



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS
CAMPECHE-CÓRDOBA-MONTECILLO-PUEBLA-SAN LUIS POTOSÍ-TABASCO-VERACRUZ

CAMPUS SAN LUIS POTOSÍ

POSTGRADO EN
INNOVACIÓN EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

DISTRIBUCIÓN Y DIVERSIDAD DEL GÉNERO *Quercus* EN EL ALTIPLANO POTOSINO-ZACATECANO

ALEJANDRA CABRERA RODRÍGUEZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRÍA EN CIENCIAS


Salinas de Hgo., San Luis Potosí, México
Diciembre, 2015

La presente tesis, titulada: **Distribución y diversidad del género *Quercus* en el Altiplano Potosino-Zacatecano**, realizada por la alumna **Alejandra Cabrera Rodríguez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada y aceptada por el mismo como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRÍA EN CIENCIAS
INNOVACIÓN EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:


DR. JUAN FELIPE MARTÍNEZ MONTOYA

GRADO Y NOMBRE DEL PROFESOR

DIRECTOR DE TESIS:


DR. JORGE ALBERTO FLORES CANO

GRADO Y NOMBRE DEL PROFESOR

ASESORA:


DRA. MARGARITA TORRES AQUINO

GRADO Y NOMBRE DEL PROFESOR

ASESOR:


DR. JORGE PALACIO NÚÑEZ

GRADO Y NOMBRE DEL PROFESOR

ASESOR:


DR. GENARO OLMOS OROPEZA

GRADO Y NOMBRE DEL PROFESOR

SALINAS DE HGO., SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO
Diciembre, 2015

DISTRIBUCIÓN Y DIVERSIDAD DEL GÉNERO *Quercus* EN EL ALTIPLANO POTOSINO-ZACATECANO

Alejandra Cabrera Rodríguez

Colegio de Postgraduados, 2015

Resumen

El género *Quercus* es el género más grande de la familia Fagaceae, agrupa alrededor de 500 especies en todo el mundo, sin embargo, México es el país con la mayor diversidad y endemismo. Entre los servicios ambientales que provee, se menciona la producción de oxígeno, captura de dióxido de carbono y regulación de la temperatura atmosférica. En términos humanos, se han descrito usos medicinales y alimenticios entre otros. A pesar de su extensa presencia y de su complejidad taxonómica, aún se desconoce con exactitud el número de especies presentes en el territorio nacional, particularmente en las zonas áridas. De la misma manera, en estas zonas es importante considerar la diversidad y actividad de la microbiota del suelo en las comunidades de encinares. En la presente investigación se abordan dos aspectos referentes a los encinares presentes en el Altiplano Potosino-Zacatecano. El primero de ellos respecto a su distribución y a la identificación de las especies. El segundo incluye la identificación de especies de hongos ectomicorrízicos (ECM) asociados, así como la caracterización de la simbiosis ectomicorrízica de *Astraeus hygrometricus* y *Quercus tinkhamii*. Se seleccionaron seis áreas de muestreo: Cerro el Peñón Blanco, Sierra de Guanamé, Sierra La Mojonera en el estado de San Luis Potosí, y Sierra de San Miguel, Mesa de La Difunta y Cerro Los Licenciados en Zacatecas. Se establecieron recorridos en los cuales se recolectaron partes arbóreas para su posterior identificación. Además, se establecieron siete parcelas de muestreo en Cerro el Peñón Blanco y Sierra de Guanamé, en las cuales se registró la composición florística de cada sitio, y la riqueza de especies se determinó mediante el Índice de Margalef, y la diversidad a través del índice de Shannon-Wiener. También se determinó la densidad poblacional de cada especie. Se recolectaron cuerpos fructíferos, raíces finas de encino y suelo. La identificación de morfotipos, se realizó utilizando el sistema DEEMY.

