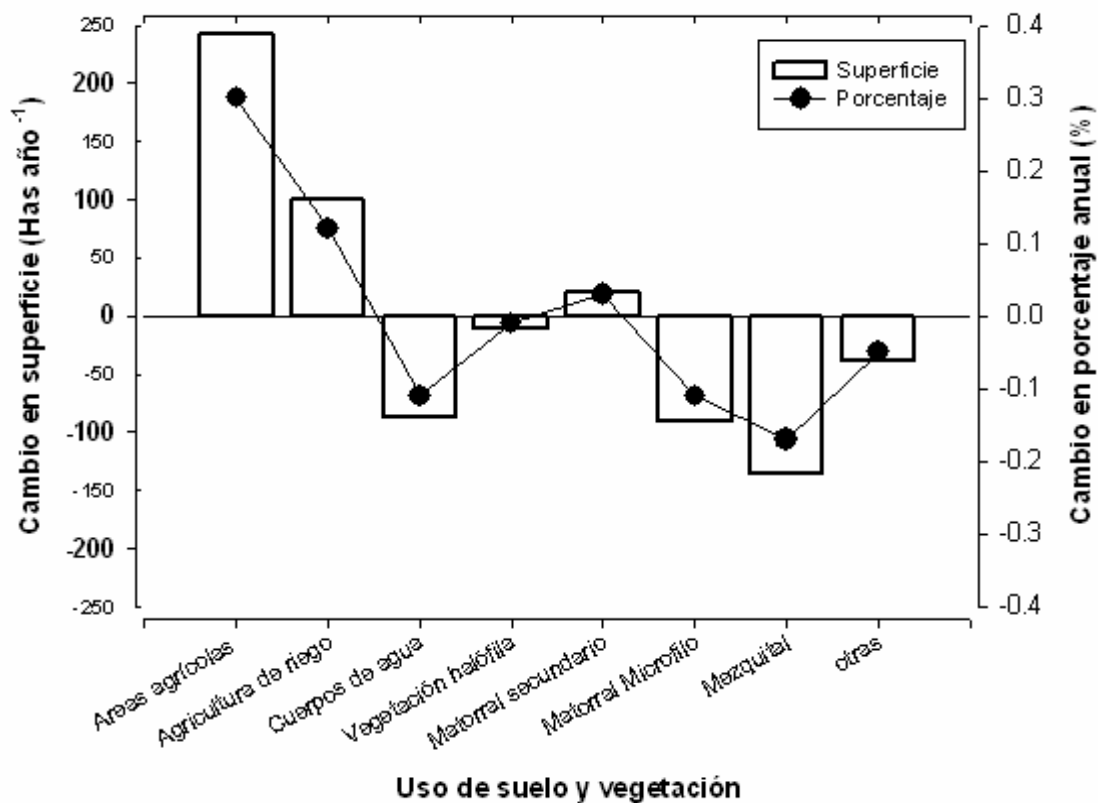


Figura 5. Cambios porcentuales y de superficie a escalas anuales por uso de suelo.

Específicamente, las áreas de *Prosopis* spp., disminuyen 0.17% por año, lo que se traduce en una pérdida de superficie de alrededor de 135 has-año⁻¹. Como ya se dijo anteriormente, en esta región se ha intensificado la agricultura, trayendo como consecuencia cambios de uso de suelo sumamente significativos, pero graves, para la diversidad biológica de las comunidades vegetales existentes en estas zonas.

CONCLUSIONES

La distribución del género *Prosopis* spp., en el área de estudio, se observa principalmente en las planicies agrícolas, asociada al matorral secundario y suelos con mayor contenido de humedad, presentándose la mayor cantidad de biomasa en los contornos de afluentes de agua.

Los resultados indican que la Agricultura y el Matorral secundario incrementaron en superficie (4.75 y 1.96%) desde 1990 al 2006, el equivalente a 3,875.5 y 1602.3 has, respectivamente. La extensión de los cuerpos de agua, vegetación halófila, el Matorral micrófilo y los mezquites, disminuyen significativamente; siendo más evidente y más drástica en las áreas de *Prosopis*, con 2,162.6 ha, durante este periodo.

