



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTADES DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA

**PROGRAMA MULTIDISCIPLINARIO DE POSGRADO EN
CIENCIAS AMBIENTALES**

**EVOLUCIÓN RECIENTE Y ESTADO ACTUAL DE LA VEGETACIÓN DEL
ÁREA NATURAL PROTEGIDA SIERRA DE ÁLVAREZ, S. L. P.**

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES

PRESENTA:

M. EN C. PEDRO CASTILLO LARA

DIRECTOR DE TESIS:

DR. JUAN ROGELIO AGUIRRE RIVERA

COMITÉ TUTELAR:

**DR. JUAN ROGELIO AGUIRRE RIVERA
DR. JUAN IGNACIO VALDEZ HERNANDEZ
DRA. MA. GUADALUPE GALINDO MENDOZA**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTADES DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA

PROGRAMA MULTIDISCIPLINARIO DE POSGRADO EN
CIENCIAS AMBIENTALES

EVOLUCIÓN RECIENTE Y ESTADO ACTUAL DE LA VEGETACIÓN DEL
ÁREA NATURAL PROTEGIDA SIERRA DE ÁLVAREZ, S.L.P.

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

PRESENTA:

M.C. PEDRO CASTILLO LARA

DIRECTOR DE TESIS:
DR. JUAN ROGELIO AGUIRRE RIVERA

SINODALES:

PRESIDENTE:

DR. JUAN ROGELIO AGUIRRE RIVERA

SECRETARIO:

DR. JUAN IGNACIO VALDEZ HERNÁNDEZ

DRA. MA. GUADALUPE GALINDO MENDOZA

DR. JUAN ANTONIO REYES AGÜERO

DR. SAMUEL ISRAEL LEVY TACHER

**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE ZONAS DESÉRTICAS DE LA UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ**

**CON FINANCIAMIENTO DE:
CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (FONDOS MIXTOS)**

**PROYECTO: “ECOLOGÍA Y CONSERVACIÓN DE LOS BOSQUES DE LAS ÁREAS
PROTEGIDAS (ZONA DE PROTECCIÓN FORESTAL Y REFUGIO DE LA FAUNA SILVESTRE Y
EL PARQUE NACIONAL EL POTOSÍ) DE LA SIERRA DE ÁLVAREZ”
CLAVE: FMSLP-2002-5599**

**BECA-TESIS (CONVENIO NO. 176780) DEL
CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (CONACYT)**

**EL DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES RECIBE APOYO DEL
PROGRAMA DE FORTALECIMIENTO AL POSGRADO NACIONAL (PIFOP-
SEP).**

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento a las siguientes personas e instituciones:

A los miembros de mi comité tutelar. De manera muy especial al Dr. Juan Rogelio Aguirre Rivera (Director de tesis) por el tiempo y esfuerzo dedicados a la asesoría en cada una de las etapas de desarrollo de la presente tesis. Al Dr. Juan Ignacio Valdez Hernández (Asesor) y Dra. Ma. Guadalupe Galindo Mendoza (Asesora), por su apoyo para la consecución de la presente tesis.

Al Dr. Juan Antonio Reyes Agüero y al Dr. Samuel Israel Levy Tacher (miembros del jurado de mi examen doctoral) por su participación y valiosos comentarios que enriquecen el presente trabajo.

Al Dr. Richard Ivan Yeaton por su participación en uno de los capítulos de esta tesis.

Al Lic. En Geografía Luis Alberto Olvera Vargas, por su participación en la elaboración de los mapas incluidos en esta tesis.

A la M. C. Felicidad García Sánchez, al Sr. José García Pérez y al Biól. Andrés Jiménez Langarica por su ayuda en la identificación de las especies vegetales recolectadas.

A mis compañeros de generación: Dr. Jorge Alberto Flores Cano, Dra. Virginia Gabriela Cilia López, M. C. Guillermo Espinosa Reyes, Ing. Raquel Tovar Gutiérrez (q.p.d.), por el apoyo y amistad brindada.

Al Instituto de Investigación de Zonas Desérticas de la UASLP por cobijarme en su seno y permitirme estudiar el doctorado.

DEDICATORIA

A mi esposa Caty

A mis hijos Cynthia, Héctor y Daniela

Índice General

Índice general.....	i
Índice de tablas.....	iii
Índice de figuras.....	iv
1. Introducción general.....	1
Bibliografía.....	5
2. Identificación y evolución reciente de los tipos de vegetación del área natural protegida “Sierra de Álvarez”, San Luis Potosí, México.....	7
Resumen.....	7
Introducción.....	8
Área de estudio y metodología.....	12
Área de estudio.....	12
Métodos.....	16
Resultados.....	19
Discusión.....	26
Conclusiones.....	29
Bibliografía.....	30
3. Caracterización estructural del encinar y sus principales variantes en el área natural protegida “Sierra de Álvarez”, S. L.P.....	34
Resumen.....	34
Introducción.....	35
Área de estudio y metodología.....	42
Área de estudio.....	42
Métodos.....	45
Resultados.....	47
Discusión.....	56
Conclusiones.....	62
Bibliografía.....	64
4. Dinámica del encinar de la sierra de Álvarez, San Luis Potosí, México.....	69

Resumen.....	69
Abstract.....	70
Introducción.....	71
Área de estudio y metodología.....	73
Área de estudio.....	73
Métodos.....	75
Resultados.....	78
Discusión.....	82
Conclusiones.....	89
Bibliografía.....	91
5. Discusión general.....	98
Bibliografía.....	102
6. Conclusiones generales.....	104

Índice de Tablas

Tabla 2.1. Matriz de confusión de la clasificación de cobertura y uso del suelo para 1970.....	20
Tabla 2.2. Matriz de confusión de la clasificación 2000.....	21
Tabla 2.3. Cambios en las coberturas vegetales y usos del suelo (ha) del área natural protegida Sierra de Álvarez, S. L.P.....	23
Tabla 3.1. Índices de valor de importancia absoluto (IVIA) y relativo (IVIR) de la variante de <i>Juniperus-Quercus</i> del encinar del ANP “Sierra de Álvarez”.....	47
Tabla 3.2. Índices de valor de importancia absoluto (IVIA) y relativo (IVIR) de la variante <i>Quercus affinis</i> del encinar del ANP “Sierra de Álvarez”.....	50
Tabla 3.3. Índices de valor de importancia absoluto (IVIA) y relativo (IVIR) de la variante de <i>Quercus mexicana</i> del encinar del ANP “Sierra de Álvarez”.....	51
Tabla 3.4. Índices de diversidad de los componentes arbóreo y arbustivo de las variantes del bosque de encino del ANP “Sierra de Álvarez”.....	53
Tabla 3.5. Índices de similitud (I_j) de los componentes arbóreo y arbustivo de las variantes del bosque de encino del ANP “Sierra de Álvarez”.....	54
Tabla 4.1. Diámetro (cm) basal del tronco, densidad (número de individuos ha^{-1}) y densidad relativa de las especies dominantes en la comunidad vegetal de El Carrizal (n=5 unidades de muestreo circulares de 314 m^2 c/u).....	75
Tabla 4.2. Plántulas y juveniles de las cuatro especies de encino en cinco claros adyacentes al bosque. Valores observados y totales en cinco bandas de 5X30 m paralelas al borde del bosque (la primera bajo el dosel y las siguientes en el terreno desmontado).....	76
Tabla 4.3. Interacción y tasa de simetría \pm el error estándar (EE) de los doseles de pares de individuos (n) de las tres especies de encino importantes en la dinámica vegetal de El Carrizal.....	77
Tabla 4.4. Individuos de <i>Quercus coccolobifolia</i> y <i>Q. crassifolia</i> con los fustes principales dañados y sin daño cuando interactúan con <i>Q. affinis</i> (prueba de χ^2 $p<0.01$).....	78

Índice de Figuras

Figura 2.1. Localización del área de estudio.....	13
Figura 2.2. Mapa de la cobertura y usos del suelo de 1970.....	20
Figura 2.3. Mapa de la cobertura y usos del suelo de 2000.....	22
Figura 2.4. Cambios en la cobertura y usos del suelo entre 1970 y 2000.....	22

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Las actividades humanas han sido reconocidas como la mayor fuerza modeladora del paisaje (Foster *et al.*, 1999). El balance entre ambiente natural y paisaje humano podría determinar el futuro de la diversidad biológica en grandes áreas del planeta (López, 2006). A lo largo de la historia, la humanidad ha establecido distintas formas de relación con la naturaleza. El Neolítico, que representa el 99% de la historia del hombre, estuvo caracterizado por pueblos de cazadores, recolectores y pescadores que se adaptaron a su medio sin destruirlo (Alcérreca *et al.*, 1988). Sin embargo, la aparición de la agricultura y la ganadería implicó una relación distinta y mucho más impactante para con los ecosistemas. Las prácticas agrícolas y la cría de animales modificaron el flujo de energía y tendieron a eliminar sistemas ecológicos complejos, reemplazándolos por otros más simples, en vastas zonas naturales. El creciente impacto ambiental ha provocado un aumento en la toma de conciencia sobre proteger los ecosistemas naturales, mediante la creación de áreas naturales protegidas.

Las áreas naturales protegidas, en un sentido amplio, han aparecido siempre que un grupo social ha separado una porción de su entorno, con el objeto de suprimir o mitigar la influencia negativa sobre dicha área. Los móviles que han llevado a la protección de áreas naturales, han sido muy diversos: religiosos, estéticos, recreativos, económicos, culturales o ecológicos, pero siempre han estado ligados a la relación de los grupos humanos con la naturaleza. Las áreas naturales protegidas no necesariamente tienen que permanecer ociosas ni quedar aisladas de las actividades humanas; antes bien, pueden cumplir con una variedad de funciones. Sirven, por ejemplo, de banco evolutivamente dinámico de

recursos vivos, aseguran el abastecimiento superficial y subterráneo de agua, regulan el clima, protegen recursos culturales, permiten la recreación, y favorecen la educación y la investigación científica, entre otros usos indirectos. Puede inclusive autorizarse y fomentarse en ellas el uso directo; es decir, el aprovechamiento y extracción de recursos, en dependencia de las características del área. El uso directo, sin embargo, debe estar estrictamente regulado y supeditado a los objetivos de uso indirecto (Alcérreca *et al.*, 1988).

En México, los grupos prehispánicos establecieron diversas formas de relación con la naturaleza, las cuales estuvieron caracterizadas por un profundo respeto hacia el medio natural, con estrategias basadas en el policultivo y el aprovechamiento del espacio vertical y horizontal estratificado. La conquista marcó un cambio drástico en el aprovechamiento de los recursos naturales. Los españoles destruyeron o modificaron las tradiciones de uso de los recursos y las sustituyeron por otras de gran impacto como la agricultura, la ganadería y la minería. Durante la colonia la protección ecológica cayó en el olvido y la preservación de algunas áreas naturales estuvo básicamente determinada por su inaccesibilidad, más que por el interés de conservarlas. Durante la época independiente se acentuó el proceso de degradación de las áreas naturales, al persistir las formas de aprovechamiento establecidas por los españoles y al incrementarse la industrialización. Sin embargo, fue en este contexto que se dieron los primeros pasos para la conservación de algunas áreas naturales en el país. En 1898 fue declarado como "Monte Vedado" el Mineral del Chico en Hidalgo, área que luego se convertiría en el primer Parque Nacional de México (Alcérreca *et al.*, 1988).

La sierra de Álvarez en general, y en particular, el área donde se localiza el área natural protegida “Sierra de Álvarez”, ha estado sometida al aprovechamiento de sus recursos forestales, especialmente a partir de la llegada de los españoles a esta región en 1592. El aprovechamiento de los recursos forestales de la sierra de Álvarez tuvo su punto más álgido en la primera mitad del siglo XX, cuando el aprovechamiento forestal fue concesionado a dos compañías: la estadounidense “The Alvarez Land and Timber Company” y la potosina “Sociedad José E. Ipiña” (Martínez, 2003). Fue tanta la extracción de madera durante este periodo, que se construyó una vía férrea que partía de la ciudad de San Luis Potosí y se internaba hasta el kilómetro 58, dentro de la sierra, con el único objeto de extraer leña, madera y carbón vegetal.

La Zona de Protección Forestal “Sierra de Álvarez” fue creada en 1981 con los objetivos de: “conservar, restaurar, proteger, incrementar y aprovechar los recursos naturales, con objeto de evitar la erosión y degradación de los suelos, mantener y regular el régimen hidrológico, preservar la vegetación de cualquier daño o destrucción en perjuicio de la población, así como la de incrementar, proteger y vigilar la propagación de la fauna silvestre en el hábitat que le es propio y mejorar las condiciones ecológicas del medio ambiente rural y urbano” (Anónimo, 1981; Torres y Sierra, 2003).

Sin embargo, como la mayoría de las áreas naturales protegidas del país, “Sierra de Álvarez” ha permanecido únicamente como una forma jurídica (Ordóñez y Flores, 1995; Challenger, 1998); es decir, sólo en el decreto, debido a

que no se ha destinado presupuesto ni el personal necesarios para evaluarla, estudiarla y administrarla adecuadamente, de tal forma que se puedan cumplir los objetivos para los cuales fue creada. Así, se presentan diversos problemas, originados por las presiones que ejercen los propietarios y usufructuarios sobre sus recursos y la falta de interés por parte de las autoridades encargadas de su cuidado y manejo. De acuerdo con Torres y Sierra (2003), dichos problemas se traducen en: a) falta del plan de manejo, inadecuada delimitación de su área y nula señalización y vigilancia; b) aprovechamiento irregular de madera de encino para la elaboración de carbón y leña; y c) extracción de materiales minerales para construcción. Además, el pastoreo de ganado y el cultivo de especies anuales en terrenos impropios para estas actividades son comunes en el área (Castillo, 2003). Finalmente, debido a la belleza de su paisaje y cercanía a la ciudad de San Luis Potosí, esta parte de la sierra de Álvarez cada día cobra mayor importancia como área de recreación y ecoturismo, especialmente el paraje conocido como Valle de los Fantasma, pero se carece de la infraestructura y servicios necesarios para realizar esta actividad adecuadamente (Torres y Sierra, 2003).

Lo anterior ha ocasionado un impacto negativo considerable sobre esta área natural protegida, de tal forma que son comunes las áreas abiertas donde la vegetación predominante está compuesta por especies herbáceas, principalmente gramíneas, mantenida por las perturbaciones recurrentes ocasionadas por el pastoreo y las actividades recreativas. La mayoría de la vegetación arbórea que subsiste es secundaria, resultado del aprovechamiento en gran escala que se

efectuó durante la primera mitad del siglo pasado; las poblaciones de fauna silvestre han disminuido y en algunos casos han desaparecido.

Con base en lo precedente esta tesis tiene como objetivos generales reconocer formalmente los recursos vegetales actuales del área natural protegida “Sierra de Álvarez” en tres aspectos básicos: a) caracterización de su paisaje, en la cual se aborda la identificación de las cubiertas vegetales y usos del suelo actuales y su evolución reciente; b) caracterización estructural de sus comunidades arbóreas; y c) exploración de la dinámica de las relaciones entre las especies que conforman una de sus comunidades vegetal.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcérreca A., C.; J. J. Consejo D.; O. Flores V.; D. Gutiérrez C.; E. Hentschel A.; M. Herzig Z.; R. Pérez-Gil S.; J. M. Reyes G.; V. Sánchez-Cordero D. 1988. Fauna silvestre y áreas naturales protegidas. Universo Veintiuno. México, D. F. México. 1993 p.
- Anónimo. 1981. Decreto por el que por causa de interés público se establece zona de protección forestal y refugio de la fauna silvestre la región conocida como Sierra de Álvarez, S.L.P. Diario Oficial de la Federación. México, D.F. 4 p.
- Castillo L., P. Encinares de la sierra de Álvarez: caracterización y dinámica. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 121 p.

- Challenger, A. 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F. México. 847 p.
- Foster, D. R.; M. Fluet; E. R. Boose. 1999. Human or natural disturbance: landscape scale dynamics of the tropical forests of Puerto Rico. *Ecological Applications*. 9(2). 555-572.
- López G., E. M.; G. Bocco; M. Mendoza; A. Velásquez; J. R. Aguirre R. 2006. Peasant emigration and land-use change at the watershed level: A GIS-based approach in Central Mexico. *Agricultural Systems*. 90(1-3): 62-78.
- Martínez de la V., G. 2003. Utilización de la fauna silvestre en la sierra de Álvarez, San Luis Potosí. Tesis de Maestría. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Veracruz. México. 130p.
- Ordóñez D., M. de J., O. Flores Villela. 1995. Áreas naturales protegidas. Pronatura, A. C. Serie Cuadernos de Conservación No. 4. 43 p.
- Torres J., J. G.; M. del S. Sierra R. 2003. Las áreas naturales protegidas del estado de San Luis Potosí. Secretaría de Ecología y Gestión Ambiental, Gobierno del Estado de San Luis Potosí. San Luis Potosí, S.L.P. México. 120 p.

2. Identificación y evolución reciente de los tipos de vegetación del área natural protegida “Sierra de Álvarez”, San Luis Potosí, México.

Pedro Castillo Lara¹, Ma. Guadalupe Galindo Mendoza²

Luis Alberto Olvera Vargas², Juan Rogelio Aguirre Rivera³

¹ Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales (PMPCA), Área de Recursos Naturales. Altair 200. Fracc. Del Llano. C.P. 78377. San Luis Potosí, S.L.P. pcastillo157@yahoo.com.mx;

² Coordinación en Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

³ Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Altair 200. Fracc. Del Llano. C.P. 78377.

RESUMEN

En este estudio se clasifican las cubiertas vegetales y usos del suelo en el área natural protegida Sierra de Álvarez, en el estado de San Luis Potosí y se analiza la evolución de las mismas en el período 1970-2000. En la clasificación de 1970 se utilizaron las fotografías aéreas pancromáticas blanco y negro, escala 1:25,000 y en la del 2000 las ortofotografías digitales escala 1:50,000. Las fotografías y las ortofotos se refirieron geográficamente y se formaron dos mosaicos de ambas fechas con el software ILWIS 3.3. Las cubiertas vegetales y usos del suelo fueron fotointerpretadas visualmente de acuerdo con claves fotogramétricas estándar. Se identificaron tres tipos generales de vegetación

(matorral crasicaule, chaparral, pastizal y bosque de encino). En el bosque de encino se identificaron cinco variantes (*Juniperus-Quercus*, *Quercus mexicana*, *Quercus diversifolia*, *Quercus grisea* y *Quercus mexicana-Chaparral*). Los usos del suelo que se identificaron fueron agricultura de secano y suelo desnudo (extracción de materiales para la construcción) y cuerpos de agua; y en la clasificación del 2000, plantaciones de eucalipto y *Cupressus*. En general, el área utilizada en la producción de cosechas está disminuyendo, mientras que las coberturas vegetales están aumentando a una tasa anual del 0.25%, lo cual indica que a pesar de las presiones humanas sobre esta parte de la sierra de Álvarez a través de los años, la tendencia actual es hacia la recuperación de la cubierta vegetal.

INTRODUCCIÓN

El uso y la cobertura de la tierra están en constante cambio. Estos cambios tienen un impacto muy importante sobre el paisaje, así como en su diversidad biológica. En la sociedad se está incrementando el interés por reconocer y estudiar estos cambios, así como en generar la información necesaria para los profesionales, autoridades y público en general para la toma de decisiones (Arnberg, 2003).

El cambio en el uso del terreno desempeña un papel importante en los procesos actuales de cambio global y se relaciona directamente con la seguridad en la producción de alimentos, la salud humana, la urbanización, la diversidad

biológica, los refugios ambientales, y la calidad del agua y el suelo, entre otros procesos (Dunjó *et al.*, 2003; Milesi *et al.*, 2005; Heistermann *et al.*, 2006).

Se ha reconocido que las actividades humanas han sido las responsables de la transformación de la biosfera y de la mayoría de los cambios en los ecosistemas terrestres (Meyer y Turner II, 1994; Foster *et al.*, 1999). Aunque los factores asociados a estas transformaciones son múltiples, el desarrollo de infraestructura, la presión demográfica, la tenencia de la tierra y la intensificación del uso del suelo, son algunas de las causas más significativas (Geist y Lambin, 2002; Reyes *et al.*, 2006). El crecimiento de la población y el incremento en su tasa de demanda de recursos han sido reconocidos como los factores más importante en el cambio del uso del suelo y su subsecuente degradación (Barbier, 2000; Rao y Pant, 2001). Un resultado de la concatenación de estos factores, es la deforestación o cambio de uso del suelo de los bosques, proceso que incluye la fragmentación de la cubierta forestal en manchones pequeños y dispersos, lo cual repercute en la cantidad y calidad de estos recursos naturales (Viña *et al.*, 2004).

De acuerdo con Achard *et al.* (2002), la deforestación es la conversión de la cubierta del bosque en otro tipo de cubiertas, como matorrales, pastizales, tierras agrícolas y suelo desnudo. La FAO define la deforestación como la reducción de la cubierta forestal al 9% o menos de la superficie boscosa original (Viña *et al.*, 2004).

En muchos sectores de la sociedad existe la necesidad de registrar los cambios en la cubierta vegetal; por ejemplo, en aprovechamientos forestales en

general, y en la planeación, conservación y manejo de reservas naturales (Arnberg, 2003). Esto debe hacerse a través del análisis de dichos cambios, lo cual implica que sus diferentes estados sean identificados por medio de su observación en diferentes fechas, y así poder cuantificar los resultados provocados por los procesos naturales o por las prácticas de manejo a través del tiempo (Nordberg y Evertson, 2003).

La parte de la sierra de Álvarez donde ahora se localiza el área natural protegida (ANP) "Sierra de Álvarez" en el estado de San Luis Potosí, ha estado sometida al aprovechamiento de sus recursos forestales, especialmente a partir de la llegada de los españoles a esta región en 1592. En general se acepta que los grupos nómadas primitivos no ejercieron efectos drásticos sobre los ecosistemas de los que formaban parte, en razón de su densidad reducida, su movilidad y su íntima dependencia de la vegetación y la fauna (Aguirre, 1979). Durante la época colonial, gran parte de los recursos forestales fueron sometidos a un aprovechamiento exhaustivo, sobre todo en las áreas de influencia de los fundos mineros y en los lugares cercanos a los centros de población (Bonilla, 1999). El desarrollo de la actividad minera ocasionó un grave impacto ambiental, debido a la demanda de una gran cantidad de combustible y de madera, lo que llevó a la virtual desaparición de los bosques que rodeaban a algunas de las ciudades mineras (Carabias, 1999).