Se inocularon plantas de *Q. tinkhamii* con el hongo ECM *A. hygrometricus*. De las muestras de suelo se determinó textura, pH, materia orgánica, nitrógeno total y fósforo. Se registraron diez especies de encinos: *Q. tinkhamii*, *Q. potosina*, *Q. striatula*, *Q. grisea*, *Q. greggii*, *Q. pringlei*, *Q. microphylla*, *Q. jonesii*, *Q. eduardii* y *Q. saltillensis*, siendo *Q. potosina* y *Q. eduardii* las especies más distribuidas dentro del área de estudio. La riqueza y diversidad de especies, así como la abundancia total fue mayor en la Sierra de Guanamé. Además, se identificaron cinco especies y un morfotipo de hongos ectomicorrízicos; dichas especies estuvieron asociadas a seis especies de encinos. Se registró por primera vez la simbiosis ECM de *Cenococcum geophilum* en raíces de *Q. potosina* y *Q. striatula*, y se demostró la simbiosis ectomicorrízica de *A. hygrometricus* con *Q. tinkhamii*. La diversidad del género *Quercus* en encinares relictos localizados en el Altiplano Potosino Zacatecano ha persistido, a pesar de la presión antrópica, aunado a esto, la presencia de hongos ECM asociados a estos encinares relictos es evidencia de la interfase suelo-árbol que ha persistido a pesar de las condiciones de perturbación.

Palabras clave: Zonas semiáridas, altiplanicie, serranías aisladas, bosques relictuales, simbiosis.

DISTRIBUTION AND DIVERSITY OF THE GENUS *Quercus* IN THE ALTIPLANO POTOSINO-ZACATECANO

Alejandra Cabrera Rodríguez

Colegio de Postgraduados, 2015

Abstract

The genus *Quercus* is the largest of the Fagaceae family genus, it brings together around 500 species worldwide, however, México is the country with the greatest diversity and endemism. It is distributed in temperate, warm and tropical areas, where it has a habit of tree growth, and in arid areas where arises from shrub form. Among the environmental services provides this genre, mentioned the production of oxygen, capture of carbon dioxide and atmospheric temperature regulation. In human terms, medicinal and food uses among others have been described. Despite its extensive presence and its taxonomic complexity, still unknown exactly in number of species present in the national territory, particularly in arid areas. Likewise in arid areas it is important to consider the diversity and activity of soil microbiota in oak communities. In this research, we consider two aspects concerning the oaks present at the Altiplano Potosino-Zacatecano. The first of them with respect to the distribution and identifying the species of oak. The second, concerning the identification of species of ectomycorrhizal fungi (ECM) associated with the oak, and the characterization of the ectomycorrhizal symbiosis of *Astraeus hygrometricus* and *Quercus tinkhamii* (*Q. tinkhamii*). We selected six areas of sampling: Cerro el Peñón Blanco, Sierra de Guanamé, Sierra La Mojonera in San Luis Potosí, and Sierra de San Miguel, Mesa de La Difunta y Cerro Los Licenciados, located in Zacatecas. Settled traverse in which were sampled branches of Oaks, for subsequent identification. In addition, seven sampling plots were established in the Cerro el Peñón Blanco and Sierra de Guanamé, in which was recorded the floristic composition of each site, the number of species present companions to determine through indexing of Margalef richness, diversity dare the Shannon-Wiener index, as well as the density of species. Fruiting bodies, fine roots of oak and soil were collected. Identification of morphotypes, was performed using the DEEMY system. *Q. tinkhamii* plants were inoculated with the fungus ECM *A. hygrometricus*. Samples of soil texture, pH, organic matter, total nitrogen and phosphorus (P) was determined. Ten species were recorded, *Q.*

tinkhamii, *Q. potosina*, *Q. striatula*, *Q. grisea*, *Q. greggii*, *Q. pringlei* y *Q. microphylla*, *Q. jonesii*, *Q. eduardii* y *Q. saltillensis*. *Quercus potosina* and *Q. eduardii* were the most distributed species within the study area. The richness and diversity of species, as well as the total abundance was highest in the Sierra de Guanamé. In addition, five species and a morphotype of ectomycorrhizal fungi were identified, these species were associated with six species of oaks. Is recorded for the first time the ECM symbiosis of *Cenococcum geophilum* on roots of *Q. potosina* and *Q. striatula*, and showed the symbiosis ectomycorrhizic of *A. hygrometricus* in *Q.tinkhamii*. The diversity of the genus *Quercus* in relict oaks located in the Altiplano Potosino- Zacatecano, has persisted despite the anthropic pressure, in addition to this, the presence of ECM fungi associated with these relict oaks, is evidence of soil-tree interface that has persisted despite the disturbance conditions.