Los análisis de cambio de uso de suelo de 1990 al 2006, indican que la densidad arbórea ha disminuido significativamente, con la consecuente aceleración del proceso de fragmentación. El cambio de uso de suelo de matorral a agrícola, en la región de Baja California, ha traído como consecuencia la pérdida de aproximadamente 135 has-año⁻¹, de *Prosopis* spp., adicionalmente, las áreas de mezquite se han ido desplazando gradualmente de las planicies agrícolas, a las partes serranas, desde el rango de 0-100 asnm hasta los 600-700 asnm aproximadamente, aumentando su distribución geográfica.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo a la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) en Baja California Norte México, por el financiamiento brindado para la realización de esta investigación, a través de la Convocatoria 2005.

LITERATURA CITADA

Alves, D.S.; Pereira J.L.G.; De Sousa C.L.; Soares J.V. y Yamaguchi F. 1999. Characterizing landscape changes in central Rondonia using Landsat TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 20, (14):2877- 2882.

Anderson, G. L.; Everitt J. H.; Richardson, A. J.; Escobar D., D. E. 1993. Using satellite data to map false

broomweed (*Ericameria austrotexana*) infestations on south Texas rangelands. *Weed Technology* 7:865–871.

Arcview Ver. 3.2. (2006). Environmental Systems Research Institute. Manual del usuario.

Becker, R. y Grosjean O.K. 1980. A compositional study of pods of two varieties of mesquite (*Prosopis glandulosa*, *P. velutina*). *J. Agric.*

Burkart, A. 1976. A monograph of the genus *Prosopis* (Leguminosae subfam. Mimosoideae). (Part 1 and 2). *Catalogue of the recognized species of Prosopis*. *Journal of the Arnold Arboretum*. 57:219-249 and 450-525.

Burrough, P.A. 1986. Principles of geographical information systems for land resources assessment. *Monographs on Soil and Resources Survey No. 12*. Oxford University Press. 193 pp.

Chuvieco, E. 1995. Fundamentos de teledetección espacial, Ediciones Rialp, Madrid.

Chuvieco, E. 1999. Remote Sensing of large wildfires in the European Mediterranean Basein. Ed. Springer. Berlin, 212 pag.

Clark, P. E.; Seyfried M. S. y Harris B. 2001. Intermountain plant community classification using Landsat TM and SPOT HRV data. *Journal of Range Management* 54:152–160.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), 1997. Provincias biogeográficas de México. Escala 1:4 000 000. México.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), 1999. Uso de suelo y vegetación modificado por CONABIO. Escala 1: 1 000 000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.

Curran, P. 1985. Principles of remote sensing. Longman Scientific & Technical. England, 262 pp.

Dahl, B. E. 1982 Mesquite as a rangeland plant. pp. A1-A20. In: *Mesquite Utilization*. (Ed.) H. W. Parker. Texas Tech University, Lubbock, Texas, USA.

Del Valle, F.R.; Marco E.; Becker R. y Saunders, R.M. 1987. Development and evaluation of a procedure to produce mesquite (*Prosopis* spp.) pod protein-concentrate. *Journal of Food Processing and Preservation* 11:237-246.

Delgadillo, R. J. 1995. Introducción al conocimiento bioclimático, fitogeográfico y fitosociológico del Suroeste de Norte América (Estados Unidos y México). Tesis Doctoral Universidad de Alcalá, de Henares, España, 566 pp.

Delgadillo, R. J. y Macías R., M.A. 2002. Componente florístico del desierto de San Felipe. Baja California México. *Bol. Soc. Bot. Mex.* 70: 45-65.

Eastman, R.J. 1999. Guide to GIS an imagen processing. Volume 2.Ed. Clark Labs. Worcester, M.A. 170 pp.

Everitt, J. H.; Escobar D. E.; Villarreal R.; Alaniz M. A.; Davis M. R. 1993. Canopy light reflectance and remote sensing of shin oak (*Quercus havardii*) and associated vegetation. *Weed Science* 41:290–297.

Falkner, E. 1995. Aerial mapping, methods and applications. Ed. Lewis Florida, USA.