La explotación de los recursos forestales en esta región tuvo su punto más álgido en la primera mitad del siglo XX, cuando el aprovechamiento forestal fue concesionado a dos compañías: a) la estadounidense "The Alvarez Land and

Timber Company” y la potosina “Sociedad José E. Ipiña” (Martínez, 2003). Fue tanta la extracción de madera durante este periodo, que se construyó una vía férrea que partía de la ciudad de San Luis Potosí y se internaba hasta el kilómetro 58 dentro de la sierra, con el único objeto de extraer leña, madera y carbón vegetal. Esto ocasionó que grandes áreas de la sierra fueran deforestadas, principalmente en parte de los municipios de Cerro de San Pedro, Armadillo de los Infante, San Nicolás Tolentino y Villa de Zaragoza. Además, se propició el establecimiento de asentamientos humanos en la zona, tales como Álvarez y El Cincuenta y Ocho. Estos colonos, posteriormente a las concesiones, introdujeron ganado doméstico (bovinos y ovinos, principalmente) en las áreas deforestadas y abrieron áreas al cultivo de maíz, frijol, chícharo y algunos frutales, impidiendo la repoblación natural de las especies arbóreas.

De acuerdo con Torres y Sierra (2003), actualmente los principales problemas del ANP “Sierra de Álvarez” se traducen en: a) falta de delimitación y señalización, b) aprovechamiento de las especies arbóreas para carbón con poca eficiencia en el proceso por la rusticidad de sus hornos, c) extracción de materiales para la construcción, y d) falta de programa de manejo, vigilancia e infraestructura. Así los objetivos de este trabajo fueron: a) delimitar el área del ANP “Sierra de Álvarez”, b) identificar y categorizar los tipos de vegetación y sus variantes, así como los usos del suelo, y c) documentar y analizar los cambios recientes (1970-2000) en la cubierta.

ÁREA DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA

Área de estudio

El área de protección de flora y fauna “Sierra de Álvarez” se localiza en la porción norte de la sierra de Álvarez, entre las coordenadas 21°59.321' y 22°08.904' de latitud N, y 100°42.614' y 100°33.745' de longitud O, en parte de los municipios de Armadillo de los Infante, Villa de Zaragoza y San Nicolás Tolentino (Figura 1).

La altitud de sus rasgos topográficos varía entre 2,000 m en el extremo norte del área de estudio y 2,700 m en el cerro localizado al sureste de la estación de microondas (Anónimo, 1974; Anónimo, 1981). Los rasgos topográficos más altos conforman un parteaguas que divide el área de estudio en dos vertientes con diferencias climáticas marcadas. La parte oeste más seca pertenece a la cuenca hidrográfica del valle de San Luis Potosí y la noreste a la del Río Verde (Cserna y Bello, 1963). El drenaje, por lo tanto, consiste en dos sistemas separados, los cuales fluyen en dirección oeste y noreste, respectivamente, y desembocan en las cuencas mencionadas.

La escorrentía superficial ocasional que fluye hacia la cuenca del valle de San Luis Potosí desaparece por evaporación e infiltración; mientras que la mayoría de la que se genera en la parte oriental se infiltra en los sistemas kársticos, los cuales ahí son abundantes (Cserna y Bello, 1963).

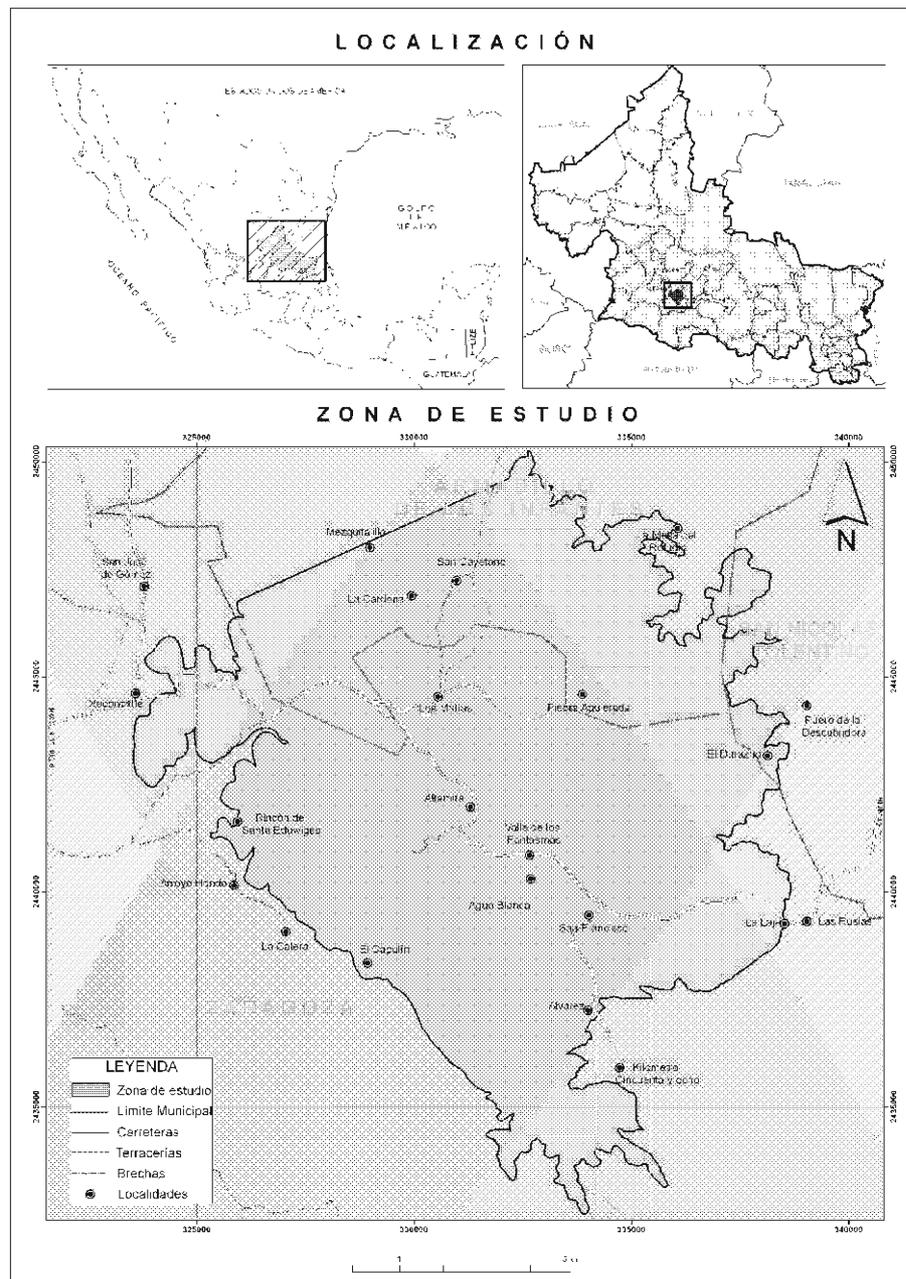


Fig. 2.1. Localización del área de estudio.

Las rocas que afloran en el área de estudio son calizas y lutitas del cretácico, pertenecientes a las formaciones El Doctor, Soyatal y Cárdenas (Cserna y Bello, 1963). En la vertiente oeste afloran rocas riolíticas del terciario, las cuales yacen sobre la formación El Doctor.

Los suelos predominantes son litosoles someros de textura media. En la vertiente oeste, a la altura del poblado El Xoconostle, existe una pequeña porción de xerosol háplico de origen residual y coluvial, de textura media y profundidad moderada (Anónimo, 1973). Existen además dos franjas discontinuas de luvisoles órticos, derivados de rocas calizas y de textura fina; la mayor precipitación asociada a ellos ha ejercido una influencia en la disgregación de la roca y en la acumulación de materiales finos de arcilla y óxidos de hierro y manganeso (Anónimo, 2002). Una de estas franjas corre de noroeste a sureste, desde las inmediaciones del poblado La Cardona hasta Rancho Nuevo. La segunda se localiza en el noreste, a la altura de La Carbonera y El Durazno.

La temperatura, precipitación y otros elementos climáticos están íntimamente relacionados con la orientación general de la sierra de Álvarez y con los diferentes rasgos topográficos del área de estudio. En la vertiente noreste, el clima que predomina es seco templado (García, 1988; Anónimo, 2002). La temperatura media anual varía entre 12° y 18°C, y la temperatura media del mes más frío entre -3° y 18°C. La precipitación total anual es de 571 mm, de la cual entre el 90 y 95 % ocurre de mayo a octubre y el resto entre noviembre y abril. En la vertiente oeste los regímenes de temperatura son similares, pero debido al efecto de sombra orográfica, la precipitación es de sólo 371 mm (García, 1988). En ambos casos, la temporada de mayor precipitación está separada por un período relativamente más seco, el cual ocurre en julio y agosto.

Las características de la vegetación dependen de varios factores y sus interacciones, lo cual conforma el ambiente físico del área y da como resultado la conformación de diversas comunidades, en donde las diferentes poblaciones comparten en mayor o menor grado su adaptación a dicho ambiente. En el área de estudio el substrato geológico, la temperatura, la precipitación y la humedad edáfica, así como las actividades humanas, son los principales factores que determinan las características de los diferentes tipos de vegetación (Cserna y Bello, 1962). De acuerdo con la Carta de Uso del Suelo y Vegetación (Anónimo, 1974), en la zona de protección forestal existen tres tipos principales de vegetación: a) bosque de encino; b) pastizal; y c) chaparral. Según dicha carta, cada tipo de vegetación a su vez presenta variantes de acuerdo con las especies que se encuentran asociadas; de este modo, el bosque de encino se encuentra asociado con especies del chaparral, matorral crasirosulifolios (sic), *Juniperus* y plantaciones de eucalipto, cedro y pino, y el pastizal con especies del matorral crasirosulifolios (sic), chaparral y encinar.

En el área de estudio existen varios poblados, cuyos habitantes hacen uso de los recursos de diferente forma. Se aprovechan los valles intermontanos y laderas con poca inclinación para la producción de cosechas de secano de maíz, frijol y chícharo (García *et al.*, 1999). La actividad pecuaria se realiza en las áreas desmontadas y en el propio bosque, donde se sustenta ganado ovino, bovino y equino. Una actividad importante es la minería; existen varios bancos de materiales de donde se extrae roca caliza para la elaboración de cal y otros materiales para la construcción. Son comunes además, la elaboración clandestina de carbón de encino y la recolección de "tierra de monte", capa

superior de los suelos con bosques cerrados, lo cual se vende como sustrato para macetas. Debido a su cercanía con la capital del estado, la sierra de Álvarez en su conjunto, representa una importante área de recreo y posiblemente de recarga de los acuíferos profundos que abastecen a la ciudad de San Luis Potosí y a otras poblaciones importantes.

Métodos

Para delimitar el área se utilizaron las cartas topográficas F14-A-85, F14-A-84 y F14-C-15, escala 1:50,000, publicadas por la Comisión de Estudios del Territorio Nacional (Anónimo, 1974). Sobre estas cartas se delineó el perímetro del área, de acuerdo con los datos contenidos en el decreto de creación de la Zona de Protección de Flora y Fauna "Sierra de Álvarez". El perímetro se digitalizó en el programa computacional ILWIS 3.3. Para la clasificación de la cobertura y los usos del suelo existentes en 1970 se utilizaron las fotografías aéreas blanco y negro pancromáticas, escala 1:25,000 (45 fotografías). Las coberturas y uso del suelo correspondientes al año 2000 fueron clasificadas en las ortofotografías digitales escala 1:50,000 del área de estudio. Las fotografías fueron escaneadas y referidas geográficamente con el propio ILWIS 3.3. En ambos casos se conformaron mosaicos del área de estudio. La interpretación computacional se realizó con claves fotogramétricas estándar (tono, textura, patrón, forma y tamaño) (Chuvieco, 1990; Lillesand *et al.*, 2004). Las categorías o clases de cobertura discriminadas fueron bosque de *Quercus mexicana*, bosque de *Juniperus-Quercus*, bosque de *Quercus diversifolia*, pastizal, agricultura de secano, matorral crasicaule, plantación de *Cupressus*, plantación de eucalipto,

cuerpos de agua y suelo desnudo (incluyendo las áreas de extracción de roca caliza).

La fiabilidad de la clasificación se realizó de acuerdo con los criterios establecidos para estimar su exactitud (Chuvieco, 1990). Para la clasificación de 1970 se tomaron 300 puntos al azar en la Carta de Uso del Suelo y Vegetación (Anónimo, 1974) mientras que para la clasificación de 2000, se realizó un recorrido de campo y se registraron 100 puntos en total para todas las clases. En ambos casos se utilizó un sistema de muestreo aleatorio estratificado (por clase de cobertura). Con los puntos muestreados se elaboraron dos tablas de confusión, las cuales resumen los acuerdos y desacuerdos entre las clases de los mapas generados y las reconocidas en el terreno (Chuvieco, 1990). Estas tablas son matrices bidimensionales en donde las filas son las clases de referencia, y las columnas las categorías deducidas por la clasificación; es decir, tanto las filas como las columnas tienen el mismo significado (matriz cuadrada $n \times n$, donde n indica el número de categorías). La diagonal de esta matriz expresa el número de puntos de verificación en donde existe concordancia entre las dos fuentes (mapa y realidad), mientras los marginales suponen errores de asignación. La relación entre puntos correctamente asignados y el total expresa la fiabilidad del mapa.

A partir de la matriz de confusión se calculó el estadístico:

$$Fm = \frac{\sum Xi}{\sum \sum Xij} 100$$

Donde: Fm es la fiabilidad del mapa generado, $\sum Xi$ es la suma de los puntos concordantes y $\sum \sum Xij$ el total de puntos muestreados (hileras y columnas). Esta

ecuación expresa la fiabilidad global del mapa, relacionando los elementos de la diagonal con el total de puntos muestreados. Se considera una buena fiabilidad cuando el resultado del estadístico es superior al 80% (Chuvieco, 1990).

Las tasas de cambio de coberturas y usos del suelo entre 1970 y 2000, se analizaron mediante la sobreposición de los dos mapas. El resultado de esta sobreposición es un mapa de cambios entre la cobertura anterior (1970) y la cobertura actual (2000). Este tipo de mapas muestran en forma concisa la magnitud y distribución espacial de la compleja dinámica del cambio de uso del suelo de una región determinada (Palacio-Prieto *et al.*, 2004). Además, se obtuvo una matriz con los cambios en las superficies de cada una de las coberturas y uso del suelo entre las dos fechas.

La tasa de cambio de las coberturas y usos del suelo entre 1970 y 2000, se analizó en una matriz de cambio, mediante los indicadores propuestos por Palacio-Prieto *et al.* (2004), los cuales miden el porcentaje de la superficie que ha sufrido algún cambio. Estos indicadores son: a) superficie conservada (sin cambios), b) superficie deforestada (cambio en el uso del suelo o el cambio de una forma de vida vegetal superior a una inferior), c) superficie degradada (cambio de uso del suelo o pérdida de cobertura vegetal no arbórea), d) cambio en la actividad productiva, e) sin cambio en el uso del suelo, y f) falso cambio (mide la tasa de cambio de uso con base en la tasa de cambio que presenta cada una de las formas vegetales presentes).

Para comprobar si el área de estudio se ha degradado, se mantiene sin cambio, o presenta algún grado de recuperación, se calculó la tasa de deforestación mediante la ecuación propuesta por la FAO en 1996 (Palacio-Prieto *et al.*, 2004):

$$dn = \left[\frac{S_2}{S_1} \right]^{\frac{1}{n}} - 1 \times 100$$

donde d_n es la tasa de cambio; S_1 , superficie en la fecha uno; S_2 , superficie en la fecha dos; y n , número de años entre las dos fechas.

Este modelo de estimación de la deforestación enfatiza la probabilidad de cambio de la vegetación leñosa (selvas, bosques y matorrales) hacia las cubiertas antropógenas (pastizal, agricultura y asentamientos humanos). En este caso, para calcular la tasa de deforestación se sumaron las áreas de las variantes de vegetación del bosque de encino más la del chaparral, el matorral crasicaule y las plantaciones de *Cupressus* y *Eucalyptus* correspondientes a cada una de las fechas analizadas.

RESULTADOS

Los resultados arrojaron una superficie total del área de estudio de 14,058 ha, localizada en parte de los municipios de Armadillo de los Infante, Villa de Zaragoza y San Nicolás Tolentino (Figura 2.2). En la clasificación de 1970 se lograron discriminar 11 clases de cobertura vegetal y usos del suelo (Figura 2.2). La exactitud de la clasificación fue del 79%; es decir, se encontró concordancia en 264 puntos de los 333 puntos muestreados en el mapa de Uso de Suelo y Vegetación de 1974 (Anónimo, 1974).

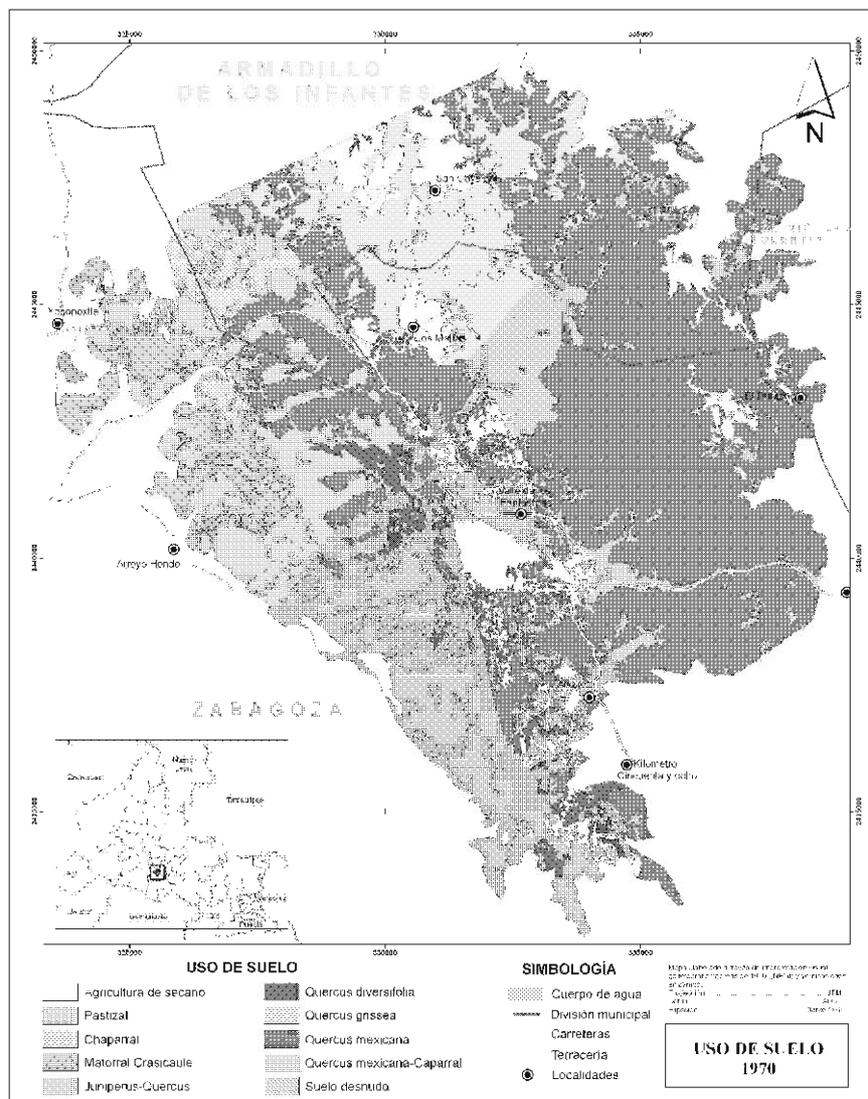


Figura 2.2. Mapa de la cobertura y usos del suelo de 1970.

Las coberturas y usos del suelo mejor clasificadas fueron el matorral crasicaule (100%) y agricultura de secano con el 96.3%% (Tabla 2.1), mientras que las que presentaron mayor confusión fueron las variantes del bosque de encino denominadas *Quercus mexicana*-Chaparral y *Quercus diversifolia*.

Tabla 2.1. Matriz de confusión de la clasificación de cobertura y uso del suelo en 1970.

	Agrs	Chap	Cuag	JuQu	MaCr	Past	Qudi	Qume	QmCh	Total	%
Agrs	52	0	0	1	0	0	0	1	0	54	96.3
Cap	0	8	0	0	0	1	0	2	0	11	72.7
Cuag	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
JuQu	3	0	0	34	0	2	0	0	0	39	87.2
MaCr	0	0	0	0	13	0	0	0	0	13	100.0
Past	4	0	0	7	4	92	0	4	2	113	81.4
Qudi	0	0	0	0	0	8	18	6	0	32	56.3
Qume	0	0	0	5	0	0	0	41	0	46	89.1
QmCh	1	0	0	5	0	4	0	9	6	25	24.0
Total	60	8	0	52	17	107	18	63	8	333	

Acrónimos: Agrs= Agricultura de secano; Chap= Chaparral; Cuag= Cuerpos de agua; JuQue= *Juniperus-Quercus*; MaCr= Matorral crasicaule; Past= Pastizal; Qudi= *Quercus diversifolia*; Qume= *Quercus mexicana*; QmCh= *Quercus mexicana*-Chaparral

En la clasificación de 2000, además de las coberturas y usos del suelo de 1970, se identificaron las plantaciones de *Cupressus* y *Eucalyptus* (Figura 2.3), las cuales se establecieron precisamente a principios de la década de los setenta del siglo pasado. La exactitud de la clasificación fue del 85% (Tabla 2.2). Las coberturas mejor clasificadas en este caso fueron agricultura de secano, suelo desnudo, matorral crasicaule, *Quercus diversifolia* y plantación de eucalipto con el 100% de exactitud, mientras que la peor clasificada fue plantación de *Cupressus* con el 33% de exactitud.

En la Figura 2.4 se muestra el mapa de cambios en la cobertura y usos del suelo entre 1970 y 2000. De acuerdo con el área de cada una de las coberturas y usos del suelo, la matriz de cambios correspondiente (Tabla 2.3) y los indicadores de deforestación, el suelo desnudo se incrementó de 7 a 34 ha.