Keywords: Semi-arid zones, upland, isolated mountains, relict forest, symbiosis.

*PARA MIS PADRES Y HERMANOS, CON MUCHO CARIÑO,
ADMIRACIÓN Y RESPETO.*

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a mis angelitos en el Cielo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por haberme otorgado el recurso económico para el desarrollo de la presente investigación. A la Microrregión de Atención Prioritaria Salinas, MAP-SALINAS, del Campus San Luis Potosí-ColPos, por el apoyo otorgado para realizar parte de la investigación.

Al Dr. Jorge Alberto Flores Cano, por seguir formando parte de mi desarrollo profesional y personal. Al Dr. Juan Felipe Martínez Montoya, por brindarme en todo momento su apoyo, comprensión y confianza. Gracias por demostrarme que ante todo está la humildad. A la Dra. Margarita Torres Aquino, Dr. Jorge Palacio Núñez y al Dr. Genaro Olmos Oropeza, muchas gracias por sus consideraciones y paciencia.

**A TODOS Y CADA UNO DE LOS MIEMBROS DE MI CONSEJO PARTICULAR,
GRACIAS POR SU CONFIANZA.**

Al Dr. Jesús Pérez Moreno, al igual que a la Dra. Magdalena Martínez Reyes y al M.C. Faustino Hernández Santiago, del Departamento de Edafología del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, por su orientación y apoyo siempre que lo necesité. A los Herbarios Isidro Palacios de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Herbario Nacional de México, así como al Herbario de la Universidad Autónoma de Aguascalientes.

Al todo el personal que labora en el Colegio de Postgraduados Campus San Luis Potosí, profesores, administrativos, personal de aseo, vigilantes, trabajadores en general. Ya que si en algún momento solicité de sus servicios, nunca me fueron negados y siempre fui tratada con respeto. Gracias. A esas personas que solo Diosito sabe porque las puso en mi camino además de mis compañeros y amigos: Eddy Mendoza, Isaac Gastelum, Miguel Flores, Nallely del Río y Mariana Verástegui, por formar parte de esta maravillosa etapa.

CONTENIDO

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.2 OBJETIVOS	4
1.2.1 Objetivo general	4
1.2.2 Objetivos específicos	4
1.3 LITERATURA CITADA	5
CAPÍTULO II. DIVERSIDAD DEL GÉNERO <i>Quercus</i> EN EL ALTIPLANO POTOSINO-ZACATECANO	7
2.1 RESUMEN	7
2.2 ABSTRACT	9
2.3. INTRODUCCIÓN	10
2.4 MATERIALES Y MÉTODOS	10
2.4.1 Área de estudio	11
2.4.2 Recolecta de material botánico	13
2.4.3 Análisis de biodiversidad florística	14
2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
2.5.1 Diversidad del género <i>Quercus</i> en el Altiplano Potosino-Zacatecano	15
2.6 CONCLUSIONES	26
2.7 LITERATURA CITADA	27
CAPÍTULO III. DISTRIBUCIÓN DE HONGOS MICORRIZICOS EN TRES ENCINARES DEL ALTIPLANO POTOSINO-ZACATECANO	29
3.1 RESUMEN	29
3.2 ABSTRACT	31
3.3. INTRODUCCIÓN	32
3.4 MATERIALES Y MÉTODOS	33
3.4.1 Área de estudio	33
3.4.2 Recolecta e identificación de esporomas y morfotipos	34
3.4.3 Simbiosis ectomicorrízica.	34
3.4.4 Caracterización edáfica de las áreas de recolecta de <i>Astraeus hygrometricus</i>.	38