- FAO (Food And Agriculture Organisation). 1997. *Especies Arbóreas y Arbustivas para las Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina*. FAO, Santiago, Chile.
- Felker, P. 1979. Mesquite: An all-purpose leguminous arid land tree. *New Agricultural Crops*, American Association for the Advancement of Science Symposium, 38: 89–132.
- Felker, P.; Cannell G. H. y Clark P. R. 1981. Variation in growth among 13 *Prosopis* (mesquite) species. *Experimental Agriculture* 17:209-218.
- Fisher, C. E.; Meadors C. H.; Behrens R.; Robinson E. D.; Marion P. T. y Morton, H. L. 1959. Control of mesquite on grazing lands. Texas Agricultural Experiment Station, College Station, Texas, USA. Texas Agricultural Experiment Station Bulletin Vol. 935.
- García, E. 1998. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Climas (Clasificación de Koppen, modificado por García). Escala 1:1 000 000. México.
- González, V.E. 1986. Individual applications of Tebuthiuron in mesquite (*Prosopis leavigata*) control in tropical cultivated prairies. 39th. Annual Meeting. Soc. for range Management. Kissimmee, Florida.
- Goodchild, M. F. 1993. The State of GIS for Environmental Problem-Solving. In: Goodchild M. F., Parks B.O., Steayert L. T. (eds.). *Environmental modeling with GIS*. Oxford University Press.
- Hunt, E. R., JR.; Everitt J. H.; Ritchie J. C.; Morán M. S.; Booth D. T.; Anderson G. L.; Clark P. E. y Seyfried, M. S. 2003. Applications of research using remote sensing for rangeland management. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 69:675–693.
- Jakubauskas, M.; Kindscher K. y Debinski, D. 1998. Multitemporal characterization and mapping of montane sagebrush communities using Indian IRS LISS-II imagery. *Geocarto International* 13:65–74.
- López, F. Y. L.; Goycoolea M.F.; Valdéz M.A. y Calderón De La Barca, A.M. 2006. Goma de Mezquite: Una Alternativa de uso industrial. *Interciencia*. Mar. 2006, Vol. 31 (3):183-189.
- Madrey R., L. y Torres R., C. 1990. Cuencas hidrológicas en Hidrogeografía e hidrometría. IV.6.1. Atlas Nacional de México. Vol. II. Escala 1: 4 000 000. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Maguire, D. J. 1991. An overview on definitions of GIS. In: Maguire, D.J., Goodchild, M.F., and Rhind, D.W. (eds.). *Geographical Information Systems: Principles and Applications*. Vol. I: Principles. Longman Scientific and Technical. New York, EUA. pp. 9-20.
- Palacio, J. L. y López J. 1994. Videography: an alternative remote sensing tool for monitoring gully erosion". *ITC Journal*, 3:233-237.
- Pasiecznik, N.M.; Felker P.; Harris P.J.C.; Harsh L.N.; Cruz G.; Tewari J.C.; Cadoret K. y Maldonado, L.J. 2001. *The Prosopis juliflora - Prosopis pallida Complex: A Monograph*. HDRA, Coventry, UK. pp.172.
- Perez, S.C.J.G. DE A. y Moraes J. A. P. V. DE M. 1990. Effects of temperature, temperature-gibberellin interaction and thermal stress on germination of *Prosopis juliflora* (Sw) DC. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* 2:41-53.
- Rodríguez, F.C. y Maldonado A., L.J. 1996. Overview of past, current and potential uses of mesquite in Mexico. En Felker R, Moss J (Eds.) *Prosopis: Semiarid Fuel wood and Forage Tree Building Consensus for the Disenfranchised*. Center for Semiarid Forest Resources. Texas A&M University. Washington, DC, USA. pp. 6.41-6.52.
- SEMARNAP, Subsecretaría de Recursos Naturales. 1998. Mapa de suelos dominantes de la República Mexicana. (Primera aproximación 1996). Escala 1:4 000 000. México.
- Shreve, F. y Wiggins I.L. 1975. *Vegetation and Flora of the Sonoran Desert*. Stanford University Press, Stanford.
- Solbrig, O. T.; Cantino P. D. 1975. Reproductive adaptations in *Prosopis* (Leguminosae, Mimosoideae). *Journal of the Arnold Arboretum* 56:185-210.
- Sundararaj, D. D.; Balasundramaniyam G. y Soundrapandian, G. 1966. Pretreatment of the seeds of *Prosopis juliflora* DC for improving germination. *Madras Agricultural Journal* 53:259-261.
- Townshend, J. R. G.; Justice C. O. y Kalb, V. T. 1987. Characterization and classification of South American land cover types using satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 8, 1189–1207.
- Tueller, P. T. 1989. Remote sensing technology for rangeland management applications. *Journal of Range Management* 42:442–453.
- Walker, P. 1990. Modeling wildlife distributions using a geographic information system: kangaroos in relation to climate. *Journal of Biogeography* 17:279-289.
- Wiggins, I.L. 1980. *Flora of Baja California*. Stanford University Press, Stanford. 1025 p.