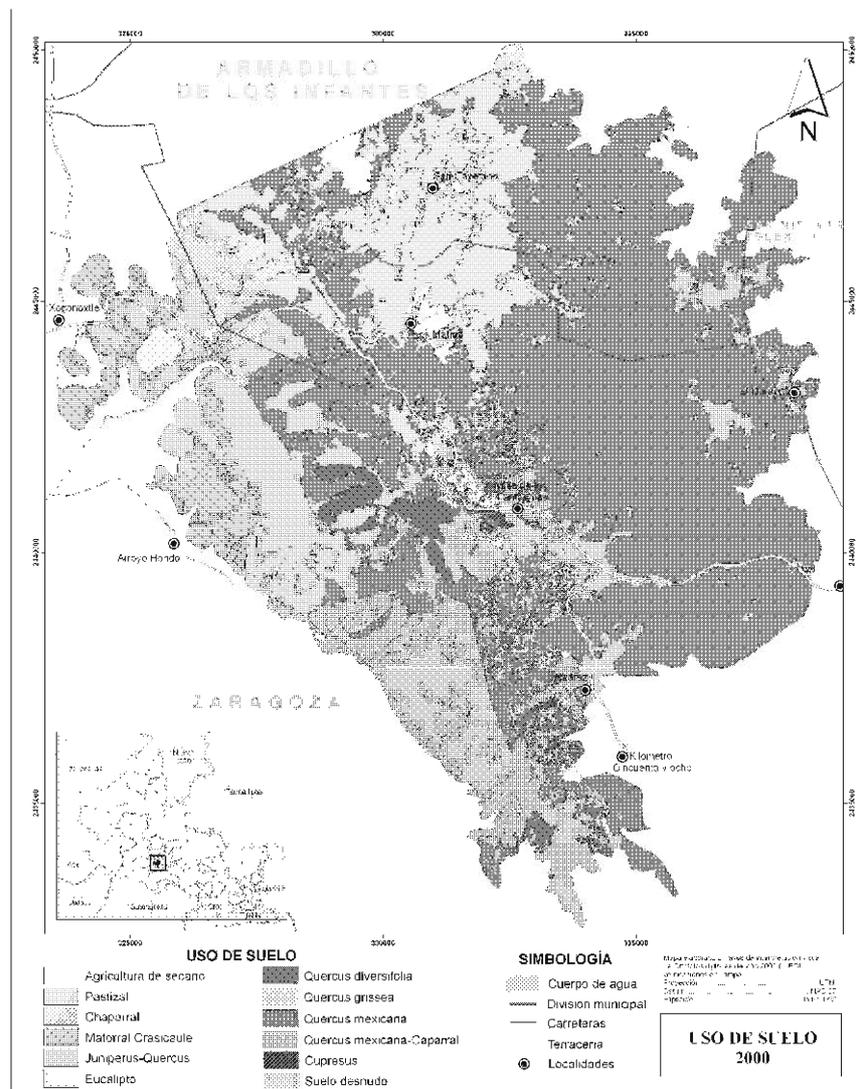


Figura 2.3. Mapa de las coberturas y usos del suelo de 2000.

Las coberturas del suelo que más se redujeron fueron *Juniperus-Quercus* con 534 ha y el área dedicada a la agricultura de secano que disminuyó de 1335 a 282 ha. La cobertura más beneficiada con la disminución de la agricultura fue el pastizal, con un incremento de 274 ha.

Tabla 2.2. Matriz de confusión de la cobertura y usos del suelo para la clasificación 2000.

	Agrs	Chap	Sude	JuQu	MaCr	Past	Qudi	Qume	QmCh	Qugr	Cupr	Euca	Total	%
Agrs	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	100
Chap	0	15	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	16	93
Sude	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	100
JuQu	0	0	0	7	0	2	0	1	0	0	0	0	10	70
MaCr	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	8	100
Past	0	1	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	15	93
Qudi	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	100
Qume	0	1	1	0	0	1	2	23	0	0	0	0	28	82
QmCh	0	0	0	0	0	1	0	1	2	0	0	0	4	50
Qugr	0	1	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	9	83
Cupr	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	3	33
Euca	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	100
Total	2	18	2	7	8	19	4	27	2	8	1	2	100	

Acronimos: Agrs= Agricultura de secano; Chap= Chaparral; Sude= Suelo desnudo; JuQue= *Juniperus-Quercus*; MaCr= Matorral crasicaule; Past= Pastizal; Qudi= *Quercus diversifolia*; Qume= *Quercus mexicana*; QmCh= *Quercus mexicana*-Chaparral; Qugr= *Quercus grisea*; Cupr= Plantación de *Cupressus*; Euca= Plantación de *Eucalyptus*;

El matorral crasicaule no sufrió cambios importantes, debido a que sólo disminuyó 9 ha, superficie que se agregó a la del bosque *Quercus grisea*. Ocho hectáreas de pastizal se convirtieron en chaparral, con lo cual se incrementó su superficie. El área de pastizal aumentó en 275 ha, al desarrollarse esta clase de cobertura en el área que ocupaba la agricultura.

También la variante *Quercus mexicana*-chaparral se incrementó en 36 ha a costa del área agrícola. En cambio, la variante de bosque *Juniperus-Quercus* disminuyó 534 ha al degradarse esta cobertura a suelo desnudo y pastizal. La cobertura de *Quercus mexicana* se incrementó en 1,066 ha derivadas de la variante *Juniperus-Quercus* y áreas agrícolas.

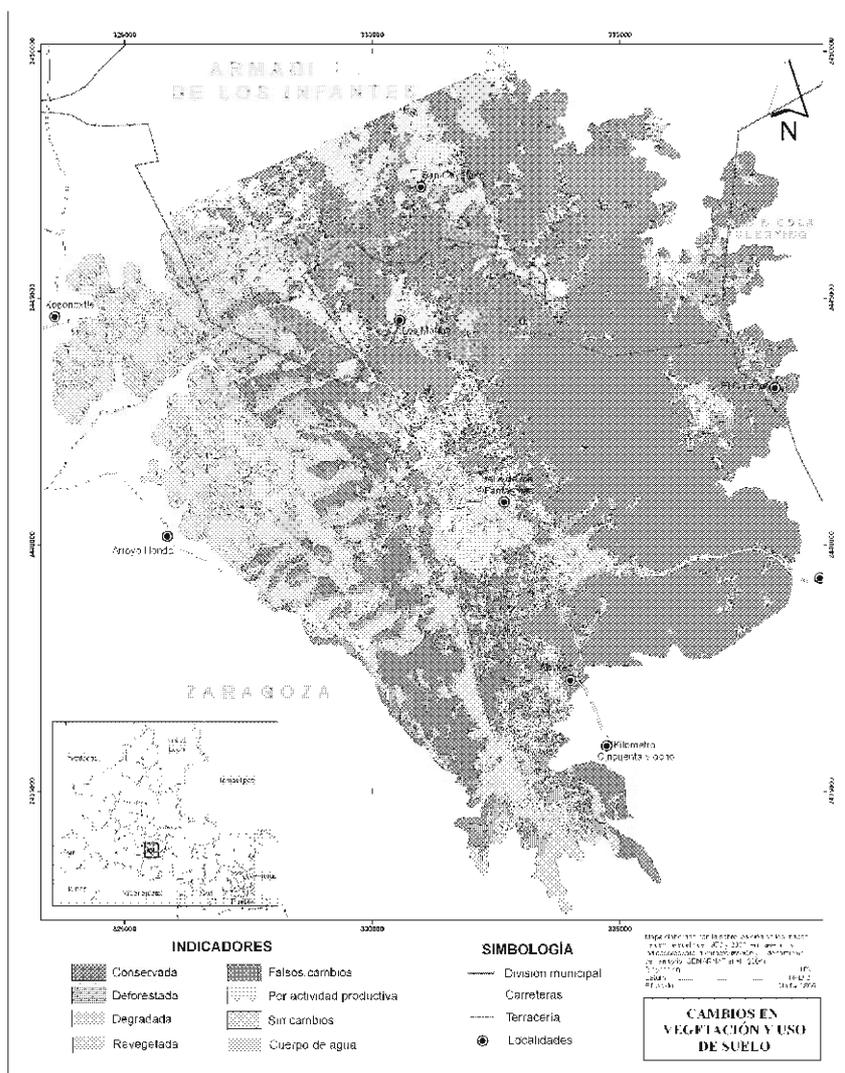


Fig. 2.4. Cambios en la cobertura y usos del suelo entre 1970 y 2000.

El bosque de *Quercus diversifolia* también se incrementó al repoblarse naturalmente 79 ha de pastizal con especies de esta variante de bosque. Las plantaciones de *Cupressus* y la plantación de *Eucalyptus* se establecieron a principios del periodo estudiado, en 22 y 35 ha, respectivamente.

Tabla 2.3. Cambios (ha) en las coberturas vegetales y usos del suelo del área natural protegida Sierra de Álvarez, S. L.P.

Cobertura	1970	2000	Diferencia
Agricultura de secano	1334.95	281.65	-1053.30
Chaparral	272.00	280.07	+8.07
Cuerpos de agua	0.90	0.64	-0.26
<i>Cupressus</i>	0.00	22.11	+22.11
<i>Eucalyptus</i>	0.00	35.26	+35.26
<i>Juniperus-Quercus</i>	2157.93	1623.28	-534.65
Matorral crasicaule	599.56	590.05	-9.51
Pastizal	3436.98	3711.58	+274.60
<i>Quercus diversifolia</i>	228.16	307.06	+78.9
<i>Quercus grisea</i>	4.42	53.80	+49.38
<i>Quercus mexicana</i>	5932.74	6998.72	+1065.98
<i>Quercus mexicana</i> -chaparral	83.77	119.96	+36.19
Suelo desnudo	7.03	34.78	+27.75

Finalmente, los resultados arrojaron una tasa de cambio anual de la cubierta vegetal del 0.25%. Esta tasa de cambio fue positiva al incrementarse la superficie cubierta por vegetación natural de 9,278 ha en 1970 a 10,031 ha en 2000 (752 ha).

DISCUSIÓN

La superficie del área natural Sierra de Álvarez señalada en el decreto de creación de la misma (Anónimo, 1981; Torres y Sierra, 2003), difiere en 2,842 ha con la obtenida en este trabajo. En el decreto se señala una superficie aproximada de 16,900 ha, mientras que la superficie total obtenida en este trabajo fue de 14,058 ha. Se ignoraba que parte del ANP perteneciera al municipio de San Nicolás Tolentino.

La clasificación de las coberturas y usos del suelo, en general, resultó aceptable. Chuvieco (1990) menciona al respecto que una exactitud superior al 80% se considera aceptable. La clasificación de 1970 resultó la menos fiable, debido a la baja calidad de las fotografías utilizadas, y a que se tuvieron que escanear, con lo cual se perdió ligeramente la resolución. La clasificación del año 2000 resultó mejor, debido a que con las ortofotografías digitales no se tuvieron los problemas antes señalados.

La vegetación se considera como uno de los indicadores de las condiciones ambientales de una región determinada, y no sólo de los factores físicos como el clima y el suelo, sino también de la influencia antrópica sobre ella. Así, el análisis de los cambios ocurridos en la cobertura vegetal, incluyendo la repoblación natural y artificial, es un elemento fundamental en la caracterización del paisaje (Palacio-Prieto *et al.*, 2004).

Los procesos de cambio de la cobertura y los usos del suelo, al contrario de lo que pudiera pensarse, tienden hacia la recuperación de la cubierta vegetal por la disminución de la actividad agrícola y reducción de los aprovechamientos vegetales. Esta tendencia parece presentarse en otras regiones templadas subhúmedas del país (Franco *et al.*, 2006; López *et al.*, 2006), a diferencia de la deforestación creciente en las regiones tropicales mexicanas (Durán, 1999; Reyes *et al.*, 2006) y de otras partes del mundo (Viña *et al.*, 2004).

En general, las coberturas de bosques y matorrales se incrementaron, excepto las del bosque de *Juniperus-Quercus* y del matorral crasicaule. En el caso de la variante del encinar *Juniperus-Quercus*, la disminución de su superficie se debe posiblemente a su cercanía a los asentamientos humanos, donde se concentran mayormente el pastoreo de ganado y la extracción de materiales minerales, dos de las actividades humanas que mayor impacto tienen sobre la vegetación. En el caso del matorral crasicaule, la pérdida de superficie se debe probablemente a un error en la clasificación de 1970, debido a las limitaciones de los materiales disponibles.

La agricultura de secano es la cobertura que más se está reduciendo, debido probablemente en mayor grado a la emigración de los pobladores de la región; esto ha propiciado su transformación en pastizales y en bosques de *Juniperus-Quercus* y de *Quercus mexicana*. Al respecto, López *et al.* (2006) encontraron el mismo patrón en la cuenca del Lago Cuitzeo, en Michoacán, y demostraron que la disminución en la superficie agrícola de secano se debe a su baja productividad en tierras marginales y a la emigración de los pobladores del

campo a las ciudades. Igualmente, Franco *et al.* (2006) encontraron que la superficie de la zona agrícola en el Parque Nacional Nevado de Toluca, disminuyó entre 1972 y 2000, lo cual corrobora que esta actividad está en recesión, al menos en áreas poco favorables para la producción de cosechas.

La cobertura vegetal con mayor recuperación es la del encinar dominado por *Quercus mexicana*, a pesar que muchas de las actividades que se realizaban en 1970 (elaboración de carbón de encino, extracción de materiales minerales y pastoreo de ganado), aún continúan, pero con menor intensidad. En el ANP general, la tasa anual de recuperación global indica una tendencia hacia su restauración natural. Uno de los factores que parece estar influyendo al respecto es la emigración de los pobladores de la región y la disminución de la presión de uso correspondiente, más ciertas restricciones legales para los aprovechamientos y la caída en la demanda de carbón rústico. Además, las plantaciones de *Eucalyptus* y *Cupressus*, las cuales se establecieron en áreas que fueron clasificadas como agricultura y pastizal en 1970, han incrementado la cubierta vegetal del área de estudio, aunque de una forma poco deseable, por ser elementos exóticos, y porque el desarrollo de las primeras ha sido muy pobre.

CONCLUSIONES

La superficie total del área natural protegida Sierra de Álvarez es de sólo 14, 058 ha, 16.82% menos que la declarada oficialmente. Se debe destacar que también comprende una porción del municipio de San Nicolás Tolentino.

En la clasificación de 1970 se discriminaron 11 tipos de cobertura y usos del suelo: agricultura de secano, chaparral, cuerpos de agua, matorral crasicaule, pastizal, suelo desnudo y las variantes del bosque de encino *Juniperus-Quercus*, *Quercus mexicana*, *Quercus diversifolia*, *Quercus grisea* y *Quercus mexicana*-chaparral.

En la clasificación del 2000, además de las anteriores se distinguieron plantación de *Cupressus* y plantación de *Eucalyptus*.

En general, las coberturas vegetales del área de estudio se están recuperando, mientras que la agricultura de secano disminuyó durante el período de estudio. La tendencia a la disminución del área agrícola y a la recuperación de las coberturas naturales, parece deberse a la emigración de los pobladores de la región y las menores presiones de uso consecuentes, y en menor proporción a las plantaciones cuestionables de *Cupressus* y *Eucalyptus*, establecidas precisamente a principios de la década de los setenta.

BIBLIOGRAFÍA

- Achard, F.; H. D. Eva; H. J. Stibig.; P. Mayaux; J. Gallego; T. Richards; J. P. Malingreau. 2002. Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests. *Science* 297: 999-1002.
- Aguirre R., J. R. 1979. Enfoque para el estudio de las actividades agrícolas en el altiplano Potosino-Zacatecano. En: Molina G., J. (Editor). Recursos agrícolas de zonas áridas y semiáridas de México. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Edo. de México. México. pp 105-115.
- Anónimo. 1973. Carta Edafológica F-14-A-84, 1:50,000. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). Secretaría de Programación y Presupuesto. Mexico, D. F.
- Anónimo. 1974. Carta de Uso del Suelo y Vegetación F-124-A-85, 1:50,000. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). Secretaría de Programación y Presupuesto. Mexico, D. F.
- Anónimo. 1981. Decreto por el que por causa de interés público se establece zona de protección forestal y refugio de la fauna silvestre la región conocida como Sierra de Álvarez, S.L.P. *Diario Oficial de la Federación*. México, D.F. 4 p.
- Anónimo. 2002. Síntesis Geográfica del Estado de San Luis Potosí. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Aguascalientes. México. 112 p.
- Arnberg, W. 2003. Remote sensing for the environment. *Ambio* 32(8): 494.
- Barbier, E. 2000. The economic linkages between rural poverty and land degradation: some evidence from Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 82 (1-3): 355-370.
- Bonilla B., R. 1999. Historia de la silvicultura mexicana y la destrucción de sus bosques. En: A. Sánchez V. (Coordinador). La destrucción de las Indias y sus recursos naturales renovables. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Estado de México. México. pp. 165-185.

- Carabias, J. 1999. La historia del deterioro de los recursos naturales en México. En: A. Sánchez V. (Coordinador). La destrucción de las Indias y sus recursos naturales renovables. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Estado de México. México. pp 43-54.
- Cserna, G. E.; A. Bello B. 1963. Geología de la parte central de la sierra de Álvarez, municipio de Zaragoza, estado de San Luis Potosí. Bol. Inst. de Geología (UNAM). 71(2): 23 – 63.
- Chuvieco, E. 1990. Fundamentos de teledetección espacial. RIALP. Madrid, España. 453 p.
- Dunjó, G.; G. Pardini; M. Gispert. 2003. Land use change effects on abandoned terraced soils in a Mediterranean catchment, NE Spain. CATENA. 52: 23-37.
- Durán F., A. 1999. Estructura y etnobotánica de la selva alta perennifolia de Naha, Chiapas. Tesis de Maestría en Ciencias. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 150 p.
- Franco M., S.; H. H. Regil G.; C. González E.; G. Nava B. (parte B). 2006. Cambio de uso del suelo y vegetación en el Parque Nacional Nevado de Toluca, México en el periodo 1972-2000. Investigaciones Geográficas. 61: 51-57.
- Foster, D. R.; M. Fluet; E. R. Bosse. 1999. Human or natural disturbance: landscape scale dynamics of the tropical forest of Puerto Rico. Ecological Applications. 9 (2): 555-572.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ta. ed. Editado por la autora. México, D. F. 256 p.
- García S., F.; J. R. Aguirre R.; J. Villanueva D.; J. García P. 1999. Contribución al conocimiento florístico de la sierra de Álvarez, San Luis Potosí, México. Polibotánica. 10: 73-103.
- Geist, H. J.; E. F. Lambin. 2002. Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. BioScience. 52: 143-150.

- Heistermann, M.; C. Müller; K. Ronneberger. 2006. Land in sight? Achievements, deficits, and potentials of continental to global scale land-use modeling. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 114: 141-158.
- Lillesand, T. M.; R. W. Kiefer; J. W. Chipman. 2004. Remote sensing and image interpretation. Wiley & Sons. New York, USA. 763 p.
- López G. E. M.; G. Bocco; M. Mendoza; A. Velásquez; J. R. Aguirre R. 2006. Peasant emigration and land-use change at the watershed level: A GIS-based approach in Central Mexico. *Agricultural Systems*. 90(1-3): 62-78.
- Martínez de la V., G. 2003. Utilización de la fauna silvestre en la sierra de Álvarez, San Luis Potosí. Tesis de Maestría. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Veracruz. México. 130p.
- Meyer, W. B., B. L. Turner II. 1994. Global land –use and land – cover change: report of working group A. In: B. W. Meyer; B. L. Turner II (eds.). *Changes in land use and land cover: a global perspective*. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 291 (1).
- Milesi, C., H. Hashimoto; S. W. Running; R. R. Nemani. 2005. Climate variability, vegetation productivity and people at risk. *Global and Planetary Change*. 47: 221-231.
- Nordberg, M. L.; J. Everston. 2003. Monitoring change in mountainous dry-heath vegetation at regional scale using multitemporal Landsat TM data. *Ambio*. 32 (8): 502-509.
- Palacio-Prieto, J. L.; M. T. Sánchez S.; J. M. Casado I.; E Propin F.; J. Delgado C.; A. Velásquez M.; L. Chías B.; M. I. Ortiz A.; J. González S.; G. Negrete F.; J. Gabriel M.; R. Márquez H. 2004. Indicadores para la caracterización y ordenamiento del territorio. Secretaría de Desarrollo Social, Secretaría de

- Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. México. 161 p.
- Rao, K.; R. Pant. 2001. Land-use dynamics and landscape change patterns in a typical watershed in the mid elevation zone of central Himalaya, India. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 86: 113-223.
- Reyes H., H.; M. Aguilar R.; J. R. Aguirre R.; I. Trejo V. 2006. Cambios en la cubierta vegetal y uso del suelo en el área del proyecto Pujal-Coy, San Luis Potosí, México. *Investigaciones Geográficas*. 59: 26-42.
- Torres J., J. G.; M. del S. Sierra R. 2003. Las áreas naturales protegidas del estado de San Luis Potosí. Secretaría de Ecología y Gestión Ambiental, Gobierno del Estado de San Luis Potosí. San Luis Potosí, S.L.P. México. 120 p.
- Viña, A.; R. Echevarría; D. C. Rundquist. 2004. Satellite change detection analysis of deforestation rates and patterns along the Colombia-Ecuador border. *Ambio*. 33 (3): 118-125.

3. Caracterización estructural del encinar y sus principales variantes en el área natural protegida “Sierra de Álvarez”, S.L.P.

Pedro Castillo Lara¹, Juan Ignacio Valdez Hernández²,

Juan Rogelio Aguirre Rivera³

¹ Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales (PMPCA), Área de Recursos Naturales. Altair No. 200. Fracc. Del Llano. C.P. 78377. San Luis Potosí, S.L.P. pcastillo157@yahoo.com.mx;

² Programa Forestal, Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo. Km. 36.5 Carr. México-Texcoco, Estado de México. C.P. 56230.

³ Instituto de Investigación de Zonas Desérticas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Altair no. 200. Fracc. Del Llano. C.P. 78377.