3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
3.5.1 Identificación de esporomas y morfotipos.	39
3.5.2 Simbiosis ectomicorrízica en <i>Q. tinkhamii</i>	46
3.5.3 Caracterización edáfica de los sitios con presencia de <i>A. hygrometricus</i>	46
3.6 CONCLUSIONES	48
3.7 LITERATURA CITADA	49
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES GENERALES	53
ANEXO I. ESPECIES DEL GÉNERO <i>Quercus</i> REGISTRADAS	56
ANEXO II. DESCRIPCIÓN DE ESPOROMAS Y MORFOTIPOS	61

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1 Características bióticas, abióticas y superficie de las áreas de muestreo.	12
Cuadro 2.2 Especies de <i>Quercus</i> identificadas en las seis áreas, así como el Herbario donde se cotejó la identificación.	16
Cuadro 2.3 Características principales y diferenciales de las diez especies registradas	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 2.4. Abundancia total, riqueza, índice de Margalef e índice de Shannon-Wiener (H') en las dos áreas de estudio.	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 3.1 Características bióticas y abióticas en las áreas de muestreo.	34
Cuadro 3.2 Esporomas y morfotipos recolectados en tres encinares del Altiplano Potosino-Zacatecano.	39
Cuadro 3. 3 Características químicas de los suelos donde se recolectó <i>A. hygrometricus</i> . Valores medios y desviación estándar para pH, materia orgánica (M.O. en %), nitrógeno total (Nt, en %) y fósforo (P, mg/kg ⁻¹). Literales diferentes muestran valores diferentes (p<0.05).	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Ubicación geográfica de las áreas de muestreo mostrando los estados y la Subprovincia Fisiográfica en la que se localizan.....	13
Figura 2.2. Modelo de muestreo propuesto por CONAFOR (2011), conformado por cuatro parcelas circulares de 400 m ² cada una.	15
Figura 2.3. Ganado caprino presente en la Sierra de Guanamé entre arbustos de <i>Q. tinkhamii</i>	18
Figura 2.4 Densidad de especies en la Sierra de Guanamé.	22
Figura 2.5 Densidad de especies en el Cerro El Peñón Blanco.....	22
Figura 2.6 Ramoneo sobre <i>Q. tinkhamii</i> en la Sierra de Guanamé.	25
Figura 3.1 Sistema de cultivo utilizado para contener los tubetes forestales.	35
Figura 3.2 Esporomas de <i>A. hygrometricus</i> en deshidratadora (izquierda). Inoculante de primera y segunda calidad contenidos en bolsas herméticas de plástico (derecha).	36
Figura 3.3 Inoculante en dilución (izquierda), así como el proceso de inoculación, utilizando una micropipeta (derecha)..	37
Figura 3.4 Selección de raíces de <i>Q. tinkhamii</i> no micorrizadas (izquierda) y micorrizadas (derecha).	38
Figura 3.5 Hongo ectomicorrízico <i>Amanita caesarea</i>	41
Figura 3.6 Hongo ectomicorrízico <i>Amanita</i> sp.	41
Figura 3.7 Hongo ectomicorrízico <i>Russula cyanoxantha</i>	42
Figura 3.8 Hongo ectomicorrízico <i>Helvella elastica</i>	42
Figura 3.9 Hongo ectomicorrízico <i>Astraeus hygrometricus</i>	43
Figura 3.10 Morfotipo del hongo ectomicorrízico <i>Cenococcum geophilum</i>	44
Figura 3.11 Morfotipo no identificado.	45
Figura 3.12 Hongos saprobios correspondientes al género <i>Hygrocybe</i> , <i>Tulostoma</i> y <i>Vascelum</i> (a, b y c, respectivamente).....	45

Figura 3 13 Cortes de raíces secundarias y terciarias en plantas de *Q. tinkhamii* no inoculadas vs. inoculadas con *A. hygrometricus*. a) Planta testigo con pelos radicales (pr), b) plantas inoculadas con inicio de pérdida de pelos radicales y c) pérdida total con tinción del micelio (mc) en las células corticales. 46