RESUMEN

Se describe la estructura arbórea y arbustiva de tres variantes fisonómicas (*Juniperus-Quercus*, *Quercus affinis* y *Quercus mexicana*) del bosque de encino del área natural protegida “Sierra de Álvarez”. Para ello calcularon los índices de valor de importancia, absoluto y relativo, de riqueza y diversidad de especies; y de similitud. En la variante *Juniperus-Quercus*, con 59 especies (ocho arbóreas y 51 arbustivas), *Juniperus flaccida* fue la especie más importante del estrato arbóreo, y *Rhus pachyrrachis* y *Eysenhardtia polystachya* las más destacadas del arbustivo. La variante *Quercus affinis* presentó 23 especies (11 arbóreas y 12 arbustivas), y *Quercus affinis* fue la más importante del estrato arbóreo, y *Verbesina tetraptera* y *Berberis gracilis* del arbustivo. En la variante *Quercus*

mexicana se registraron 41 especies (13 arbóreas y 28 arbustivas), de las cuales *Quercus mexicana* fue la más importante del estrato arbóreo, y *Verbesina tetraptera* y *Cestrum oblongifolia* las más destacadas del arbustivo. La mayor y menor riqueza de especies en el estrato arbóreo fue *Quercus mexicana* y *Juniperus-Quercus*, respectivamente. En el estrato arbustivo la mayor y menor riqueza se registró en las variantes *Juniperus-Quercus* y *Quercus affinis*, respectivamente. La variante *Juniperus-Quercus* presentó la mayor diversidad en ambos estratos, así como mayor diversidad total. Las variantes *Quercus affinis* y *Quercus mexicana* fueron semejantes, y la menor similitud se presentó entre las variantes *Juniperus-Quercus* y *Quercus affinis*. Los valores de importancia totales, así como los de diversidad y similitud, indican diferencias estructurales entre las tres variantes que pueden ser el resultado de una secuencia sucesional a partir de una perturbación mayor, donde cada una de las variantes representan estadios diferente del mismo tipo de vegetación, pero también, al menos en parte, pueden ser simplemente un indicador de diferencias en calidad de sitio, lo cual debe estudiarse en el futuro.

INTRODUCCIÓN

La unidad orográfica conocida como sierra de Álvarez es una cadena de montañas que se localiza al sudeste de la capital del estado de San Luis Potosí, la cual se extiende en dirección NO a SE desde la altiplanicie potosina hasta confundirse con la sierra Gorda, en los estados de Guanajuato y Querétaro.

Actualmente, la sierra de Álvarez cuenta con dos áreas naturales protegidas (ANP) de carácter federal: el Parque Nacional “El Potosí” y el Área de Protección de Flora y Fauna “Sierra de Álvarez”. El ANP, objeto de este trabajo, está ubicada en parte de los municipios de Armadillo de los Infante, Villa de Zaragoza y San Nicolás Tolentino. Inicialmente fue declarada como Zona de Protección Forestal y Refugio de la Fauna Silvestre, mediante decreto del 7 de abril de 1981 (Anónimo, 1981), pero fue reformada a Área de Protección de Flora y Fauna en el año 2000 (Torres y Sierra, 2003). Cuenta con una extensión aproximada de 16,900 hectáreas de bosque de encino (Anónimo, 1981). La propiedad de la tierra es privada en la porción que corresponde a Armadillo de los Infante y San Nicolás Tolentino y ejidal en la de Villa de Zaragoza.

De acuerdo con la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente (Ordóñez y Flores, 1995; Anónimo, 2000), los objetivos generales de las áreas de protección de flora y fauna son: a) conservar aquellas zonas destinadas a la preservación y restauración de zonas forestales y a la conservación del suelo y agua, y b) conservar los hábitats de cuyo equilibrio y preservación dependen la existencia, transformación y desarrollo de las especies de flora y fauna silvestres y acuáticas, permitiéndose el aprovechamiento de los recursos naturales de acuerdo con el programa de manejo específico para cada una de ellas.

Según el decreto mediante el cual fue creada (Anónimo, 1981), el objetivo general de la zona de protección de flora y fauna “Sierra de Álvarez” es: “Conservar, restaurar, proteger, incrementar y aprovechar los recursos naturales,

con objeto de evitar la erosión y degradación de los suelos, mantener y regular el régimen hidrológico, preservar la vegetación de cualquier daño o destrucción en perjuicio de la población, así como la de incrementar, proteger y vigilar la propagación de la fauna silvestre en el hábitat que le es propio y mejorar las condiciones ecológicas del medio ambiente rural y urbano”.

No obstante lo anterior, la mayoría de las ANPs del país, la “Sierra de Álvarez” ha permanecido sólo como una forma jurídica (Ordóñez y Flores, 1995, Challenger, 1998); es decir, sólo en el decreto, debido a que no se ha destinado presupuesto ni el personal necesarios para evaluarla y estudiarla adecuadamente, de tal forma que se puedan cumplir los objetivos para los cuales fue creada. Así, se presentan diversos problemas, originados por las presiones que ejercen los propietarios y usufructuarios sobre sus recursos, y por la falta de interés por parte de las autoridades encargadas de su cuidado y manejo. Dichos problemas se traducen en: a) falta del plan de manejo, inadecuada delimitación de su área y falta de señalización y vigilancia; b) aprovechamiento irregular de madera de encino para la elaboración de carbón y leña; y c) extracción de materiales minerales para construcción (Torres y Sierra, 2003). Además, el pastoreo de ganado y el cultivo de especies anuales en terrenos impropios para estas actividades son comunes en el área (Castillo, 2003). Finalmente, debido a la belleza de su paisaje y su cercanía a la ciudad de San Luis Potosí, esta parte de la sierra de Álvarez cada día cobra mayor importancia como área de recreación y ecoturismo, especialmente el paraje conocido como Valle de los Fantasmas, pero se carece de la infraestructura y servicios necesarios para realizar esta actividad adecuadamente (Torres y Sierra, 2003).

Lo anterior ha ocasionado un impacto negativo considerable sobre esta ANP, de tal forma que son comunes las áreas abiertas donde la vegetación predominante está compuesta por especies herbáceas, principalmente gramíneas, mantenida por las perturbaciones recurrentes ocasionadas por el pastoreo y las actividades recreativas. La mayoría de la vegetación arbórea que subsiste es vegetación secundaria, resultado del aprovechamiento en gran escala que se efectuó durante la primera mitad del siglo pasado; las poblaciones de fauna silvestre han disminuido y en algunos casos han desaparecido.

Al respecto, Axelrod (1986) menciona que las perturbaciones recurrentes modifican de manera importante la distribución, composición y estructura originales de las comunidades vegetales, así como la capacidad productiva del suelo, afectando la supervivencia y reproducción de las poblaciones vegetales, al grado de modificar sus relaciones ecológicas, posiblemente su composición genética natural y quizá su evolución. Por su parte, trabajos citados por Romero *et al.* (1999) mencionan que la intervención humana ha disminuido el área de la mayoría de los ecosistemas naturales por diversas presiones, tales como la recolección de alimentos, el aclareo de los bosques para la agricultura y la ganadería, la obtención de madera para construcción, leña y carbón, y la recolección de plantas medicinales.

Por otro lado, y a pesar de que la sierra de Álvarez en su totalidad ha sido considerada como un área importante para la conservación de la flora y la fauna silvestre (Arriaga *et al.*, 2000), hasta el momento se ha hecho muy poco para

detener de alguna manera el deterioro de sus recursos, o para conocer cuáles son esos recursos y su estado actual.

Una de las maneras de reconocer los recursos vegetales de una región, su estado de conservación y el impacto de las actividades humanas sobre los mismos, es a través de la caracterización de sus comunidades vegetales. Por ello, parte considerable del trabajo ecológico, tanto pasado como presente, ha sido dirigido hacia la caracterización de dichas comunidades, con el objetivo de generar una imagen mental del área de estudio y compararlas entre sí y crear esquemas para su clasificación (Franco *et al.*, 1996). De acuerdo con Odum (1972), dicha caracterización puede hacerse: a) desde un punto de vista descriptivo o estructural y b) desde el punto de vista funcional o del metabolismo de la comunidad (intercambio de materiales y corrientes de energía). Desde el punto de vista descriptivo, las características o atributos utilizados en una comunidad vegetal son la diversidad de especies; las formas vitales y el arreglo de las especies de acuerdo con su posición en los planos vertical y horizontal de la comunidad; la dominancia, la cual se refiere a aquellas especies que por su tamaño, número de individuos o actividad, controlan el funcionamiento de la comunidad; y finalmente, la estructura trófica que determina el flujo de energía y materiales en la comunidad (Krebs, 1972).

De acuerdo con Shimwell (1971), la estructura de la vegetación está definida por tres componentes: a) la estructura vertical (arreglo de las especies en estratos); b) la estructura horizontal (distribución superficial de los individuos de

las especies); y c) la abundancia de las especies derivada de los cálculos de densidad y algún estimador de la biomasa aérea de la vegetación.

Para caracterizar una comunidad vegetal se han propuesto diversos índices sintéticos, entre los cuales destacan el de valor de importancia (IVI) propuesto por Curtis y McIntoch (1951) y los de diversidad (Magurran, 1988); aunque discutibles por las medidas utilizadas, estos índices son útiles para caracterizar estructuralmente a las comunidades vegetales (Villavicencio y Valdez, 2003). El IVI en su formulación original combina en forma sencilla tres de los atributos estructurales que pueden determinar el control o dominio de las especies dentro de su comunidad, y resulta de la suma de los valores relativos de frecuencia, densidad y cobertura registrados para cada una de las especies de la comunidad estudiada.

En general, una comunidad vegetal está compuesta por un número reducido de especies con gran biomasa o con gran número de individuos (especies dominantes), las cuales determinan en gran parte las corrientes de energía; pero son las numerosas especies raras, con pocos individuos o escasa corpulencia, las que condicionan la diversidad de especies de las comunidades (Odum, 1972). En relación con la diversidad de especies, su esquema característico es una curva cóncava decreciente, con unas pocas especies dominantes (con valores altos de importancia) asociadas a muchas especies raras (con valores bajos de importancia) (Krebs, 1972; Odum, 1972). Desde luego que el valor de importancia (VI) de las especies varía grandemente en relación con las presiones naturales o antrópicas, pero en general con la tensión

ocurre un aumento en el VI de las especies dominantes (tolerantes o adaptadas a las presiones) y una reducción en el VI de las raras (Odum, 1972). Para analizar la diversidad de especies y su comparación se utilizan dos métodos generales, correspondientes a situaciones distintas: 1) enfoque basado en las formas, los tipos o las ecuaciones de las curvas de V.I. de especies/área, y 2) enfoque basado en el cálculo de valores para diferentes índices de diversidad (Odum, 1972; Magurran, 1988).

Además, la diversidad se integra de dos componentes que se relacionan de manera distinta con la situación geográfica, la sucesión o desarrollo y las condiciones físicas de la comunidad (Odum, 1972; Magurran, 1988). El primero de ellos, es la riqueza o variedad de especies, y se expresa a través de la razón del número total de especies, S , y los números totales de individuos N , o algún otro valor de importancia. El segundo componente es la uniformidad o equidad, e , que expresa la distribución o prorrato de los V.I. entre las especies. El índice de diversidad de Shannon (H') integra ambos componentes y es uno de los mejores para efectuar comparaciones cuando se está interesado en mantener dichos componentes juntos, debido a que es razonablemente independiente del tamaño de muestra; esto significa que con una muestra pequeña, se puede obtener un índice seguro con fines de comparación (Odum, 1972).

De este modo, el objetivo de este trabajo fue caracterizar estructuralmente las variantes fisonómicas del encinar del área natural protegida "Sierra de Álvarez", y conocer el estado que guardan, con el fin de sentar las bases para diseñar propuestas para su manejo como ANP.

ÁREA DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA

Área de estudio

El área de protección de flora y fauna “Sierra de Álvarez” se localiza en la porción norte de la sierra de Álvarez, entre las coordenadas 21°59.321’ y 22°08.904’ de latitud N y 100°42.614’ y 100°33.745’ de longitud O, dentro de los municipios de Armadillo de los Infante y de Villa de Zaragoza (Anónimo, 1981), más una pequeña porción en el municipio de San Nicolás Tolentino. La altitud sobre el nivel del mar de sus rasgos topográficos varía entre 2,000 m en el extremo norte del área de estudio, y 2,700 m en el cerro que se encuentra al sureste de la estación de microondas (Anónimo, 1974a; Anónimo, 1981). Los rasgos topográficos más altos conforman un parteaguas que divide el área de estudio en dos vertientes con diferencias climáticas marcadas. La parte oeste más seca pertenece a la cuenca hidrográfica del valle de San Luis Potosí, y la noreste a la del Río Verde (Cserna y Bello, 1963). El drenaje, por lo tanto, consiste en dos sistemas separados, los cuales fluyen en dirección oeste y noreste, respectivamente, y desembocan en las cuencas mencionadas. La escorrentía superficial ocasional que fluye hacia el valle de San Luis Potosí desaparece por evaporación e infiltración; mientras que la mayoría de la que se genera en la parte oriental se infiltra en los sistemas kársticos, los cuales ahí son abundantes (Cserna y Bello, 1963). Las rocas que afloran en el área de estudio son calizas y lutitas del cretácico, pertenecientes a las formaciones El Doctor, Soyatal y Cárdenas (Cserna y Bello, 1963). En la vertiente oeste afloran rocas riolíticas del terciario, las cuales yacen sobre la formación El Doctor.

Los suelos predominantes son litosoles someros y de textura media, los cuales sobreyacen directamente en la roca madre. En la vertiente oeste, a la altura del poblado El Xoconostle, existe una pequeña porción de xerosol háplico de origen residual y coluvial, de textura media y profundidad moderada (Anónimo, 1974b). Existen además dos franjas discontinuas de luvisoles órticos, derivados de rocas calizas y de textura fina; la mayor precipitación asociada a ellos ha ejercido una influencia en la disgregación de la roca y en la acumulación de materiales finos de arcilla y óxidos de hierro y manganeso (Anónimo, 2002). Una de estas franjas corre de noroeste a sureste, desde las inmediaciones del poblado La Cardona hasta Rancho Nuevo. La segunda se localiza en el noreste, a la altura de La Carbonera y El Durazno.

La temperatura, precipitación y otros elementos climáticos están íntimamente relacionados con la orientación general de la sierra de Álvarez y los diferentes rasgos topográficos del área de estudio. En la vertiente noreste, el clima que predomina es seco templado (García, 1988; Anónimo, 2002). La temperatura media anual varía entre 12° y 18°C, y la temperatura media del mes más frío entre -3° y 18°C. La precipitación total anual es de 571 mm, de la cual entre el 90 y 95 % ocurre de mayo a octubre, y el resto entre noviembre y abril. En la vertiente oeste los regímenes de temperatura son similares, pero debido al efecto de sombra orográfica, la precipitación es de sólo 371 mm. En ambos casos, la temporada de mayor precipitación está separada por un período relativamente más seco, el cual ocurre en julio y agosto.

Las características de la vegetación dependen de varios factores y sus interacciones, lo cual conforma el ambiente físico del área y da como resultado la conformación de comunidades, en donde las diferentes poblaciones comparten en mayor o menor grado su adaptación a dicho ambiente. En el área de estudio el substrato geológico, la temperatura, la precipitación y la humedad edáfica, así como las actividades humanas, son los principales factores que determinan las características de los diferentes tipos de vegetación (Cserna y Bello, 1962). De acuerdo con las Cartas de Uso del Suelo y Vegetación del área de estudio (Anónimo, 1973; Anónimo, 1975), en la zona de protección forestal existen tres tipos principales de vegetación: a) bosque de encino, b) pastizal y c) chaparral. Según dicha carta, cada tipo de vegetación a su vez presenta variantes de acuerdo con las especies que se encuentran asociadas; de este modo, el bosque de encino se reconoce asociado con especies del chaparral, matorral *crasirosulifolius* (sic), *Juniperus* y plantaciones de eucalipto cedro y pino, y el pastizal con especies del matorral *crasirosulifolius* (sic), chaparral y encinar.

En el área de estudio existen varios poblados, cuyos habitantes hacen uso de los recursos de diferente forma. Se aprovechan los valles intermontanos y laderas con poca inclinación para la producción de cosechas de secano de maíz, frijol y chícharo (García *et al.*, 1999). La actividad pecuaria se realiza en las áreas desmontadas y en el propio bosque, donde se sustenta ganado ovino, bovino y equino. Una actividad importante es la minería; existen varios bancos de donde se extrae roca caliza para la elaboración de cal y otros materiales para la construcción. Son comunes además, la elaboración clandestina de carbón de encino y la recolección de "tierra de monte", capa superior de los suelos con

bosques cerrados, lo cual se vende como sustrato para macetas. Debido a su cercanía con la capital del estado, la sierra de Álvarez en su conjunto, representa una importante área de recreo y posiblemente de recarga de los acuíferos profundos que abastecen a la ciudad de San Luis Potosí y a otras poblaciones importantes.

Métodos

El área de estudio se delimitó sobre las cartas topográficas 1:50,000 publicadas por la Comisión de Estudios del Territorio Nacional (Anónimo, 1974a), y de acuerdo con los datos contenidos en el decreto de creación de la Zona de Protección de Flora y Fauna "Sierra de Álvarez". Posteriormente se realizaron recorridos preliminares con el fin de reconocer el área, la vegetación y sus variantes, para lo cual se consideraron las características fisonómicas y las especies visualmente dominantes del componente arbóreo. Una vez reconocidas, las variantes fueron delimitadas sobre las cartas topográficas. De este modo se reconocieron, con propósitos operativos y de manera tentativa, cuatro variantes del bosque de encino, el único tipo de vegetación fisonómico encontrado: a) bosque de *Juniperus-Quercus*, b) bosque de *Quercus affinis*, c) bosque de *Q. mexicana* y d) bosque de *Q. diversifolia*. Para seleccionar los sitios de muestreo se utilizó un diseño de muestreo estratificado, proporcional y sistemático, en el cual los estratos correspondieron a las variantes fisonómicas reconocidas en el encinar. Sobre el área de cada variante en el mapa, se dibujó una retícula cuadrangular con lados equidistantes de 1 km por lado. Los sitios de muestreo se ubicaron sistemáticamente en cada uno de los puntos formados por la

intersección de las líneas de dicha retícula, de donde se derivaron las coordenadas UTM para localizar cada punto en el campo. Así, debido a sus diferencias en superficie dentro del área de estudio, el número proporcional de sitios de muestreo por variante fue: 10 para *Juniperus-Quercus*; tres para *Quercus affinis*; y 15 para *Quercus mexicana*. Los sitios de muestreo seleccionados se localizaron en el campo mediante un geolocalizador satelital Garmin Smap76. En cada uno de estos sitios se estableció una unidad de muestreo circular de 400 m², y dentro de cada una de ellas se delimitó otra unidad concéntrica de 100 m². La mayor de estas unidades se utilizó para el registro del estrato arbóreo, y la menor para el registro del componente arbustivo. Cada unidad se dividió en cuadrantes para facilitar y controlar la toma de datos. Para el estrato arbóreo sólo se consideraron aquellos individuos ≥ 2.5 cm de diámetro a una altura de 1.30 m a partir de la base del tronco (DAP), en los cuales se registró la especie correspondiente, la altura total y los ejes transversales de la copa (anchura y longitud). Para el estrato arbustivo, en cada individuo se registró la especie, la anchura y longitud de la copa y la altura total.

Con los datos obtenidos, tanto para las especies arbóreas como para las arbustivas, se calculó su densidad, cobertura y frecuencia, absolutas y relativas. Los valores absolutos de densidad, cobertura y frecuencia se calcularon como promedios por hectárea para cada especie. Con los valores absolutos de densidad, cobertura y frecuencia, se calculó el índice de valor de importancia absoluto (IVIA). Con los valores relativos de densidad, cobertura y frecuencia, se calculó el índice de valor de importancia relativo (IVIR). El IVIA permite la comparación estructural entre comunidades, mientras que el IVIR sólo refleja la

jerarquización específica de cada comunidad. Además se calcularon los índices de riqueza específica de Margalef (D_{Mg}), de diversidad de Shannon (H'), y de similitud de Jaccard (I_J). Para el cálculo del índice de Margalef se utilizó el número de especies presentes en cada una de las variantes analizadas. Para el cálculo del índice de Shannon se utilizaron los valores del IVIA. Los índices de Margalef y Shannon se refieren a la diversidad de especies dentro de las comunidades (Moreno, 2001), sólo que el de Margalef está basado únicamente en el número de especies presentes (riqueza específica) y el de Shannon se basa en dicha riqueza más los valores estructurales asociados a ella, es decir, en la distribución proporcional del valor de importancia de cada especie (dominancia de sus individuos) (Moreno, 2001). El índice de similitud de Jaccard, por su parte, mide el grado de reemplazamiento de especies o cambio biótico a través de gradientes ambientales (Whittaker, 1972; Moreno, 2001), y está basado en las proporciones o diferencias entre las especies presentes en dos comunidades diferentes, y expresa el grado en que dichas comunidades son semejantes o diferentes entre sí (Moreno, 2001).

RESULTADOS

Los valores de importancia absolutos (IVIA) y relativos (IVI) para la variante *Juniperus-Quercus* se presentan en la Tabla 3.1. En total se registraron ocho especies en el estrato arbóreo y 51 especies en el arbustivo.

Tabla 3.1. Índices de valor de importancia absoluto (IVIA) y relativo (IVIR) de la variante de *Juniperus-Quercus* del encinar del ANP "Sierra de Álvarez".

Especie	Den./ha	Cob./ha	Frec.	IVIA	IVIR
Estrato arbóreo					
<i>Juniperus flaccida</i>	58.00	478.83	1.0	537.83	61.72
<i>Quercus mexicana</i>	23.00	212.63	0.5	236.69	27.20
<i>Quercus laeta</i>	10.00	104.77	0.5	115.27	14.61
<i>Quercus obtusata</i>	2.75	57.74	0.2	63.69	7.66
<i>Quercus eduardii</i>	0.75	13.14	0.2	14.09	2.52
<i>Prosopis laevigata</i>	1.75	7.11	0.1	8.96	1.57
<i>Persea liebmanii</i>	0.50	1.01	0.1	1.61	0.77
<i>Prunus serotina</i>	0.75	0.02	0.1	0.87	0.72
Subtotal (arbóreo)	97.50	875.25	2.7	979.01	116.77
Estrato arbustivo					
<i>Rhus pachyrrachis</i>	55.00	56.17	1.0	112.17	21.51
<i>Eysenhardtia polystachya</i>	43.75	12.92	0.5	57.17	12.43
<i>Rhus trilobata</i>	27.75	26.09	0.9	54.74	12.92
<i>Quercus sebifera</i>	50.00	0.98	0.2	51.18	10.78
<i>Calliandra eriophylla</i>	38.5	4.73	0.2	43.43	8.94
<i>Eupatorium pazcuarensis</i>	14.00	16.64	1.0	31.64	9.98
<i>Eupatorium petiolare</i>	25.50	2.30	0.1	27.90	5.66
<i>Dodonea viscosa</i>	16.75	9.82	0.3	26.87	5.84
<i>Mimosa aculiticarpa</i>	9.00	14.91	0.7	24.61	7.14
<i>Calliandra grandiflora</i>	19.75	2.66	0.3	22.71	5.74
<i>Dalea bicolor</i>	14.75	5.45	0.1	20.30	3.90
<i>Forestiera phillyroides</i>	8.25	8.08	0.3	16.63	4.06
<i>Dalea lutea</i>	13.50	1.85	0.8	16.15	7.35
<i>Litsea glaucescens</i>	11.00	0.43	0.3	11.73	3.86
<i>Amelachier denticulata</i>	6.25	3.95	0.7	10.90	5.59
<i>Bauhinia culterii</i>	5.00	5.70	0.1	10.80	2.06
<i>Forestiera reticulata</i>	6.50	0.92	0.5	7.92	4.20
<i>Brickellia veronicifolia</i>	6.25	1.14	0.2	7.59	2.45
<i>Tecoma stans</i>	5.25	0.90	0.2	6.35	2.24
<i>Acacia farnesiana</i>	2.25	2.91	0.2	5.36	1.85

Tabla 3.1. Continuación

Especie	Den./ha	Cob./ha	Frec.	IVIA	IVIR
<i>Bouvardia ternifolia</i>	3.75	0.25	0.5	4.50	3.61
<i>Baccharis heterophylla</i>	4.00	0.13	0.3	4.43	2.50
<i>Euphorbia antisiphylitica</i>	2.50	1.58	0.2	4.28	1.78
<i>Lantana involucrata</i>	1.75	2.37	0.1	4.22	1.13
<i>Desmodium orbiculare</i>	1.25	2.40	0.1	3.75	1.04
<i>Agave salmiana</i>	3.00	0.39	0.3	3.69	2.33
<i>Ptelea trifoliata</i>	2.75	0.49	0.4	3.64	2.87
<i>Eupatorium scorodonooides</i>	2.00	0.55	0.3	2.85	2.16
<i>Salvia kerlii</i>	2.00	0.65	0.2	2.85	1.59
<i>Acacia pennatula</i>	2.00	0.26	0.2	2.46	1.56
<i>Mammillaria chyncephala</i>	1.75	0.00	0.4	2.15	2.63
<i>Opuntia laciacantha</i>	1.75	0.01	0.3	2.06	2.06
<i>Brickellia</i> sp.	1.50	0.07	0.2	1.77	1.44
<i>Eupatorium lucidum</i>	1.50	0.00	0.1	1.60	0.86
<i>Quercus tinkhami</i>	1.00	0.41	0.1	1.51	0.80
<i>Senecio aschenbornianus</i>	1.00	0.29	0.2	1.49	1.37
<i>Cestrum oblongifolium</i>	1.25	0.09	0.1	1.44	0.82
<i>Loeselia mexicana</i>	1.00	0.30	0.1	1.40	0.79
<i>Agave</i> sp.	0.75	0.54	0.1	1.39	0.77
<i>Arbutus xalapensis</i>	0.25	0.85	0.1	1.20	0.70
<i>Berberis gracilis</i>	0.75	0.03	0.3	1.08	1.87
<i>Verbesina discoidea</i>	0.25	0.58	0.1	0.93	0.68
<i>Diospyrus palmeri</i>	0.75	0.03	0.1	0.88	0.72
<i>Echinocereus conglomeratus</i>	0.50	0.01	0.2	0.71	1.25
<i>Coryphantha clavata</i>	0.50	0.00	0.2	0.70	1.25
<i>Bursera fagaroides</i>	0.50	0.09	0.1	0.69	0.68
<i>Celtis palida</i>	0.50	0.01	0.1	0.61	0.67
<i>Opuntia stenopetala</i>	0.25	0.05	0.1	0.40	0.63
<i>Opuntia</i> sp.	3.25	0.14	0.4	0.39	2.93
<i>Senna septentrionalis</i>	0.25	0.04	0.1	0.39	0.63
<i>Chrysactinia mexicana</i>	0.25	0.02	0.1	0.37	0.62
Subtotal (arbustivo)	426.50	191.19	14.7	628.83	183.23
Total	524.00	1066.44	17.4	1607.84	300.00

Las especies que presentaron los mayores valores de importancia fueron *Juniperus flaccida*, seguida por *Quercus mexicana*, *Q. laeta*, *Rhus pachyrrachis*, *Eysenhardtia polystachia* y *Q. obtusata*. *J. flaccida*, *Q. mexicana* y *Q. obtusata*. De ellas, *J. flaccida* y las especies del género *Quercus* son propias del estrato arbóreo, mientras que *R. pachyrrachis* y *E. polystachia* son propias del estrato arbustivo.

En la variante fisonómica de *Quercus affinis* se registró un total de 23 especies (Tabla 3.2). *Quercus affinis* fue la especie que presentó los mayores valores de importancia absolutos, seguida de *Prunus rhamnoides*, *Verbesina tretapectera*, *Berberis gracilis* y *Crataegus* sp. De estas especies, sólo *Q. affinis* es propia del estrato arbóreo superior; *P. rhamnoides* y *Crataegus* sp. son arbóreas, pero conforman un estrato inferior al de *Q. affinis*; y *V. tretapectera* y *B. gracilis* son especies arbustivas. *P. rhamnoides* presentó un IVIR más alto que *Q. affinis*, debido a su alta densidad (2,642 individuos por ha).

En la variante fisonómica *Quercus mexicana* se registraron 41 especies (Tabla 3.3). En esta variante, *Quercus mexicana* presentó los mayores valores de importancia absolutos y relativos, seguida de *Crataegus* sp., *Verbesina tretapectera*, *Cestrum oblongifolia* y *Senecio aschenbornianus*. De éstas, sólo *Q. mexicana* es propia del estrato arbóreo superior; *Crataegus* sp. es arbórea, pero generalmente también aquí crece bajo el dosel de *Q. mexicana*, y *V. tretapectera*, *C. obongifolia* y *S. aschenbornianus* son arbustivas

Tabla 3.2. Índices de valor de importancia absoluto (IVIA) y relativo (IVIR) de la variante *Quercus affinis* del encinar del ANP "Sierra de Álvarez".

Especie	Den./ha	Cob./ha	Frec.	IVIA	IVIR
Estrato arbóreo					
<i>Quercus affinis</i>	242	4188.58	1.00	4431.00	55.23
<i>Prunus rhamnoides</i>	2642	1527.50	1.00	4170.17	62.68
<i>Crataegus</i> sp.	208	638.17	1.00	847.50	16.03
<i>Cornus disciflora</i>	83	573.83	0.66	657.83	11.42
<i>Quercus mexicana</i>	50	607.42	0.33	657.75	9.33
<i>Tilia mexicana.</i>	50	539.42	0.66	590.08	10.54
<i>Prunus serotina</i>	67	134.33	0.66	201.66	6.38
<i>Quercus diversifolia</i>	25	139.83	0.33	165.16	3.85
<i>Quercus obtusata</i>	17	89.33	0.33	106.33	3.18
<i>Viburnum elatum</i>	33	71.58	0.66	105.58	5.19
<i>Garrya laurifolia</i>	17	2.33	0.66	19.66	4.18
Subtotal (Arbóreo)	3434	8512.32	7.29	11952.72	188.01
Estrato arbustivo					
<i>Verbesina tetraptera</i>	925	165.67	1.00	1091.67	21.77
<i>Berberis gracilis</i>	800	131.17	1.00	932.17	19.49
<i>Rhus trilobata</i>	492	164.33	1.00	657.00	15.17
<i>Senecio aschenbornianus</i>	258	22.08	1.00	281.42	10.07
<i>Solanum</i> sp.	233	2.92	1.00	237.25	9.49
<i>Forestiera reticulata</i>	192	43.50	1.00	236.17	9.30
<i>Cinnamomum salicifolium</i>	83	75.42	0.66	159.41	5.99
<i>Eupatorium lucidum</i>	58	10.08	0.66	69.08	4.90
<i>Eupatorium ligustrinum</i>	25	24.00	0.66	49.66	4.54
<i>Litsea glaucescens</i>	42	6.17	0.66	48.49	4.60
<i>Amelanchier denticulata</i>	17	18.50	0.66	35.83	4.36
<i>Rhamnus serrata</i>	25	664.26	0.33	25.75	2.33
Subtotal (arbustivo)	3149	664.26	9.63	3824.12	111.99
Total	6583	9176.58	16.92	15776.84	300.00

La densidad total varió de 524 a 6583 individuos por ha (Tablas 3.1, 3.2 y 3.3). La densidad más alta se registró en la variante de *Quercus affinis*, mientras que la más baja se registró en la variante de *Juniperus-Quercus*. Sin embargo, mientras que en la variante *Q. affinis*, la especie con mayor densidad fue *Prunus rhamnoides* (especie propia del estrato subdominante), en la variante *Juniperus-Quercus* fue precisamente *Juniperus flaccida* (especie del estrato superior y dominante fisonómica) la que presentó la mayor densidad, con 58 individuos por hectárea.

Con respecto a la cobertura total, la variante *Quercus affinis* acumuló el mayor valor (9,176.58 m²/ha), seguida de la variante *Quercus mexicana* (1,447.49 m²/ha). La variante *Juniperus-Quercus* presentó la menor cobertura con sólo 1,066.58 m²/ha (Tablas 3.1, 3.2 y 33.).

Con respecto a la frecuencia, en la variante *Juniperus-Quercus*, sólo *Juniperus flaccida*, *Rhus pachyrrachis* y *Eupatoriun pazcuarensis* se registraron en todas las unidades de muestreo. En la variante *Quercus affinis*, esta especie más *Prunus rhamnoides*, *Crataegus* sp., *Verbesina tetraptera*, *Berberis gracilis*, *Rhus trilobata*, *Senecio aschenbornianus*, *Solanum* sp. y *Forestiera reticulata* se registraron en todas las unidades de muestreo. En la variante *Quercus mexicana*, además de esta especie, *Crataegus* sp. *S. aschenbornianus*, *R. pachyrrachis* y *B. gracilis* se registraron en todas las unidades de muestreo.

Tabla 3.3. Índices de valor de importancia absoluto (IVIA) y relativo (IVIR) de la variante de *Quercus mexicana* del encinar del ANP “Sierra de Álvarez”.

Especie	Den./ha	Cob./ha	Frec.	IVIA	IVIR
Estrato arbóreo					
<i>Quercus mexicana</i>	88.9	2719.50	1.00	2809.39	81.00
<i>Crataegus</i> sp.	117.4	482.90	1.00	601.26	28.77
<i>Quercus obtusata</i>	13.2	168.08	0.66	181.93	9.16
<i>Juglans mollis</i>	6.9	107.67	0.66	115.28	7.08
<i>Cornus disciflora</i>	9.7	67.99	0.33	78.04	4.49
<i>Vauquelinia karwinskyi</i>	1.4	30.62	0.16	32.17	1.80
<i>Arbutus xalapensis</i>	2.8	26.14	0.16	29.08	1.82
<i>Prunus rhamnoides</i>	14.6	9.26	0.16	24.00	2.53
<i>Garrya laurifolia</i>	0.7	19.64	0.16	20.49	1.46
<i>Quercus castanea</i>	1.4	18.59	0.16	20.14	1.50
<i>Quercus diversifolia</i>	0.7	18.64	0.16	19.50	1.44
<i>Juniperus flaccida</i>	2.1	13.15	0.16	15.40	1.44
<i>Prunus serotina</i>	9.7	0.14	0.5	10.36	3.79
Subtotal (arbóreo)	269.5	3682.32	5.27	3957.04	144.48
Estrato arbustivo					
<i>Verbesina tetraptera</i>	241.7	60.14	0.83	302.63	29.24
<i>Cestrum oblongifolia</i>	105.6	37.69	0.66	143.90	14.76
<i>Senecio aschenbornianus</i>	87.5	54.19	1.00	142.69	15.39
<i>Eupatorium petiolare</i>	72.2	23.95	0.83	97.00	12.22
<i>Rhus trilobata</i>	38.9	50.41	0.83	90.13	9.69
<i>Rhamnus serrata</i>	18.1	52.80	0.83	71.69	7.77
<i>Rhus pachyrrachis</i>	36.8	27.04	1.00	64.84	9.89
<i>Solanum</i> sp.	48.6	0.85	0.16	49.62	5.57
<i>Mimosa aculiaticarpa</i>	6.3	38.56	0.66	45.47	5.32
<i>Berberis gracilis</i>	25.0	5.63	1.00	31.63	8.24
<i>Litsea glaucescens</i>	20.1	8.05	0.66	28.85	5.89
<i>Eupatorium pazcuareense</i>	10.4	3.40	0.16	13.98	1.99
<i>Forestiera reticulata</i>	12.5	0.63	0.5	13.63	4.07
<i>Cinammomum salicifolium</i>	8.3	3.71	0.16	12.20	1.80
<i>Eupatorium scorodonoides</i>	9.7	1.97	0.16	11.85	1.89

Tabla 3.3. Continuación

Especie	Den./ha	Cob./ha	Frec.	IVIA	IVIR
<i>Agave mendozina</i>	7.6	3.02	0.16	10.81	1.72
<i>Salvia kerlii</i>	6.9	2.64	0.16	9.74	1.64
<i>Selenicereus spinulosus</i>	2.8	4.28	0.16	7.21	1.29
<i>Tagetes lunulata</i>	4.2	2.55	0.16	6.87	1.38
<i>Senecio praecox</i>	0.7	5.48	0.16	6.33	1.12
<i>Bouvardia ternifolia</i>	3.5	0.05	0.33	3.85	2.22
<i>Eupatorium ligustrinum</i>	2.8	0.64	0.16	3.58	1.20
<i>Opuntia joconostle</i>	2.8	0.16	0.16	3.10	1.18
<i>Mammillaria erytrosperma</i>	2.1	0.06	0.5	2.65	3.06
<i>Amelanchier denticulada</i>	2.1	0.09	0.16	2.33	1.12
<i>Mammillaria magnimamma</i>	1.4	0.01	0.33	1.72	2.02
<i>Buddleia sessilifolia</i>	1.4	0.02	0.16	1.57	1.05
<i>Dalea lutea</i>	0.7	0.01	0.16	0.87	0.98
Subtotal (arbustivo)	780.5	388.01	12.20	1180.76	155.52
Total	1050.0	4070.33	17.47	5137.80	300.00

La diversidad de especies de las variantes de vegetación del bosque de encino del ANP “Sierra de Álvarez”, se presenta en la Tabla 3.4. En el estrato arbóreo, la variante con mayor riqueza específica (índice de Margalef) fue *Quercus mexicana* (13 especies), mientras que la variante con menor riqueza fue *Juniperus-Quercus* (ocho especies). En cambio, la variante *Juniperus-Quercus* la de mayor diversidad estructural (índice de Shannon), mientras que la menos diversa fue la variante *Quercus mexicana*.

En el estrato arbustivo, la variante *Juniperus-Quercus* presentó la mayor riqueza específica (51 especies), mientras que la menos rica en especies fue *Quercus affinis* (12 especies). Con respecto a la diversidad estructural (índice de

Shannon), la variante con la mayor diversidad fue la de *Juniperus-Quercus*, mientras que la menos diversa fue la de *Quercus affinis* (Tabla 3.4). En las tres variantes estudiadas, el estrato arbustivo aportó más al total de la riqueza y diversidad de especies, aunque en diferente proporción (Tabla 3.4).

Tabla 3.4. Índices de riqueza y diversidad de especies de las variantes de vegetación del bosque de encino del ANP "Sierra de Álvarez".

Variante	Margalef (D_{Mg})			Shannon (H')		
	ES	EI	Total	ES	EI	Total
<i>Juniperus-Quercus</i>	1.16	7.48	14.22	1.14	2.48	2.61
<i>Quercus affinis</i>	2.02	2.39	7.02	1.11	2.11	2.24
<i>Quercus mexicana</i>	2.16	4.37	11.55	0.81	2.27	2.52

ES: estrato arbóreo; EI: estrato arbustivo. Para el cálculo de H' se utilizó el IVIA asociado a cada especie.

Con respecto a la similitud entre variantes del bosque de encino (índice de Jaccard), las variantes más similares en su composición específica fueron *Quercus affinis* y *Q. mexicana* con 19 especies en común ($C_J= 0.42$); es decir, existe un 42% de similitud florística entre estas dos variantes. A su vez, la mayor diferencia se dio entre la variante *Juniperus-Quercus* y *Quercus affinis*, con sólo ocho especies en común ($C_J= 0.11$); es decir, sólo el 11% de similitud florística (Tabla 3.5).

Tabla 3.5. Índice de similitud (I_J) de los componentes arbóreo y arbustivo de las variantes del bosque de encino del ANP “Sierra de Álvarez”.

Variantes	Especies comunes	I_J
<i>Juniperus-Quercus/Quercus affinis</i>	8	0.11
<i>Juniperus Quercus/Quercus mexicana</i>	20	0.25
<i>Quercus affinis/Quercus mexicana</i>	19	0.42

DISCUSIÓN

El reconocimiento visual inicial (fisonómico) de las variantes de vegetación fue correcto, en cuanto a que estas comunidades vegetales se pudieron diferenciar de acuerdo con sus especies dominantes y codominantes respectivas como lo mencionan Márquez *et al.* (1999). Además, las especies que se consideraron desde los recorridos preliminares como las fisonómicamente dominantes y que sirvieron para definir las variantes del bosque de encino, fueron las que presentaron los mayores valores de importancia. Así, de acuerdo con su valor de importancia (relativo y absoluto) *Juniperus flaccida* fue la especie más importante en la variante *Juniperus-Quercus*, con 58 individuos por ha en promedio. Al respecto Ayerde-Lozada y López-Mata (2006) encontraron 483 y 806 individuos de *J. flaccida* mayores de 1.1 cm de DAP por hectárea en dos poblaciones, la primera de ellas con algún grado de perturbación antrópica, y natural y la segunda sólo con perturbación natural. La densidad promedio de *J. flaccida* encontrada en este trabajo es muy inferior a la encontrada por Ayerde-Lozada y López-Mata (2006), lo cual se debe a que los bosques que estudiaron

estos autores son prácticamente monoespecíficos, mientras que los estudiados en este trabajo están formados por una mezcla de especies con *J. flaccida* como dominante.

A la vez, en la variante de *Quercus affinis* esta especie precisamente presentó los mayores valores de importancia, con 242 individuos por ha. Ramírez (2000) estudió esta misma comunidad y encontró 12 especies arbóreas, de las cuales *Q. affinis* fue la más importante con 86.6 % del valor de importancia total. En este caso *Prunus rhamnoides* presentó el valor de importancia relativo más alto, lo cual se debe a su mayor densidad, con 2642 individuos por ha (77%); sin embargo, en cobertura es muy inferior a *Q. affinis* y, en general, subyace al dosel dominante de esta especie.

Finalmente, en la variante *Quercus mexicana*, la especie que presentó los mayores valores de importancia fue *Q. mexicana* con 89 individuos por ha en promedio, y una cobertura de 2719 m² por ha. Las demás especies que alcanzan la altura de esta especie (*Q. obtusata*, *Q. castanea*, *Q. diversifolia* y *Juglans mollis*) presentaron valores de importancia muy inferiores. *Crataegus* sp., la segunda especie en importancia, es igualmente una especie del sotobosque, y subyace al dosel de *Q. mexicana*. Ramírez (2000) analizó cuatro localidades dentro del área de esta variante y, en general, sus resultados concuerdan con los de este trabajo, en el sentido de que *Q. mexicana* es la especie arbórea cuantitativamente dominante de esta variante del encinar.

En relación con el número de especies arbóreas presentes en cada una de las variantes estudiadas (ocho, 11 y 13), los resultados concuerdan con Quintana-Ascencio y González-Espinosa (1993), quienes mencionan que en los bosques templados, en dependencia del grado de perturbación, el estrato arbóreo puede estar compuesto hasta por nueve especies. González-Espinoza *et al.* (1991) evaluaron comunidades de pino-encino con cierto grado de perturbación en los Altos de Chiapas y encontraron siete especies en el estrato arbóreo. Por otro lado, en un bosque maduro, sin disturbio aparente, la composición arbórea del estrato dominante es mínima, llegando a ser incluso monoespecífica (García-Arévalo *et al.*, 2004).

En relación con el estrato arbustivo, en la variante *Juniperus-Quercus*, a pesar de su elevado número de especies (51), 3 de ellas presentaron valores de importancia relativos menores que 1.0, debido a su baja densidad; sólo *Eysenhardtia polystachya*, *Rhus pachyrrachis* y *Rhus trilobata* presentaron altos valores de importancia en este estrato.

En la variante *Quercus affinis* la importancia de las especies arbustivas estuvo más concentrada. Sin embargo, esta variante presentó el estrato arbustivo más pobre con sólo 12 especies. De estas, *Verbesina tetraptera*, *Rhus trilobata* y *Berberis gracilis* fueron las que presentaron los mayores valores de importancia. Ramírez (2000) encontró en esta comunidad que *R. trilobata*, *B. gracilis* y *Senecio aschenbornianus* presentaron los valores de importancia relativos más altos. La densidad por ha de estas especies fue muy superior a la presentada por las especies dominantes del estrato arbóreo, pero debido a su poca cobertura, sus

valores de importancia absolutos y relativos fueron muy inferiores. La poca presencia de especies arbustivas en esta variante del encinar, puede ser un indicador de bajo grado de perturbación, lo cual se explica en parte por su relativa lejanía de los asentamientos humanos. En efecto, Puig *et al.* (1987) mencionan al respecto que en bosques con poca perturbación, el sotobosque es más pobre en especies. Pero también esto puede ser un indicador de mayor madurez, con una dominancia más concentrada (Odum, 1972)

En la variante de *Quercus mexicana*, el número de especies (28) fue intermedio entre las variantes *Juniperus-Quercus* y *Quercus affinis*. Aquí destacaron *Verbesina tetraptera*, *Senecio aschenbornianus* y *Cestrum oblongifolia* destacan con los mayores valores de importancia. Lo anterior concuerda con Ramírez (2000), quien encontró que estas especies son las más importantes del estrato arbustivo de esta comunidad.

De acuerdo con la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección del Medio Ambiente (Anónimo, 1999), la conservación de la diversidad y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales son dos de los objetivos principales de las áreas naturales protegidas. El uso de medidas de diversidad para evaluar la riqueza y abundancia de especies, proporcionan validez científica a los criterios de conservación, por lo cual son frecuentemente utilizadas como indicadores ambientales y de la salud del ecosistema (Magurran, 1988; Moreno, 2001). Para medir y monitorizar los efectos de las actividades humanas sobre las comunidades vegetales, es necesario contar con información de la diversidad biológica en comunidades naturales y modificadas (diversidad alfa), y también de

la tasa de cambio en la biodiversidad entre distintas comunidades (diversidad beta) (Moreno, 2001).