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN GENERAL

Los encinos pertenecen al género *Quercus*, el cual es el más numeroso de la familia Fagaceae, agrupando de 350 a 500 especies en todo el mundo. Están distribuidos ampliamente en zonas templadas, templado cálidas, tropicales e incluso áridas del hemisferio norte. Se extienden en América desde el sur de Canadá hasta Colombia. En el Viejo Mundo se encuentran en Europa y África, a través de la región Mediterránea, y en el sur y sureste de Asia, hasta Indonesia y Nueva Guinea (Nixon, 1984, 2006; Lesur *et al.*, 2015). En condiciones templadas y tropicales presentan crecimiento arbóreo, conformando comunidades boscosas, mientras que en condiciones áridas el crecimiento es arbustivo, formando matorrales densos (Valencia, 2004; Villarreal *et al.*, 2008). Las características biológicas comunes son: plantas leñosas, hojas coriáceas, presencia de bellotas, altura en forma arbórea de hasta 40 m y en arbustos de hasta 2 m (Arizaga, 2009). En México se presentan numerosas especies cuya distribución y diversidad está en función de las condiciones del entorno (Zavala-Chávez, 1998); es considerado el país con mayor riqueza y endemismo del género (Valencia, 2004; Nixon, 2006).

La importancia ecológica de los encinos reside en que son proveedores de servicios ambientales, dado que producen oxígeno, capturan dióxido de carbono, previenen o reducen la erosión del suelo, ayudan en la infiltración del agua al subsuelo y a la regulación del clima y son hospederos naturales (Arizaga, 2009). Debido a su diversidad, amplia distribución y abundancia, proporcionan refugio y alimento para numerosas especies faunísticas (McShea *et al.*, 2007). Muestran adaptaciones y capacidad para soportar sombra, sequía y otros factores de estrés (Larsen and Johnson, 1998), debido a lo cual son potencialmente útiles para reforestación (Torres *et al.*, 2009).

Entre los usos antrópicos de los encinares se describe el medicinal, alimenticio, obtención de colorantes y taninos, artesanal y forraje (Luna *et al.*, 2003). Su importancia económica reside en su potencial como materia prima para fabricar productos de buen valor económico como duelas, muebles y barricas de añejamiento, aunque fueron usados masivamente para la producción de durmientes (Arcia, 1979; Wiemann, 2010).

Más frecuentemente se utilizan como fuente de carbón, leña o celulosa (González, 1993), sin embargo, hay problemas de permanencia y conservación debido a que las áreas donde se presentan han estado siendo transformadas en pastizales para el ganado (Alfonso *et al.*, 2007). Pese a esto, en México aún no se han desarrollado programas de manejo y aprovechamiento sustentable (Arizaga, 2009), en parte por la falta de conocimiento sobre su distribución y condición (Zavala-Chávez, 1998).

En lo que respecta al Altiplano Potosino-Zacatecano, se han reportado comunidades vegetales compuestas principalmente de encinares arbustivos (CONAFOR, 2011). Rzedowski (1961) menciona la existencia de dichas comunidades y presenta un mapa de distribución y Sabás (2011) hace mención a la presencia de encinares arbustivos en el estado de San Luis Potosí. Sin embargo, en dichas revisiones no se cubre en su totalidad a la región, o no hace mención de las especies y la cartografía más reciente (INEGI, 2014) carece de dicha información. Con base a lo anterior, es evidente la falta de conocimiento respecto a la distribución y la diversidad de especies de encino en las comunidades vegetales arbustivas en el Altiplano Potosino-Zacatecano. El conocimiento de la distribución geográfica y de las relaciones especie-ambiente, considerando el hábitat y los factores asociados, es esencial para la toma de decisiones en la gestión y su conservación (Torres *et al.*, 2009).