De acuerdo con la diversidad propia de las comunidades (diversidad alfa), la variante *Juniperus-Quercus* presentó la menor riqueza de especies en el estrato arbóreo, pero en diversidad estructural fue superior a las otras dos variantes. Esto se debe a que la diferencia entre el valor máximo y mínimo de valor de importancia es menor en esta variante; es decir, existe mayor equidad en la distribución estructural entre las especies. En el estrato arbustivo, la variante *Juniperus-Quercus* fue la más diversa, tanto en riqueza de especies como en diversidad estructural. Igualmente, si se considera la riqueza y diversidad totales, la variante *Juniperus-Quercus* fue la más destacada, mientras que la menos diversa fue la variante *Quercus affinis*. Según el grado de recambio de especies (diversidad beta), la mayor similitud se dio entre las variantes de *Quercus affinis* y la de *Quercus mexicana*, mientras que la menor similitud se presentó entre las variantes de *Juniperus-Quercus* y la de *Quercus affinis*. Esto indica que la variante más diferente es *Juniperus-Quercus*, debido a que de las 59 especies arbustivas que se registraron en esta variante, sólo comparte ocho especies con la variante *Quercus affinis*, y 20 con la de *Quercus mexicana*.

Los valores totales de importancia, la riqueza de especies y su grado de recambio entre las comunidades estudiadas, sugiere que las tres variantes forman una secuencia que puede ser el resultado de un proceso de sucesión secundaria a partir de una perturbación mayor; esto es, que las tres variantes constituyen estadios del mismo encinar; pero también puede ser el resultado, al menos en

parte, de las diferencias en calidad de sitio determinada por los factores ambientales. Al respecto, los ecólogos suponen que las especies de plantas de una comunidad ejercen cierta influencia una sobre otra, lo cual se manifiesta en cambios en la composición específica y estructura de las comunidades a través del tiempo; pero estos cambios pueden estar además relacionados con los cambios en el ambiente y la reacción de las especies a los mismos (Mueller-Dombois y Ellenberg, 1974). En el área de estudio existen diferencias en el sustrato geológico, tipo de suelo y condiciones de humedad que pueden ser los factores que estén determinando la variación en el número, tamaño y composición de especies de las tres variantes estudiadas. Por otro lado, las perturbaciones naturales y antrópicas, y los factores físicos del medio en conjunto, producen mecanismos de control complejos en la composición de especies de las comunidades vegetales (Pickett y Bazzaz, 1978).

De acuerdo con las tendencias generales sobre la diversidad de especies, las comunidades con cierto grado de perturbación tienden a ser más diversas, y que sucede lo contrario en las comunidades fuertemente dominadas (Margalef, 1969; Odum, 1972) y los propios de la sucesión vegetal, la variante *Juniperus-Quercus* representaría la etapa más temprana, la de *Quercus mexicana* la etapa intermedia y la de *Quercus affinis* la etapa tardía. Al respecto, se ha observado que los bosques de *Juniperus* representan bosques secundarios resultantes del aprovechamiento de los encinares (Rzedowski, 1978), y se han considerado como una transición hacia los propios encinares (Pippen, 1992). Por su parte, los bosques dominados por *Quercus affinis* en esta región han sido catalogados como las comunidades más avanzadas en el proceso sucesional (Castillo *et al.*,

en preparación). Como menciona Rzedowski (1978), la riqueza de especies arbustivas en las comunidades de *Juniperus* puede deberse además a que con la perturbación se incorporan ampliamente especies propias de matorrales y pastizales colindantes de esta variante de vegetación. Sin embargo, si los factores físicos están determinando la estructura de las tres comunidades estudiadas, entonces se trataría de comunidades diferentes, con rutas sucesionales también diferentes.

CONCLUSIONES

Las variantes fisonómicas del encinar estudiadas son comunidades claramente diferenciables por su estructura y composición específica. El componente arbóreo es el que determina la fisonomía y la estructura total de cada una de las tres variantes con especies arbóreas dominantes, especialmente por su mayor tamaño.

La composición y número de especies del estrato arbustivo de las tres variantes son diferentes; sin embargo, en general, sólo tres especies acumulan los mayores valores de importancia.

La diversidad de especies del estrato arbóreo de las tres variantes fue muy similar; en cambio, la diversidad del estrato arbustivo es diferente, con la variante de *Juniperus-Quercus* como la más diversa y la de *Quercus affinis* como la menos diversa, lo cual respalda que la variante *Juniperus-Quercus* pueda considerarse

como un estadio temprano hacia un bosque maduro dominado por *Quercus affinis*.

Sin embargo, las diferencias en los valores de importancia absolutos y la diversidad de especies entre las tres variantes, también puede ser un indicador de diferencias en la calidad de sitio.

Ambos aspectos deben estudiarse en el futuro para poder definir cuáles diferencias encontradas resultan de un proceso sucesional, o de diferencias en los factores del medio físico.

BIBLIOGRAFÍA

- Anónimo. 1973. Carta de Uso del Suelo y Vegetación F-14-A-84. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). Secretaría de Programación y Presupuesto. México, D. F.
- Anónimo. 1974a. Carta Topográfica F-14-A-85 1:50,000. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). Secretaría de Programación y Presupuesto. México, D. F.
- Anónimo. 1974b. Carta Edafológica F-14-A-85. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). Secretaría de Programación y Presupuesto. México, D. F.
- Anónimo. 1975. Carta de Uso del Suelo y Vegetación F-14-A-85. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). Secretaría de Programación y Presupuesto. México, D. F.
- Anónimo. 1981. Decreto por el que por causa de interés público se establece zona de protección forestal y refugio de la fauna silvestre la región conocida como Sierra de Álvarez, S.L.P. Diario Oficial de la Federación. México, D.F. 4 p.
- Anónimo. 1999. Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección del Medio Ambiente. Delma. México, D.F.
- Anónimo. 2000. Programa de las áreas naturales protegidas de México 1995-2000. SEMARNAP. México, D. F. 137 p.
- Anónimo. 2002. Síntesis Geográfica del Estado de San Luis Potosí. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, Aguascalientes. México. 112 p.

- Arriaga, L.; J. M. Espinosa; C. Aguilar; E. Martínez; L. Gómez; E. Loa (Cords.). 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F. 365p.
- Axelrod, D. I. 1986. Cenozoic history of some Western American pines. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 73: 565-641.
- Ayerde-Lozada, D.; L. López-Mata. 2006. Estructura poblacional y parámetros demográficos de *Juniperus flaccida* Schlttdl. *Madera y Bosques.* 12(2): 65-76.
- Castillo L., P. 2003. Encinares de la sierra de Álvarez: caracterización y dinámica. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. México. 121 p.
- Castillo I., P., J. A. Flores C., J. R. Aguirre R., R. I. Yeaton H. En preparación. Dinámica del encinar de la sierra de Álvarez, San Luis Potosí, México.
- Challenger, A. 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F. 847 p.
- Cserna, G. E.; A. Bello B. 1963. Geología de la parte central de la sierra de Álvarez, municipio de Zaragoza, estado de San Luis Potosí. *Bol. Inst. de Geología (UNAM).* 71(2): 23 – 63.
- Curtis, J. T.; R. P. McIntosh. 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology.* 32: 476-496.
- Franco L., J.; G. de la Cruz A.; A. Cruz G.; A. Rocha R.; N. Navarrete S.; G. Flores M.; E. Kato M.; S. Sánchez C.; L. G. Abarca A.; C. M Bedia S. 1996. Manual de ecología Trillas. México D. F. 266 p.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Editado por la autora. México, D. F. 217 p.

- García S., F.; J. R. Aguirre R.; J. Villanueva D.; J. García P. 1999. Contribución al conocimiento florístico de la sierra de Álvarez, San Luis Potosí, México. *Polibotánica*. 10: 73-103.
- García-Arévalo, A.; J. J. Mendoza; J. Necedal. 2004. Asociaciones vegetales de los bosques del municipio de Guanaceví, Durango. *Madera y Bosques*. 10(1):21-34.
- González E., M.; P. F. Quintana A.; N. Ramírez M.; P. Gaytán G. 1991. Secondary succession in disturbed *Pinus-Quercus* forests in the highlands of Chiapas, México. *J. of Vegetation Science*. 2: 351-360.
- Krebs, Ch. J. 1972. *Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance*. Harper & Row. New York, N. Y. USA. 694 p.
- Magurran, A. E. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press. Princeton, N. J. USA. 179 p.
- Margalef, R. 1969. Diversity and stability: a practical proposal and a model of interdependence. *Brookhaven Symp. Biol.* 22: 25-37.
- Márquez L., M. A.; S. González E.; R. Álvarez Z. 1999. Componentes de la diversidad arbórea en bosques de pino encino de Durango, Méx. *Madera y Bosques*. 5(2): 67-78.
- Moreno, C. E. 2001. *Métodos para medir la biodiversidad*. M&T-Manuales y Tesis SEA. Zaragoza, España. 84 p.
- Mueller-Dombois, D.; H. Ellenberg. 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. Wiley. New York. USA. 547 p.
- Odum, E. P. 1972. *Ecología*. Interamericana. México, D. F. México. 639 p.
- Ordóñez D., M. de J., O. Flores Villela. 1995. *Áreas naturales protegidas*. Cuadernos de Conservación Serie No. 4. Pronatura, A. C. México, D. F. 43 p.

- Pickett, S. T. A.; A. Bazzaz. 1978. Organization of an assemblage of early successional species on a soil moisture gradient. *Ecology*. 56(6): 1248-1255.
- Pipper, R. D. 1992. Species composition of woodland communities in the southwest. In: P. F. Ffolliott, G. J. Gottfried, D. A. Bennett, V. M. Hernández C.; A. Ortega R.; R. H. Hamre (Ed.). 1992. Ecology and management of oak and associated woodlands: perspectives in the southwestern United States and northern Mexico Sierra Vista, AZ. Gen. Tech. U. S. Department Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. Pp. 119-124.
- Puig, H.; R. Bracho; V. J. Sosa. 1987. El bosque mesófilo de montaña: composición florística y estructura. En: H. Puig; R. Bracho (Ed). 1987. El bosque mesófilo de montaña de Tamaulipas. Instituto de Ecología, A. C. Mexico, D. F. pp. 55-79.
- Quintana-Ascencio, P. F.; M. González-Espinosa. 1993. Afinidad fitogeográfica y papel sucesional de la flora leñosa de los bosques de pino-encino de Los Altos de Chiapas, México. *Acta Botánica Mexicana*. 21:43-57.
- Ramírez T., H. M. 2000. Análisis estructural del bosque de encino en la sierra de Álvarez, S.L.P. Tesis profesional. Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P. México. 46 p.
- Romero M., A.; J. R. Aguirre R.; E. García M. 1999. El papel del hombre en la evolución de los piñoneros americanos. *Agrociencia*. 33 (4): 473-481.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Limusa. México, D.F. 432 p.
- Shimwell, D. W. 1971. *The description and classification of vegetation*. University of Washington Press. Seattle, Washington. USA. 322 p.

Torres J., J. G.; Ma. del S. Sierra R. 2003. Las áreas naturales protegidas del Estado de San Luis Potosí. Secretaría de Ecología y Gestión Ambiental. Gobierno del Estado de San Luis Potosí. San Luis Potosí, SLP, México. 120 p.

Villavicencio E., L.; J. I. Valdez H. 2003. Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal rusticano de café en San Miguel, Veracruz, México. *Agrociencia*. 37(4): 413-423.

4. Dinámica del encinar de la sierra de Álvarez, San Luis Potosí, México.

Pedro Castillo Lara¹, Jorge Alberto Flores Cano¹,
Juan Rogelio Aguirre Rivera² y Richard I. Yeaton H.²

¹ Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales (PMPCA), Área de Recursos Naturales. Altair no. 200. Fracc. Del Llano. C.P. 78377. San Luis Potosí, S.L.P. pcastillo157@yahoo.com.mx; florescano.bq@gmail.com.

² Instituto de Investigación de Zonas Desérticas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Altair no. 200. Fracc. Del Llano. C.P. 78377.

RESUMEN

El efecto de la competencia interespecífica sobre la dinámica de los bosques templados en México ha sido poco estudiado. En este trabajo, por medio de técnicas de inferencia fuerte, se documenta la dinámica de un bosque de encino de la Sierra Madre Oriental. En particular, se proponen métodos para determinar cuáles especies son importantes en la dinámica de una comunidad arbórea, la secuencia de establecimiento de esas especies, el reemplazamiento competitivo de una especie por otra y, finalmente, cómo la biología de las especies afecta su estado sucesional. Los resultados presentan una secuencia de especies de encinos rojos (*Quercus coccolobifolia*, *Q. crassifolia* y *Q. affinis*) reemplazándose sucesionalmente, y un encino blanco (*Q. obtusata*) que se presenta como subdominante en la etapa sucesional tardía dominada por *Q. affinis*.

PALABRAS CLAVE:

Asimetría de doseles, bosques de encino, inferencia fuerte, reemplazamiento competitivo, sucesión.

ABSTRACT

The effect of interspecific competition on the dynamics of temperate forests in Mexico has rarely been investigated. In this study, the dynamics of an oak forest in the Sierra Madre Oriental are described using techniques involving strong inference. In particular, methods are presented to determine which species are important in the tree community, the sequence of establishment of these species, the competitive replacement of one species by another and, finally, how each species' biology affects their successional status. The results show a sequence of three species of red oaks (*Quercus coccolobifolia*, *Q. crassifolia* and *Q. affinis*) replacing one another over time with a fourth species, a white oak *Q. obtusata*, functioning as a subdominant to *Q. affinis* in the late successional stage of the forest.

KEY WORDS:

Canopy asymetry, Oak forests, strong inference, competitive replacement, succession.

INTRODUCCIÓN

Los tipos de vegetación en México han sido descritos en detalle (Flores *et al.*, 1971; Rzedowski, 1978). Rzedowski (1978) compendió lo conocido sobre la ecología general de dichos tipos de vegetación y sugiere que el siguiente paso en el estudio de las comunidades vegetales sería lograr entender su dinámica, con énfasis en aquellas especies más importantes involucradas en dichos procesos. Una forma de abordar esta dinámica es a través del concepto de reemplazamiento espacial sobre el tiempo (Watt, 1947). Al respecto, uno de los primeros estudios en México, en el matorral xerófilo del sur del Desierto Chihuahuense, fue realizado por Yeaton y Romero-Manzanares (1986), quienes estudiaron el reemplazamiento a través del tiempo de *Acacia shaffneri* por *Opuntia streptacantha*, con técnicas de inferencia fuerte (Platt, 1964).

La dinámica de los bosques de dosel cerrado es más difícil de apreciar, pues a simple vista dan la apariencia de ser estáticos (Shugart, 1984); sin embargo, en su interior ocurren cambios continuos debidos a las variaciones en el ambiente físico y biológico. Estos cambios modifican su estructura y composición específica a través del tiempo. Whitmore (1978) señala que en la dinámica de los bosques templados pueden identificarse tres fases: a) la perturbación, b) la invasión secuenciada de varias especies, y c) la madurez, última etapa en la sucesión. En cada fase pueden identificarse especies características, cuyos atributos distintivos se refieren a sus formas de dispersión, colonización y crecimiento en condiciones de competencia por la luz y otros recursos (Whitmore, 1978; Martínez, 1985).

La fase de perturbación se manifiesta con la apertura de claros de diferente tamaño y forma, en dependencia del tipo, amplitud e intensidad del disturbio. Estos claros son colonizados primeramente por especies intolerantes a la sombra, tasas fotosintéticas y puntos de saturación elevados en presencia de luz y, como consecuencia, una superficie fotosintética mayor (Horn, 1974; Bidwell, 1974; Bazzaz, 1998). En la fase de invasión, las condiciones del sotobosque cambian de tal forma que resulta inadecuado para las colonizadoras, pero favorable para el arribo de otras especies mejor adaptadas a las nuevas condiciones (Connell y Slatyer, 1977). Las especies dominantes en esta etapa presentan como características principales mayor tolerancia a la sombra, alta capacidad para crecer y competir bajo condiciones de poca luz, mayor eficiencia fotosintética bajo la sombra, puntos de compensación bajos, menor gasto energético para la respiración y, como consecuencia, menor superficie foliar (Horn, 1974; Bidwell, 1974; Bazzaz, 1998).

Finalmente, durante la fase de madurez, las comunidades vegetales adquieren una estructura y composición complejas y relativamente estables (Perry, 1994). Sin embargo, aun en esta fase los cambios continúan, al modificarse la abundancia relativa de las especies (Forcier, 1975). Es en esta etapa cuando la competencia entre individuos promueve el proceso de remplazamiento. Aunque entre los ecólogos aún hay desacuerdo sobre la importancia de la competencia en la organización de las comunidades vegetales, existen evidencias sólidas sobre su relevancia al respecto (Callaway y Walter, 1997; Flores y Yeaton, 2000).

El papel de la competencia en la dinámica de los bosques de México es muy poco conocido. Los únicos estudios de sucesión se han realizado en bosques dominados por coníferas (Yeaton *et al.*, 1987; González-Espinosa *et al.*, 1991; Sánchez-Velásquez y García-Moya, 1993). Se carece de estudios de sucesión en bosques dominados por encinos en México, y estudios del reemplazamiento espacial a través del tiempo entre especies de encino se desconocen en la literatura científica en nivel mundial.

OBJETIVOS

El objetivo de este estudio es documentar la dinámica de la sucesión tardía en bosques densos de encino, por medio de técnicas de inferencia fuerte, para responder a las siguientes preguntas:

¿Cómo reconocer cuáles especies son más importantes en la dinámica de una asociación arbórea?

¿Cuáles especies colonizan primero las áreas abiertas?

¿Existe algún patrón de remplazamiento entre las especies que componen los bosques de encino?

¿Cómo una especie desplaza a otra especie de la etapa previa?

¿Hay una especie que controla la fase final de la sucesión en los bosques de encino?

ÁREA DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA

Área de estudio

Este estudio se realizó en la vecindad del paraje conocido como El Carrizal (21° 58' N, 100° 34' O) en la sierra de Álvarez, San Luis Potosí. Esta sierra forma parte de la Sierra Madre Oriental y, en su sección sur, está formada por montañas altas con laderas abruptas y convexas de origen volcánico (INEGI, 2002). Los suelos predominantes en la región son litosoles de textura media (Arriaga *et al.*, 2000). El clima de la región está clasificado como seco templado, con una temperatura promedio anual de 16° C (García, 1988). La amplitud diaria de temperatura del mes más frío (enero) oscila entre -3 y 18° C y la media del mes más caliente (mayo) es superior a 18° C. La precipitación promedio anual es de 566 mm, de la cual el 92% ocurre en los meses de mayo a octubre y el resto en los meses de noviembre a abril (García, 1988). Los promedios de temperatura y precipitación fueron calculados para un periodo de 18 años, no especificado por la autora y corresponden a la estación más cercana al área de estudio (La Salitrera, S.L.P.).

En la sierra de Álvarez existen cinco comunidades vegetales mayores, de las cuales el bosque de encino es la más abundante (Rzedowski, 1961; Arriaga *et al.*, 2000). El sitio del presente estudio es una ladera con exposición norte, donde las condiciones de humedad y temperatura han mantenido una comunidad de árboles con dosel cerrado, dominado por varias especies de *Quercus*. Este sitio se encuentra a una altitud sobre el nivel medio del mar de 2166 m y presenta pendientes varían de 20 hasta 35°. La ubicación y topografía del sitio han dificultado el aprovechamiento del arbolado, por lo cual la comunidad de encinos

se mantiene prácticamente sin disturbio. Las áreas relativamente más planas, localizadas en la parte baja de la ladera de estudio, fueron desmontadas y utilizadas previamente en la producción de maíz, frijol y chícharo, y luego abandonadas hace alrededor de cincuenta años. Actualmente, estas áreas son mantenidas abiertas debido al pastoreo ligero de bovinos y équidos, pero están en el proceso de repoblación de especies leñosas, particularmente de especies de encinos, existentes en el bosque inmediato.

Métodos

La composición de especies y la abundancia relativa del componente arbóreo en la ladera, fueron estimadas en cinco parcelas circulares de 20 metros de diámetro (314 m²). Estas parcelas fueron espaciadas en los aproximadamente 400 metros de la ladera en el área de estudio a intervalos de 20 m, a partir de aproximadamente 100 m del campo abierto en la base de la ladera, para terminar aproximadamente a 100 m de la cúspide. Se registró el número de individuos de cada especie arbórea, con diámetro en la base del tronco mayor que 2.5 cm. Las especies con menos que el 5% de densidad en el total de las muestras, se consideraron poco importantes en la dinámica de la comunidad y fueron excluidas del estudio. Las medias y errores estándar fueron calculados para las densidades y diámetros de los troncos, medidos en cada uno de los individuos de las especies encontradas. Aunado a ello, las densidades relativas fueron calculadas, al dividir el promedio de la densidad media de cada especie entre la densidad media total. Estos datos fueron usados para determinar las especies dominantes en el sitio de estudio.

La invasión relativa de las especies de encino fue estudiada en cinco parcelas alargadas (bandas) de 30 x 5 metros, dispuestas longitudinalmente en secuencia continua y paralela al borde del bosque; la primera de ellas quedó bajo el dosel y las otras cuatro en el campo abierto adyacente. El número de individuos menores que un metro de altura, para cada especie de encino, fue registrado en cada banda. Este proceso fue repetido en cinco sitios diferentes, adyacentes al sitio de estudio. Estos datos proporcionaron información tanto de la repoblación natural en las áreas abiertas, como del patrón de reemplazamiento a través de una secuencia sucesional. El número de individuos de cada especie de encino registrado en estas bandas, fue sumado y analizado estadísticamente con la prueba de χ^2 para κ muestras independientes, donde los encabezados de las filas fueron las especies de encino y los encabezados de las columnas fueron las franjas de 30 x 5 m (Siegel y Castellan, 1988).

La técnica de simetría de doseles (Flores y Yeaton, 2000) se usó para comprobar la existencia de patrones de reemplazamiento entre las especies de encino que componen el bosque. Esta técnica, hasta ahora utilizada para inferir el patrón de sucesión entre arbustos y árboles en los matorrales xerófilos del Altiplano Mexicano, mide la capacidad de una especie para invadir el espacio de otra especie. El efecto de la invasión del área del dosel causa un crecimiento asimétrico en la segunda especie y, eventualmente, su reemplazamiento. Se buscaron al azar alrededor de 25 pares de árboles de las cuatro especies de *Quercus*, cuyos doseles estuvieran solapados. Algunas combinaciones de pares no ocurrieron; sólo 19 pares de *Q. obtusata* con *Q. affinis* y 17 pares de *Quercus coccolobifolia* con *Q. crassifolia* fueron localizados en el sitio de estudio. Los

datos adicionales para complementar suficientes pares de las dos últimas especies, fueron tomados en un sitio relativamente similar, localizado a la misma elevación, a 1.5 km al este del sitio de estudio. Esta área se encuentra en una etapa sucesional temprana debido a la extracción selectiva de individuos adultos de encino. En el plano formado por los troncos del par de encinos, se midió la distancia entre ambos individuos, el diámetro máximo del dosel de cada individuo, y el radio máximo de sus doseles sin solape. Para cada individuo, el diámetro máximo del dosel se dividió entre el radio del dosel sin solape con la otra especie. De acuerdo con Flores y Yeaton (2000), los valores medios de esta razón estadísticamente menores que 2.0 para una especie indican su asimetría por inhibición y el eventual remplazo por su competidora, la cual será simétrica (2.0) o asimétrica inhibidora (>2.0). Los valores de simetría para los pares de especies fueron contrastados estadísticamente a través de la prueba de U de Wilcoxon-Mann-Whitney (Siegel y Castellan, 1988).

Durante el registro de datos para el estudio de la simetría de doseles, se observó que en dos de las combinaciones de pares estudiados, *Quercus crassifolia*-*Q. coccolobifolia* y *Q. affinis*-*Q. crassifolia*, muchos de los individuos con crecimiento asimétrico presentaban su meristemo apical roto. Para evaluar la importancia de esta observación, se cuantificó la condición del tallo principal de individuos de *Q. coccolobifolia* y *Q. crassifolia*, creciendo bajo el dosel de *Q. affinis*, la especie de encino aparentemente dominante. Así, se registró si sus troncos principales estaban rotos o intactos. Estos datos fueron contrastados estadísticamente con una prueba de bondad de ajuste de χ^2 para cada especie (Siegel y Castellan, 1988).

Con un taladro de Pressler se tomaron muestras del crecimiento radial del tronco de diez individuos de *Quercus crassifolia* apareados con individuos de *Q. affinis* y con doseles asimétricos. Esto fue realizado con el fin de explorar si el remplazamiento se asocia con alteraciones en el tronco de la especie suprimida. Antes de su muestreo, se registró el diámetro de cada individuo de *Q. crassifolia*. Posteriormente, con el taladro se tomó una muestra de su madera, atravesando completamente el tronco del árbol, a una altura del suelo aproximada de 1 m y en el plano definido por los troncos de la pareja. A continuación, las longitudes de las dos secciones radiales de estas muestras fueron medidas a partir del punto de crecimiento inicial del árbol, tanto en la dirección del solape de doseles como hacia el extremo opuesto. Las diferencias entre las dos secciones radiales, fueron calculadas para cada individuo mediante sustracción del radio dirigido hacia el individuo apareado de *Q. affinis*, al radio en la dirección opuesta. Estas diferencias en el crecimiento radial fueron calculadas como porcentaje del diámetro medio del tronco. Los valores de las diferencias (positivos o negativos) fueron contrastados estadísticamente a través de una prueba binomial para una muestra (Siegel y Castellan, 1988).

RESULTADOS

El componente arbóreo de la comunidad vegetal de El Carrizal está compuesto por nueve especies arbóreas, de las cuales *Quercus crassifolia*, *Q.*

coccolobifolia, *Q. obtusata* y *Q. affinis* presentaron el mayor porcentaje de ocurrencia (Tabla 4.1). De los 177 individuos registrados en las cinco unidades de muestreo, dichas especies representaron el 89%, lo cual indica que son las más importantes en la dinámica vegetal de esta comunidad. Las cinco especies restantes sólo representaron el 11%, de manera que fueron excluidas de los estudios subsecuentes.

Tabla 4.1. Diámetro (cm) basal del tronco, densidad (número de individuos ha⁻¹) y densidad relativa de las especies dominantes en la comunidad vegetal de El Carrizal (n=5 unidades de muestreo circulares de 314 m² c/u).

Especie	Diámetro del tronco*	Densidad*	Densidad relativa (%)
<i>Quercus affinis</i>	17.2±16.05	25.47±0.80	5.80
<i>Quercus coccolobifolia</i>	39.00±4.84	89.17±1.01	20.29
<i>Quercus crassifolia</i>	27.20±3.27	159.23±2.66	36.23
<i>Quercus obtusata</i>	33.60±3.04	165.61±2.03	37.68

* Medias ± error estándar

La colonización de las áreas abiertas y abandonadas, adyacentes al borde del bosque, por las cuatro especies destacadas de encino, muestra tendencias decrecientes a partir del dosel del bosque (Tabla 4.2). La mayoría de las plántulas y juveniles de *Quercus affinis* se registraron en forma altamente significativa bajo el dosel del bosque y en el borde del mismo, en comparación con los valores esperados ($\chi^2 = 36.7$, $p < 0.001$), y en un nivel significativamente bajo con respecto a los valores esperados en las áreas abiertas ($\chi^2 = 49.1$, $p < 0.001$ cerca

del dosel del bosque; $\chi^2 = 31.2$, $p < 0.01$ en las bandas localizadas entre 5 y 10 m del borde del bosque).

En contraste, las plántulas de *Q. coccolobifolia* se registraron en forma significativamente menor bajo el dosel del bosque, con respecto al valor esperado ($\chi^2 = 92.3$, $p < 0.001$), y en un nivel significativamente mayor que el esperado en todas las áreas abiertas [prueba de χ^2 en un rango desde 165.3 ($p < 0.001$) en la banda de 5 a 10 m, hasta 28.7 ($p < 0.05$) en la banda localizada de 15 a 20 m de distancia del borde del bosque].

Tabla 4.2. Plántulas y juveniles de las cuatro especies de encino en cinco claros adyacentes al bosque. Valores observados y totales en cinco bandas de 5X30 m paralelas al borde del bosque (la primera bajo el dosel y las siguientes en el terreno desmontado).

Especie	Distancia desde el borde (m)					Total
	-5 a 0	0 a 5	5 a 10	10 a 15	15 a 20	
<i>Quercus coccolobifolia</i>	3	60	53	15	7	138
<i>Quercus crassifolia</i>	12	1	0	0	0	13
<i>Quercus obtusata</i>	160	73	10	0	0	243
<i>Quercus affinis</i>	408	16	1	0	0	425

La densidad de plántulas de *Quercus obtusata* declinó de la banda bajo el dosel del bosque hacia las áreas abiertas, pero sin que estas diferencias fueran estadísticamente significativas en relación con el valor esperado y de acuerdo con el estadístico utilizado. El número de individuos registrado de *Q. crassifolia* fue

muy pequeño como para derivar alguna conclusión probable acerca de su recolonización en las áreas abiertas próximas al borde del bosque.

De los seis pares posibles de las cuatro especies de encino para el análisis de simetría de doseles, sólo cuatro combinaciones ocurrieron en el sitio de estudio. Faltaron los pares posibles de *Quercus crassifolia* o de *Q. coccolobifolia* con *Q. obtusata* (Tabla 4.3). *Quercus affinis* se localizó en pares con las otras tres especies, mientras que la cuarta combinación localizada fue de *Q. crassifolia* con *Q. coccolobifolia*. Las tres especies de encino apareadas con *Q. affinis*, mostraron asimetría significativa de su dosel (Tabla 4.3). En el cuarto caso, los doseles de *Q. coccolobifolia* se registraron significativamente distorsionados al estar emparejados con los de *Q. crassifolia*.

Tabla 4.3. Interacción y tasa de simetría \pm el error estándar (EE) de los doseles de pares de individuos (n) de las tres especies de encino importantes en la dinámica vegetal de El Carrizal.

Interacción	n	Tasa de simetría \pm EE	Prob.
<i>Q. crassifolia</i> - <i>Q. coccolobifolia</i>	57	1.99 \pm 0.29 - 1.31 \pm 0.28	($p < 0.01$)
<i>Q. affinis</i> - <i>Q. crassifolia</i>	46	2.38 \pm 0.10 - 1.16 \pm 0.06	($p < 0.001$)
<i>Q. affinis</i> - <i>Q. obtusata</i>	19	2.51 \pm 0.18 - 1.61 \pm 0.10	($p < 0.05$)

Los 17 individuos de *Quercus coccolobifolia* localizados en el sitio de estudio, presentaron su tronco principal roto (Tabla 4.4, $\chi^2 = 9.7$, $p < 0.01$). Similarmente, el 72% de los individuos de *Q. crassifolia* habían sufrido la pérdida de su tallo

principal (Tabla 4.4, $\chi^2 = 5.7$, $p < 0.02$). En ambos casos, el daño parece resultar del crecimiento asimétrico de su dosel, causado por la presencia cercana de un encino de especie más competitiva. Las diez muestras de crecimiento radial del tallo de *Quercus crassifolia*, presentaron radios mayores en dirección opuesta a *Q. affinis* ($\bar{X} = 10.0 \pm 2.1\%$)

Tabla 4.4. Individuos de *Quercus coccolobifolia* y *Q. crassifolia* con los fustes principales dañados y sin daño cuando interactúan con *Q. affinis* (prueba de χ^2 $p < 0.01$).

Especie	Dañados	Sin daño	Total
<i>Quercus coccolobifolia</i>	17	0	17
<i>Quercus crassifolia</i>	45	17	62

DISCUSIÓN

Los resultados del estudio de densidad absoluta y relativa indican que la comunidad vegetal de El Carrizal está compuesta por nueve especies arbóreas, pero sólo cuatro de ellas son importantes en la dinámica de este sistema. Rzedowski (1961) menciona que dos de las especies estudiadas (*Q. crassifolia* y *Q. coccolobifolia*) son las dominantes fisonómicas en los bosques de encino-pino de la sierra de Álvarez. En bosques templados maduros, sin disturbio aparente, la composición arbórea es mínima, pues llega a ser monoespecífica (García-Arévalo *et al.*, 2004), pero otras veces presenta de cuatro hasta nueve especies (Quintana-Ascencio y González-Espinosa, 1993). En el área de estudio, de acuerdo con la densidad de las especies dominantes, pareciera que la comunidad

se encuentra en una fase sucesional de intermedia a tardía, debido a que en el borde del bosque se observan pocos individuos de *Q. coccolobifolia* (especie colonizadora); un mayor número de individuos de especies de la fase intermedia (*Q. crassifolia* y, posiblemente *Q. obtusata*), y pocos individuos de *Q. affinis*, especie tardía en el sistema, cuya presencia es más reciente.

De las tres secciones del género *Quercus*, en México sólo dos son abundantes en especies, *Quercus* o encinos blancos (81 especies) y *Lobatae* o encinos rojos (76 especies) (Valencia, 2004). De las especies dominantes en el área de estudio, *Q. coccolobifolia*, *Q. crassifolia* y *Q. affinis* pertenecen a la sección *Lobatae*, y *Q. obtusata* a la sección *Quercus*. Estas dos secciones son evolutivamente diferentes. Así, con base en datos ecológicos y de distribución, se supone que los encinos rojos son menos tolerantes a condiciones xéricas (Nixon, 1984). Debido a lo anterior, en México y EE.UU. hay una mayor presencia de encinos blancos en los sistemas montañosos que limitan con los desiertos (Nixon, 1984, 1994). Los encinos blancos producen bellotas más grandes que los rojos, lo cual se relaciona con el contenido de humedad y por lo tanto de reservas para germinar en condiciones de relativa sequedad (Zavala, 2004). Los encinos rojos por su parte, en general crecen donde las condiciones de humedad son mejores. Algunas excepciones son *Q. affinis* y *Q. eduardii* asociados al bosque de *Pinus cembroides* en Nuevo León (Valdés y Aguilar, 1983), *Q. coahuilensis* en el matorral submontano, y *Q. coccolobifolia* asociado a terrenos pedregosos con exposición sur en Aguascalientes (de la Cerda, 1989). En el área de estudio, *Q. affinis* alcanza alturas de hasta 25 m y sólo se encuentra en cañadas y laderas expuestas al norte (García *et al.*, 1999). La escasa presencia de *Q. obtusata*

(encino blanco) en el área de estudio (2166 m), parece deberse a que, aunque su distribución altitudinal es de 680 a 2800 m (Valencia, 2004), su mayor abundancia se registra en altitudes intermedias.

El tamaño mayor de la bellota está correlacionado con la facilidad de la planta para establecerse y crecer bajo el dosel del bosque (Beon y Bartsch, 2003). Además, de acuerdo con Buckley *et al.* (1998), entre las características de las especies colonizadoras está el porte bajo y la semilla pequeña, con mayor facilidad de dispersión. En efecto, de las cuatro especies estudiadas, *Q. coccolobifolia*, de porte bajo (6 a 15 m) y colonizadora, produce la bellota más pequeña, de 0.8 a 1.0 cm de largo (García y Aguirre, en preparación). En cambio, *Q. affinis* posee una bellota cuyo tamaño fluctúa entre 0.9 y 1.3 cm de largo. Las especies consideradas como dominantes en un bosque maduro, o tardías en la secuencia sucesional, producen frutos con dispersión limitada, pero con energía suficiente para sustentar el crecimiento de las plántulas bajo un dosel establecido de antemano (Minckler, 1980; Jackson, 1984).

El tamaño de la bellota y su relación con los depredadores, es también importante en la dispersión y recolonización de las áreas abiertas. La dispersión de frutos por aves y pequeños mamíferos es de gran importancia para el éxito de la repoblación de los encinos de bosques maduros, debido principalmente al almacenamiento eficiente de bellotas (Mellanby, 1968). Los vertebrados (aves y mamíferos) se consideran los dispersores primarios de bellota (Barnett, 1977; Boucher, 1981; Darley-Hill y Jhonson, 1981). Los roedores pequeños (*Peromyscus* spp. y *Sigmodon* spp.) transportan las bellotas entre 10 y 30 m del

centro de provisión (Sork, 1984; Bonfil y Soberón, 1999); las ardillas (*Sciurus* spp. y *Spermophilus* spp.) las mueven hasta unos cientos de metros, y algunas aves (*Aphelocoma* spp., *Corvus* sp., *Cyanocitta* sp., *Picoides* spp., *Melanerpes* spp.) las desplazan hasta 4 o 5 km (Darley-Hill y Jhonson, 1981; Zavala, 1995; Zavala y García, 1996). Así, la bellota más pequeña de *Quercus coccolobifolia* representa menor problema para ser transportada hacia las áreas abiertas, a distancias relativamente grandes de la fuente.

El tamaño de la hoja y su relación con los procesos de la fotosíntesis y respiración, es otro atributo que tiene que ver con la adaptabilidad a diferentes niveles de luz o sombra. Así, es probable que *Quercus coccolobifolia* requiera de tasas fotosintéticas elevadas desde las primeras etapas de su desarrollo, debido a que su bellota más pequeña contiene menos reservas, lo cual se compensará con una mayor superficie foliar. Las hojas de *Q. coccolobifolia* son de 10 a 19 cm de longitud y de 7 a 16 cm de anchura (de la Cerda, 1989; Bello y Labat, 1987; Zavala, 2003; García y Aguirre, en preparación). Por el contrario, *Q. affinis* posee hojas de 4 a 9 cm de longitud y de 2 a 3 cm de anchura (García y Aguirre, en preparación); asimismo, el mayor contenido de reservas en las bellotas y el menor gasto energético para la respiración bajo la sombra, podría conferirle una mayor eficiencia fotosintética con menor superficie foliar.

Las características biológicas de las especies estudiadas y los resultados de este trabajo concuerdan con lo señalado por Horn (1974), Bidwell (1974) y Bazzaz (1998), en el sentido de que las especies colonizadoras, aparte de ser intolerantes a la sombra, poseen hojas más grandes; mientras que las propias de los estados

avanzados en la sucesión, son más tolerantes a la sombra y presentan menor superficie foliar. Sin embargo, Buckley *et al.* (1998) afirman que en general las especies propias de lugares abiertos y con altas tasas de luminosidad, poseen hojas pequeñas y gruesas, mientras que las especies propias de lugares sombreados y de mayor humedad, presentan hojas grandes y delgadas, posiblemente porque se están refiriendo a especies de las comunidades maduras de esos ambientes. Rzedowski (1978) menciona que si bien en general los encinares con especies de hoja pequeña se distribuyen en áreas de mayor aridez, y en las áreas de mayor humedad se encuentran los encinares con especies de hoja grande, existen algunas excepciones, como *Q. resinosa* y *Q. magnoliifolia*. Al respecto, sin embargo, también debe considerarse el hábito foliar (caducifolio o perennifolio); así, la especie tardía de este estudio (*Q. affinis*) es perennifolia, mientras que *Q. coccolobifolia* es caducifolia. La pérdida total de las hojas parece ser una estrategia evolutiva de *Q. coccolobifolia* y otras colonizadoras para resistir la temporada seca del año (Reich *et al.*, 1992). En efecto, las especies caducifolias suelen presentar altas tasas fotosintéticas y área foliar grande (Reich *et al.*, 1992); en consecuencia, suelen crecer más rápido que las perennifolias (Antúnez *et al.*, 2001), de ahí que éstas se distribuyan por lo general en áreas donde las condiciones ambientales les permiten la fotosíntesis durante todo el año (Chabot y Dicks, 1982). En ciertas regiones de México, el encinar perennifolio tiende a presentarse en lugares con climas templados y húmedos y suelos profundos, mientras que el encinar caducifolio suele encontrarse en áreas con clima cálido o templado y suelos someros (Guzmán, 1985).

El estudio de la repoblación de los claros adyacentes al bosque, indica que efectivamente *Quercus coccolobifolia* es la especie colonizadora, debido a que sus plántulas mostraron mayor tolerancia a luz directa, al establecerse principalmente en las áreas abiertas. Y en el otro extremo de la secuencia sucesional, *Q. affinis* es la especie tardía, tolerante a sombra, debido a que sólo se estableció bajo el dosel del bosque. *Q. crassifolia* y *Q. obtusata* se ubican entre los extremos de este gradiente formado por *Q. coccolobifolia* y *Q. affinis*, ya que el número de sus plántulas y juveniles declinó gradualmente desde bajo el dosel y en el borde del mismo, hasta las áreas abiertas, por lo cual se pueden considerar como especies intermedias en esta secuencia. Esta tendencia de colonización preferentemente bajo el dosel del bosque se ha registrado en México también para *Q. rugosa* (Bonfil y Soberón, 1999) y para *Q. crispipilis* y *Q. laurina* (Quintana-Ascencio, 1989).

Otro aspecto que corrobora la secuencia sucesional postulada en este trabajo es la estimación de las edades de las especies que forman esta comunidad vegetal. Los individuos con mayor diámetro de *Quercus coccolobifolia* tienen una edad que varía de 76 a 347 años, mientras que en *Q. crassifolia* es de 142 a 222 años. La edad de los individuos de *Q. affinis* no se estimó con precisión, pero las características del ambiente donde crece y sus propios atributos, principalmente el hecho de ser perennifolio, hacen pensar que en general sea menor que la de las especies anteriores. Cuando las condiciones ambientales son favorables, los encinos presentan hasta tres crecimientos al año (Löff, 2000). Si se cumple este hecho para *Q. affinis*, se puede pensar que sus individuos alcanzan mayor tamaño a una menor edad.

Se debe considerar también la importancia de las perturbaciones, las cuales crean claros de diferente tamaño; en estos claros las condiciones de mayor luminosidad y temperatura, así como los menores niveles de humedad, permiten el establecimiento de especies de porte bajo, intolerantes a la sombra, bellota pequeña, capacidad de rebrote y gran superficie foliar, características que posee *Q. coccolobifolia* (Valdés y Aguilar, 1983; de la Cerda, 1989; Zavala, 1995).

Las teorías contemporáneas confieren a la competencia un papel central en la sucesión ecológica (Tilman, 1986; Huston y Smith, 1987; Cook, 1996), y se le ha reconocido como un proceso biótico importante en la estructuración de las comunidades vegetales (Connell, 1983; Shoener, 1983; Flores y Yeaton, 2000). Los resultados de simetría de doseles, el crecimiento asimétrico del dosel y del tronco, y el daño en los meristemos apicales de las especies competitivamente inferiores, son efectos probables de la superioridad competitiva de una especie sobre otra. La ruptura de los meristemos apicales está relacionada con las características físicas de la madera. Si bien, en relación con la densidad de la madera, *Quercus affinis* y *Q. crassifolia* son similares, en elasticidad son diferentes (Sotomayor, 2005). Por su parte, *Q. coccolobifolia* es la especie que presenta menor densidad y menor elasticidad del conjunto (Sotomayor, 2005). Aunque estas características varían entre regiones (de la Paz-Pérez, 2000), indudablemente son indicadores de la menor resistencia de la madera de *Q. crassifolia* y *Q. coccolobifolia*, en comparación con la de *Q. affinis*, lo cual explica la superioridad competitiva de esta especie.

En general, cualquier perturbación en un ecosistema trae como consecuencia inmediata la reducción de la dominancia de ciertas especies ya establecidas y la creación de nichos disponibles para la colonización y el crecimiento de nuevas especies, con lo cual se propicia un patrón en el remplazo de especies. La composición específica puede cambiar de manera continua como reacción a las variaciones más o menos aleatorias en el ambiente (Flores y Yeaton, 2000). Estos cambios se presentan por el efecto combinado de colonización y facilitación, seguidos de una presión competitiva que da lugar a un patrón oscilatorio en la dinámica de las poblaciones y que a su vez puede conducir a esquemas de sucesión cíclica (Horn, 1976; Yeaton, 1978; Vandermeer, 1980; Cody, 1993; Flores y Yeaton, 2000).

Aunque los factores físicos del medio podrían explicar la composición y estructura de estas comunidades vegetales (Noy Meir, 1979; Flores y Yeaton, 2000), en condiciones naturales, el remplazamiento por competencia de una especie por otra, puede llegar a determinar la distribución de las especies en el espacio y en el tiempo. Así, de acuerdo con Callaway y Walker (1997) las comunidades vegetales deben en parte su organización a las relaciones bióticas entre las especies dominantes.

CONCLUSIONES

Los estudios realizados en el presente trabajo son experimentos naturales que permiten entender la dinámica de los bosques de encino, desde las especies que dominan los procesos en las diferentes fases de la sucesión, hasta la forma como las especies competitivamente superiores desplazan a otras.

Los resultados corroboran que la competencia interespecífica es importante en la estructuración de los encinares de la sierra de Álvarez. Las especies que dominan cada etapa de la dinámica de esta comunidad, forman una jerarquía competitiva donde *Quercus coccolobifolia* coloniza los claros del bosque. Esta especie cumple la función de nodriza de individuos jóvenes de *Q. crassifolia* y *Q. obtusata*, las cuales con el tiempo la remplazan. Éstas a su vez son remplazadas por *Q. affinis*, una especie competitivamente superior o dominante en el sistema.