En la evaluación de comunidades de encinares, es importante considerar la diversidad y actividad de la microbiota del suelo, debido a que contribuyen en la conservación, desarrollo y mantenimiento de la cubierta vegetal y por ende en la estabilidad y funcionamiento del ecosistema (Chapin and Mooney, 2002). En suelos forestales, los hongos ectomicorrízicos forman parte de la microbiota y establecen simbiosis con el género *Quercus* (Smith and Read, 2008). Debido a que los encinares son dominantes en numerosas comunidades vegetales, debe considerarse el estudio de sus interacciones con los hongos (Nixon, 2006). Esta interacción es una de las más importantes, desde el punto de vista ecológico y biogeográfico, y también la más abundante en los ecosistemas naturales (Allen *et al.*, 2003; Pérez-Moreno y Read, 2004); además, es obligatoria para el crecimiento y la supervivencia de ambas partes de la asociación (Müller *et al.*, 2006).

Se estima que en nuestro país hay 200 000 especies de hongos y que el conocimiento es de aproximadamente el 5% (Aguirre *et al.*, 2014). Sin embargo, sólo alrededor de 6 000 establecen simbiosis micorrízica con el 95% de las plantas vasculares (Smith and Read, 1997). La simbiosis ectomicorrízica (ECM) depende de la capacidad de los hongos simbioses para tomar nutrientes del suelo, como el nitrógeno orgánico e inorgánico en forma de amonio, nitratos, aminoácidos, proteínas y metabolitos secundarios (Smith and Read, 1997; Müller *et al.*, 2006); así como fósforo, potasio y calcio. En la relación simbiótica, el hongo proporciona a la planta estos minerales a cambio de carbohidratos, que son transportados a través de las raíces a nivel de la llamada red de Harting (Nehls, 2008). Para que la simbiosis ECM se establezca deben existir condiciones micro y macroambientales adecuadas (Francis y Read, 1994), entre las cuales se mencionan las edáficas y climáticas (Read, 1991). La diversidad y actividad de la microbiota del suelo es la base de uno de los mecanismos que más contribuye a la conservación, desarrollo y mantenimiento de la cubierta vegetal y, por ende, a la estabilidad y funcionamiento del ecosistema (Chapin and Mooney, 2002). Por esto, la riqueza de especies de los hongos asociados a los encinares es muy importante (Mendoza *et al.*, 2006). El género *Quercus* es uno de los dos taxas más importantes del país, donde los hongos ECM son un componente esencial de estas comunidades forestales (Tedersoo *et al.*, 2006). Con base a lo anterior, el presente trabajo aborda dos aspectos referentes a los encinares presentes en el Altiplano Potosino-Zacatecano: i) determinar las especies presentes y sus áreas de distribución y, ii) demostrar la asociación ectomicorrízica en dichos encinares.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Registrar la diversidad de especies de encino y sus interacciones ecológicas en algunos encinares relictos del Altiplano Potosino-Zacatecano.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar la distribución de los encinares en parte del Altiplano Potosino-Zacatecano.
- Identificar las especies de encino dentro del área de estudio.
- Identificar las especies de hongos ectomicorrízicos asociados a estos encinares.
- Caracterizar la simbiosis de *Astraeus hygrometricus* y *Quercus tinkhamii*.

1.3 LITERATURA CITADA

- Aguirre, C.E., Ulloa, M., Aguilar, S., Cifuentes, J., Valenzuela, R. 2012. Biodiversidad de hongos en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 85: 76-82
- Alfonso, C. C., Clark, T. R., Mendoza, A. 2007. Demography and management of two clonal oaks: *Quercus eduardii* and *Q. potosina* (Fagaceae) in central Mexico. *Forest Ecology and Management* 251: 129–141.
- Allen, M.F., Swenson, W., Querejeta, J.I., Egerton-Warburton, L.M., Treseder, K.K. 2003. Ecology of mycorrhizae: a conceptual framework for complex interactions among plants and fungi. *Annual Review of Phytopathology* 41: 271–303
- Arcia, G., 1979. Anatomía y características físicas de la madera de tres encinos del Estado de México. Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México.
- Arizaga, S. 2009. Manual de la biodiversidad de encinos michoacanos, Instituto Nacional de Ecología. 1era. Edición. México. 147 p.
- Chapin, F.S., Mooney, H.A. 2002. Principles of terrestrial ecosystem ecology, Springer-Verlag, New York, New York, USA. 398 p.
- CONAFOR. 2011. Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Comisión Nacional Forestal. México. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 288 p.
- Francis, R., Read, D. 1994. The contributions of mycorrhizal fungi to the determination of plant community structure. *Plant and Soil*. 159: 11–25.
- González, R. 1993. La diversidad de los encinos mexicanos. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*. 44: 125-142.
- INEGI, 2014. Conjunto de datos vectoriales de Uso del Suelo y Vegetación Escala 1:250 000, Serie V. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
- Larsen, D.R., Johnson, P.S. 1998. Linking the ecology of natural oak regeneration to silviculture. *Forest Ecology and Management*. 106: 1–7.
- Lesur, I., Le Provost, G., Bento, P., Da Silva, C., Leplé, J.-C., Murat, F., Ueno, S., Bartholomé, J., Lalanne, C., Ehrenmann, F. 2015. The oak gene expression atlas: insights into Fagaceae genome evolution and the discovery of genes regulated during bud dormancy release. *BMC Genomics*. 1:16-22.
- Luna, A., Montalvo, L., B, Rendón, B. 2003. Los Usos no leñosos de los encinos en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 72: 107-117
- McShea, W.J., Healy, W.M., Devers, P., Fearer, T., Koch, F.H., Stauffer, D., Waldon, J. 2007. Forestry matters: decline of oaks will impact wildlife in hardwood forests. *The Journal of Wildlife Management*. 71: 1717–1728.
- Mendoza, D. M., Zavala-Chávez, C. F., Estrada, M. E. 2006. Hongos asociados con encinos en la porción noroeste de la Sierra. *Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 12: 13-18.
- Müller, T., Avolio, M., Olivi, M., Benjdia, M., Rikirsch, E., Kasaras, A., Fitz, M., Chalot, M., Wipf, D. 2006. Nitrogen transport in the ectomycorrhiza association: the *Hebeloma cylindrosporum*–*Pinus pinaster* model. *Phytochemistry*. 68: 41–51.
- Nehls, U. 2008. Mastering ectomycorrhizal symbiosis: the impact of carbohydrates. *Journal of Experimental Botany*. 59:1097–1108.
- Nixon, K. C. 1984. A biosystematic study of *Quercus* series Virentes (the live oaks) with phylogenetic analyses of Fagales, Fagaceae and *Quercus*. PhD Dissertation. University of Texas at Austin. 169 p.

- Nixon, K. C. 2006. Ecology and Conservation of Neotropical Montane Oak. Ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg: Germany. pp. 3-15.
- Pérez-Moreno, J., Read, D.J. 2004. Los hongos ectomicorrízicos, lazos vivientes que conectan y nutren a los árboles en la naturaleza. *Interciencia*. 29: 239–247.
- Read, D.J. 1991. Mycorrhizas in ecosystems. *Experientia*, 47: 376–391.
- Rzedowski, R.J. 1961. La vegetación del estado de San Luis Potosí. Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 228 p.
- Sabás, R. L. 2011. Taxonomía, Diversidad y Distribución de los encinos (*Quercus* spp.) del Estado de San Luis Potosí. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias y Tecnologías Agrícolas, Pecuarias y de los Alimentos. (PCTAPA) Universidad Autónoma de Aguascalientes. 402 p.
- Smith, S.E., Read, D.J. 1997. Mycorrhizal symbiosis. 2nd. Ed. Academic Press (Elsevier), Oxford, England. 605 p.
- Smith, S.E., Read, D.J. 2008. Mycorrhizal symbiosis, 3rd Ed. Academic Press (Elsevier), Oxford, England. 605 p.
- Tedersoo, L., Suvi, T., Larsson, E., Kõljalg, U. 2006. Diversity and community structure of ectomycorrhizal fungi in a wooded meadow. *Mycological Research* 110: 734–748.
- Torres, M, M. de J., Báez, G. A., Maciel, L.H., Quezada, G. E., Sierra, J.S., Gaucherel, C., Houet, T. 2009. Gis-based modeling of the geographic distribution of *Quercus emoryi* Torr. (Fagaceae) in México and identification of significant environmental factors influencing the species' distribution. *Ecological Modelling*. 220: 3599–3611.
- Valencia, C. S. 2004. Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 75: 33-53.
- Villarreal, J.A., Encina, J.A., Carranza, M.A. 2008. Los encinos (*Quercus*: Fagaceae) de Coahuila, México. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas*. pp. 1235–1278.
- Wiemann, M.C. 2010. Characteristics and availability of commercially important woods. Wood handbook, wood as an engineering material. General Technical Report FPLGTR-190. FPL, Madison, Wisconsin. USA. 45 p.
- Zavala-Chávez -Chávez F. 1998. Observaciones sobre la distribución de encinos en México. *Polibotánica*. 8: 47-64.