El estudio de la dinámica de los bosques de encino es complejo. Sin embargo, con las técnicas propuestas en este trabajo, es posible hacerlo debido a la coexistencia de los tres tipos de especies características de las fases de la dinámica de los bosques templados (apertura de claros-colonización, construcción y madurez). Además, con ellas es posible inferir el remplazo en el tiempo y evaluar la importancia de la facilitación y de la competencia en la formación de cada una de estas tres fases.

RECONOCIMIENTOS

Se agradece el apoyo del Fondo de Apoyo a la Investigación (FAI) de la UASLP (convenio C04-FAI-10-37.80) y al COPOCYT (convenio FMSLP-2002-5599), para financiar parte de esta investigación. El CONACYT otorgó sendas becas a Pedro Castillo Lara y Jorge Alberto Flores Cano para realizar sus estudios de doctorado en el PMPCA de la UASLP, de las cuales este trabajo constituye una parte.

BIBLIOGRAFÍA

- Antúnez, I.; E.C. Retamosa; R. Villar. 2001. Relative growth rate in phylogenetically related deciduous and evergreen woody species. *Oecologia*. 128:172-180
- Arriaga L.; J. M. Espinoza; C. Aguilar; E. Martínez; L. Gómez; E. Loa (Coords.). 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). México, D.F. 465 p.
- Barnett, R.J. 1977. The effect of burial by squirrels on germination and survival of oak and hickory nuts. *American Midland Naturalist*. 98:319,329.
- Bazzaz, F.A. 1998. Plants in changing environments: Linking physiological, population and community ecology. Cambridge University Press. New York. USA. 320 p.
- Bello G., M.A; J. N. Labat. 1987. Los encinos (*Quercus*) del estado de Michoacán, México. CEMCA-SARH (INIFAP). México. 97 p.
- Beon, M. S.; y N. Bartsch. 2003. Early seedling growth of pine (*Pinus densiflora*) and oaks (*Quercus serrata*, *Q. mongolica*, *Q. variabilis*) in response to light intensity and soil moisture. *Plant Ecology*. 167:97-105.
- Bidwell, G.S. 1974. Plant physiology. Mac Millan. New York. USA. 643 p.
- Bonfil, C.; J. Soberón. 1999. *Quercus rugosa* seedling dynamics in relation to its re-introduction in a disturbed Mexican landscape. *Applied Vegetation Science*. 2(2):189-200.
- Boucher, D.H. 1981. Seed predation by mammals and forest dominance by *Quercus oleoides*, a tropical lowland oak. *Oecologia*. 49:409-414.

- Buckley, D. S.; T. L. Sharik; J. G. Isebrands. 1998. Regeneration of northern red oak: positive and negative effects of competitors removal. *Ecology*. 79(1):65-78.
- Callaway, R.M.; L.R. Walker. 1997. Competition and facilitation: A synthetic approach to interactions in plant communities. *Ecology*. 78:1958-1965.
- Chabot, D.F.; D. J. Dicks. 1982. The ecology of leaf life spans. *Ann. Rev. Ecol. Sys.* 13:229-259.
- Cody, M. L. 1993. Do cholla cacti (*Opuntia* spp., subgenus *Cylindropuntia*) use or need nurse plants in the Mojave Desert?. *J. Arid Envir.* 24:139-154.
- Connell, J.H.; R.O. Slatyer. 1977. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *American Naturalist*. 111:1119-1144.
- Connell, J. H. 1983. On the prevalence and relative importance of interspecific competition: evidence from field experiments. *American Naturalist*. 122: 661-696.
- Cook, J.E. 1996. Implications of modern successional theory for habitat typing: a review. *Forest Science*. 42(1):62-75.
- Darley-Hill, S.; W.C. Jhonson. 1981. Acorn dispersal by the blue jay (*Cyanocitta cristata*). *Oecologia*. 50:231-232.
- De la Cerda L., M. 1989. Encinos de Aguascalientes. Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes, Aguascalientes. México. 184 p.
- De la Paz-Pérez O., C. 2000. Relación estructura propiedades físico-mecánicas de la madera de algunas especies de encinos (*Quercus*) mexicanas. Tesis Doctoral. UNAM. México, D. F. 266 p.

- Flores M., G.; J. Jiménez L.; X. Madrigal S.; F. Moncayo R.; F. Takaki T. 1971. Memoria del mapa de vegetación de la república mexicana. Secretaría de Recursos Hidráulicos. México, D. F. 59 p.
- Flores F., J. L.; R. I. Yeaton H. 2000. La importancia de la competencia en la organización de las comunidades vegetales en el Altiplano Mexicano. *Interciencia*. 25(8):365-371.
- Forcier, L. K. 1975. Reproductive strategies and the co-occurrence of climax tree species. *Science*. 189:808-810.
- García-Arévalo, A.; J. J. Mendoza; J. Necedal. 2004. Asociaciones vegetales de los bosques del municipio de Guanaceví, Durango. *Madera y Bosques*. 10(1):21-34.
- García S., F.; J. R. Aguirre R.; J. Villanueva D.; J. García P. 1999. Contribución al conocimiento florístico de la sierra de Álvarez, San Luis Potosí, México. *Polibotánica*. 10: 73-103.
- García S., F.; J. R. Aguirre R. En preparación. Guía de campo para la identificación de las especies arbóreas de la sierra de Álvarez, S.L.P., México.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Enriqueta García de Miranda (Ed.). México D. F. México. 217 p.
- Guzmán M., R. 1985. Reserva de la Biósfera de la Sierra de Manantlán, Jalisco. Estudio descriptivo. *Tiempos de Ciencia*. 1:10-26.
- González-Espinosa, M.; P. F. Quintana-Ascencio; N. Ramírez-Marcial; P. Gaytán. 1991. Secondary succession in disturbed *Pinus-Quercus* forests in the highlands of Chiapas, Mexico. *Journal of Vegetation Science*. 2:351-360.

- Huston, M.; T. Smith. 1987. Plant succession: life history and competition. *The American Naturalist*. 130:168-198.
- Horn, H. S. 1974. The ecology of secondary succession. *Ann. Rev. Ecol. Sys.* 5:25-37.
- Horn, H. S. 1976. Succession. In: R. M. May (Ed.). *Theoretical ecology: principles and applications*. Blackwell, Oxford. UK. pp. 187-204.
- Anónimo. 2002. *Síntesis Geográfica del Estado de San Luis Potosí*. INEGI. Aguascalientes, Aguascalientes. México. 2002 p.
- Jackson, J. 1984. *Ecology of Missouri forests*. Missouri Department of Conservation. Jefferson City. U.S.A. 51 p.
- Löf, M. 2000. Establishment and growth in seedlings of *Fagus sylvatica* and *Quercus robur*: influence of interference from herbaceous vegetation. *Can. J. For. Res.* 30: 855-864.
- Martínez, R.M. 1985. Claros, ciclos vitales de los árboles tropicales y regeneración natural de las selvas altas perennifolias. En: A. Gómez-Pompa y S. del Amo (Eds.). *Investigaciones sobre la regeneración de selvas altas en Veracruz, México*. CECOSA. México D. F. p. 191-240.
- Mellanby, K. 1968. The effects of some mammals and birds on regeneration of oak. *The Journal of Applied Ecology*. 5(2):359-366.
- Minckler, L.S. 1980. *Woodland ecology: Environmental forestry for the small landowner*. Syracuse University Press. Syracuse, NY. USA. 160 p.
- Nixon, K. C. 1984. *A biosystematic study of Quercus series Virentes (the live oaks) with phylogenetic analices of Fagales, Fagaceae and Quercus*. PhD Dissertation. The University of Texas at Austin. Texas. USA. 169 p.

- Nixon, K. C. 1994. The genus *Quercus* in Mexico. En: T.P. Rammammorthy; R. Bye; A. Lot; J. Fa (Eds). Biological diversity of Mexico: Origins and distribution. Oxford University Press. Nueva York. pp 447-458.
- Noy-Meir, I. 1979. Structure and function of desert ecosystem. *Isr. J. Bot.* 28: 1-19.
- Perry, D.A. 1994. Forest ecosystems. The Johns Hopkins University Press. USA. 649 p.
- Platt, J.R. 1964. Strong inference. *Science.* 146:347-353.
- Quintana-Ascencio, P. F. 1989. La condición sucesional de dos encinos dominantes (*Quercus laurina* Humb. & Bonpl. y *Q. crispipilis* Trel.) de los bosques de Los Altos de Chiapas. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México. 142 p.
- Quintana-Ascencio, P. F.; M. González-Espinosa. 1993. Afinidad fitogeográfica y papel sucesional de la flora leñosa de los bosques de pino-encino de Los Altos de Chiapas, México. *Acta Botánica Mexicana.* 21:43-57.
- Reich, P.B.; M.B. Walters; D.S. Ellsworth. 1992. Leaf life-span in relation to leaf plant, and stand characteristics among diverse ecosystem. *Ecological Monographs.* 62:365-392.
- Rzedowski, J. 1961. Vegetación del estado de San Luis Potosí. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F. 228 p.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa. México. 432 p.
- Sánchez-Velázquez, L. R.; E. García-Moya. 1993. Sucesión forestal en los bosques mesófilo de montaña y de *Pinus* de la sierra de Manantlán, Jalisco, México. *Agrociencia.* 3(1):7-26.
- Shoener, T. W. 1983. Field experiments on interspecific competition. *American Naturalist.* 122:240-285.

- Shugart, H. H. 1984. The theory of forest dynamics: The ecological implications of forest succession models. Springer-Verlag. New York. USA. 278 p.
- Siegel, S. y N.J. Castellan. 1988. Nonparametric statistics for behavioral sciences. 2nd ed. McGraw-Hill. New York. 399 p.
- Sork, V.L. 1984. Examination of seed dispersal and survival in red oak, *Quercus rubra* (Fagaceae), using metal-tagged acorns. Ecology. 65:1020-1022.
- Sotomayor C., J. R. 2005. Características mecánicas y clasificación de la madera de 150 especies mexicanas. Investigación e Ingeniería de la Madera. 1(1):3-20.
- Tilman, D. 1986. Evolution and differentiation in terrestrial plant communities: the importance of the soil resource: light gradient. In: J. Diamond; Case T. J. (Eds.). Community ecology. Harper & Row. USA. pp. 359-380.
- Valencia A., S. 2004. Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. Bol. Soc. Bot. Méx. 75:33-53.
- Valdéz T., V.; M. L. Aguilar E. 1983. El género *Quercus* en las unidades fisonómico-florísticas del municipio de Santiago, N.L., México. Bol. Téc. Inst. Nac. Inv. For. México. 98:275-288.
- Vandermeer, J. 1980. Saguaro and nurse trees: a new hypothesis to account for population fluctuations. Southwestern Naturalist. 25:357-360.
- Watt, A. S. 1947. Pattern and process in the plant community. Journal of Ecology. 35:1-22.
- Whitmore, T. C. 1978. Gaps in the forest canopy. In: Tomlinson & Zimmermann (Editors). Tropical trees as living systems. Cambridge University Press. London. pp. 639-655.

- Yeaton, R.I. 1978. A cyclical relationship between *Larrea tridentata* and *Opuntia leptocaulis* in the northern Chihuahuan Desert. *Journal of Ecology*. 66:651-656.
- Yeaton, R. I.; A. Romero-Manzanares. 1986. Organization of vegetation mosaics in the *Acacia schaffneri-Opuntia streptacantha* association, southern Chihuahuan Desert, Mexico. *Journal of Ecology*. 74: 211-217.
- Yeaton, R. I.; A. Romero-Manzanares; C. G. Vera; S. Vielegas. 1987. Tree succession in the subalpine forest of the Neo-Volcanic range, south-central Mexico. *Southwestern Naturalist*. 32(3): 335-345.
- Zavala Ch., F. 1995. Encinos y robles, notas fitogeográficas. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Edo. de México. México. 44 p.
- Zavala Ch., F. y E. García Moya. 1996. Frutos y semillas de encino. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de México. México. 47 p.
- Zavala Ch., F. 2003. Identificación de encinos de México. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Edo. de México. México. 188 p.
- Zavala Ch., F. 2004. Desección de bellotas y su relación con la viabilidad en nueve especies de encinos mexicanos. *Ciencia Ergo Sum*. 11(2): 177-185.

5. DISCUSIÓN GENERAL

La superficie del área natural Sierra de Álvarez, señalada en el decreto de creación de la misma (Anónimo, 1981, Torres y Sierra, 2003), difiere en 2,842 ha de la obtenida en este trabajo. En el decreto se señala una superficie aproximada de 16,900 ha, mientras que la superficie total obtenida en este trabajo fue de 14,058 ha. Además, se encontró que una porción de esta ANP se encuentra en el municipio de San Nicolás Tolentino.

La sierra de Álvarez en general, y la porción correspondiente al ANP “Sierra de Álvarez” en particular, ha estado sometida a una fuerte presión desde la llegada de los españoles a esta región. El desarrollo de la actividad minera ocasionó un grave impacto ambiental, debido a la demanda de una gran cantidad de combustible y de madera, lo que llevó a la virtual desaparición de los bosques, especialmente en los alrededores de Cerro de San Pedro. La explotación de los recursos forestales en esta región tuvo su punto más álgido en la primera mitad del siglo XX, cuando el aprovechamiento forestal fue concesionado a dos compañías: a) la estadounidense “The Alvarez Land and Timber Company” y la potosina “Sociedad José E. Ipiña” (Martínez, 2003). La demanda de madera durante este periodo propició que se construyera una vía férrea que partía de la ciudad de San Luis Potosí y se internaba hasta el kilómetro 58 dentro de la sierra, con el único objeto de extraer leña, madera y carbón vegetal. Esto ocasionó que grandes áreas de la sierra fueran deforestadas y propició el establecimiento de asentamientos humanos en la zona, tales como Álvarez y El Cincuenta y Ocho. Al concluir el aprovechamiento de la vegetación arbórea, los colonos, introdujeron ganado (bovinos y ovinos, principalmente) y abrieron áreas al cultivo de maíz,

frijol, chícharo y algunos frutales, lo cual impidió la repoblación natural de las especies arbóreas, y favoreció la degradación de los suelos.

Estos antecedentes y su cercanía a la capital del estado promovieron el interés para crear una zona de protección forestal en la región, la cual se concretó en 1981. Sin embargo, a 26 años de su creación, la zona de protección forestal “Sierra de Álvarez”, aún continúa sólo como una forma jurídica; es decir, sólo en el decreto, debido a que no se ha hecho nada significativo para restaurar y conservar sus recursos. Tampoco se han realizado acciones relevantes para detener de alguna manera el deterioro de sus recursos naturales, ni para conocer cuáles son esos recursos y su estado.

Desde 1997, el Instituto de Investigación de Zonas Desérticas de la UASLP, comenzó a estudiar la problemática de esta zona y ha desarrollado trabajos tendentes a incrementar el conocimiento de la sierra de Álvarez. Uno de los aspectos importantes para fundamentar la planeación y manejo del área natural “Sierra de Álvarez”, es la monitorización de la vegetación, esto es el registro y cuantificación de los cambios en la cubierta vegetal a través del tiempo (Nordberg y Evertson, 2003). Esto es fundamental porque se considera a la vegetación como uno de los indicadores más importantes de las condiciones naturales de una región y de la influencia de las actividades humanas sobre ella. En efecto, el análisis de los cambios ocurridos en la cobertura vegetal, incluyendo la repoblación natural, es un elemento fundamental en la caracterización del paisaje y en la toma de decisiones para su manejo y aprovechamiento racional (Palacio-Prieto *et al.*, 2004).

Los procesos de cambio de la cobertura y los usos del suelo registrados para la región, al contrario de lo que pudiera pensarse, tienden hacia la recuperación de la cubierta vegetal y a la disminución de la actividad agrícola. Este patrón se está presentando también en otras regiones templadas subhúmedas del país, como en la cuenca del Lago Cuitzeo, en Michoacán (López *et al.*, 2006) y en los bosques del Nevado de Toluca (Franco *et al.*, 2006). En ambos casos, la causa de esta tendencia es el abandono de la actividad agrícola y la emigración de los pobladores del campo a las ciudades.

Otros aspectos que se tienen que abordar al estudiar la vegetación es su variación espacial y estructural, con el objetivo de generar una imagen mental del área y las comunidades que integran su vegetación, y así poder compararlas entre sí y crear esquemas para clasificarlas (Franco *et al.*, 1996).

La caracterización de las comunidades de una región se puede hacer desde el punto de vista de la composición y dominancia de las especies que las conforman (estructura), y desde el punto de vista de las relaciones dinámicas o sucesionales entre dichas comunidades. De acuerdo con ambos criterios, las comunidades arbóreas analizadas presentan un patrón sucesional que responde en parte a la disminución de la presión antrópica en la región. Este patrón sucesional está representado por la variante del encinar *Juniperus-Quercus* como la etapa temprana, la cual se encuentra en la parte del área donde las actividades humanas tales como la agricultura, la ganadería y la extracción de minerales, son aún muy evidentes. La variante *Quercus mexicana* está ubicada en la parte

intermedia, tanto del proceso sucesional como del gradiente de presión antrópica. Finalmente, la variante *Quercus affinis* se encuentra al otro extremo de ambos gradientes (sucesión y presión antrópica).

El proceso sucesional en el encinar fue estudiado en detalle en una comunidad del encinar de la sierra de Álvarez. En general, se corrobora que cualquier perturbación en un ecosistema trae como consecuencia inmediata cierta reducción en las especies dominantes y la creación de nichos disponibles para especies subordinadas o colonizadoras, con lo cual se propicia un patrón en el remplazo de especies. La composición específica puede cambiar de manera continua como reacción a las variaciones más o menos aleatorias en el ambiente (Flores y Yeaton, 2000). Estos cambios se presentan por el efecto combinado de colonización y facilitación, seguidos de una presión competitiva que da lugar a un patrón oscilatorio en la dinámica de las poblaciones y que a su vez puede conducir a esquemas de sucesión cíclica (Horn, 1976; Yeaton, 1978; Vandermeer, 1980; Cody, 1993; Flores y Yeaton, 2000).

Aunque en condiciones naturales los factores físicos del medio podrían explicar la composición y estructura de estas comunidades vegetales (Noy Meir, 1979; Flores y Yeaton, 2000), la perturbación natural o artificial puede activar el remplazamiento por competencia de una especie por otra, y llegar a determinar la distribución de las especies en el espacio y en el tiempo. Así, de acuerdo con Callaway y Walker (1997), las comunidades vegetales deben en parte su organización a las relaciones bióticas entre las especies dominantes y subordinadas, así como a los efectos de las actividades humanas.

BIBLIOGRAFÍA

- Anónimo. 1981. Decreto por el que por causa de interés público se establece zona de protección forestal y refugio de la fauna silvestre la región conocida como Sierra de Álvarez, S.L.P. Diario Oficial de la Federación. México, D.F. 4 p.
- Callaway, R.M.; L.R. Walker. 1997. Competition and facilitation: A synthetic approach to interactions in plant communities. *Ecology*. 78:1958-1965.
- Cody, M. L. 1993. Do cholla cacti (*Opuntia* spp., subgenus *Cylindropuntia*) use or need nurse plants in the Mojave Desert?. *J. Arid Envir.* 24:139-154.
- Flores F., J. L.; R. I. Yeaton H. 2000. La importancia de la competencia en la organización de las comunidades vegetales en el Altiplano Mexicano. *Interciencia*. 25(8):365-371.
- Franco M., S.; H. H. Regil G.; C. González E.; G. Nava B. (parte B). 2006. Cambio de uso del suelo y vegetación en el Parque Nacional Nevado de Toluca, México en el periodo 1972-2000. *Investigaciones Geográficas*. 1: 51-57.
- Horn, H. S. 1974. The ecology of secondary succession. *Ann. Rev. Ecol. Sys.* 5:25-37.
- López G., E. M.; G. Bocco; M. Mendoza; A. Velásquez; J. R. Aguirre R. 2006. Peasant emigration and land-use change at the watershed level: A GIS-based approach in Central Mexico. *Agricultural Systems*. 90(1-3): 62-78.
- Martínez de la V., G. 2003. Utilización de la fauna silvestre en la sierra de Álvarez, San Luis Potosí. Tesis de Maestría. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Veracruz. México. 130p.
- Nordberg, M. L.; J. Everston. 2003. Monitoring change in mountainous dry-heath vegetation at regional scale using multitemporal Landsat TM data. *Ambio*. 32 (8): 502-509.

- Noy-Meir, I. 1979. Structure and function of desert ecosystem. *Isr. J. Bot.* 28: 1-19.
- Palacio-Prieto, J. L.; M. T. Sánchez S.; J. M. Casado I.; E Propin F.; J. Delgado C.; A. Velázquez M.; L. Chías B.; M. I. Ortiz A.; J. González S.; G. Negrete F.; J. Gabriel M.; R. Márquez H. 2004. Indicadores para la caracterización y ordenamiento del territorio. Secretaría de Desarrollo Social, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología y Universidad Autónoma de México. México, D. F. México. 161 p.
- Torres J., J. G.; M. del S. Sierra R. 2003. Las áreas naturales protegidas del estado de San Luis Potosí. Secretaría de Ecología y Gestión Ambiental, Gobierno del Estado de San Luis Potosí. San Luis Potosí, S.L.P. México. 120 p.
- Vandermeer, J. 1980. Saguars and nurse trees: a new hypothesis to account for population fluctuations. *Southwestern Naturalist.* 25:357-360.
- Yeaton, R.I. 1978. A cyclical relationship between *Larrea tridentata* and *Opuntia leptocaulis* in the northern Chihuahuan Desert. *Journal of Ecology.* 66:651-656.

6. CONCLUSIONES GENERALES

En general, las clases de coberturas vegetales del área de estudio están en proceso de restauración natural, mientras que el área de agricultura de secano tiende a disminuir. Esta tendencia corresponde a un patrón sucesional de las comunidades arbóreas hacia la recuperación de la vegetación original.

Las variantes fisonómicas del encinar estudiadas resultaron ser comunidades claramente diferenciables por su estructura y composición específica. El componente arbóreo dominante es el que determina la estructura de cada una de las tres variantes.

Los resultados corroboran que la competencia interespecífica y el grado de perturbación son importantes en la estructuración de los encinares de la sierra de Álvarez. Las especies que dominan la variante menos madura cumplen la función de nodriza de individuos jóvenes de las especies intermedias y tardías del proceso sucesional. De acuerdo con los resultados de los trabajos de estructura y competencia, *Quercus affinis* es la especie más tardía en el proceso sucesional y la dominante de los encinares maduros de la región.