CAPÍTULO II

DIVERSIDAD DEL GÉNERO *Quercus* EN EL ALTIPLANO POTOSINO-ZACATECANO

2.1 RESUMEN

En México se presenta la mayor diversidad y endemismo del género *Quercus*, el cual se presenta en condiciones templadas, tropicales y áridas; presenta forma preferentemente arbórea, pero en las zonas áridas es preferentemente arbustiva. A pesar de su extensa presencia y de su complejidad taxonómica, aún se desconoce con exactitud en número de especies presentes. Dentro de la región semiárida del Altiplano Potosino Zacatecano, se seleccionaron seis áreas de muestreo: Cerro el Peñón Blanco, Sierra de Guanamé, Sierra La Mojonera, Sierra de San Miguel, Mesa de La Difunta y Cerro Los Licenciados, en los estados de San Luis Potosí y Zacatecas. En estas áreas se determinó la distribución de encinares arbustivos relictos, además de la composición florística. Para ello se establecieron recorridos en los cuales se recolectaron partes arbóreas para su posterior identificación. En el Cerro el Peñón Blanco y la Sierra de Guanamé se establecieron siete parcelas de muestreo circulares de 400 m², en las cuales se registró el número de especies. Se determinó la riqueza de especies mediante el Índice de Margalef, diversidad a través del índice de Shannon-Wiener, así como la densidad poblacional de las especies. Dentro de estas, se registraron diez especies de encinos: *Q. tinkhamii* C. H. Mull., *Q. potosina* Trel., *Q. striatula* Trel., *Q. grisea* Liemb., *Q. greggii* Trel., *Q. pringlei* Seem. ex Loes. y *Q. microphylla* Née. (sección *Quercus*), *Q. jonesii* Trel., *Q. eduardii* Trel. y *Q. saltillensis* Trel. (sección *Lobatae*), siendo *Q. potosina* y *Q. eduardii* las especies más distribuidas dentro del área de estudio. El registro de *Q. greggii* amplía su distribución 147 km hacia el sur del Altiplano Potosino, en cambio, el registro de *Q. saltillensis* se considera nuevo para el estado de San Luis Potosí. La riqueza y diversidad de especies, así como la abundancia total fue mayor en la Sierra de Guanamé. La diversidad del género *Quercus* en encinares relictos localizados en el Altiplano Potosino Zacatecano ha persistido a pesar de la presión antrópica, sin embargo su futuro es incierto.

Palabras clave: Regiones semi-áridas, distribución poblacional, vegetación relictual, encinares arbustivos.

2.2 ABSTRACT

Mexico presents the greatest diversity and endemism of the *Quercus* genus which is able to develop in temperate, tropical, and arid conditions, their growth habit is arboreal or shrub. Despite its extensive presence and its taxonomic complexity, still unknown exactly in number of species present. In the semi-arid region of the Altiplano Potosino-Zacatecano, six areas of sampling were selected: Cerro Peñón Blanco, Sierra de Guanamé, Sierra La Mojonera, Sierra de San Miguel, Mesa de la Difunta and Cerro Los Licenciados, located in San Luis Potosí and Zacatecas. In these areas was determined the distribution of shrubs oak relic, besides the floristic composition. Settled traverse in which were sampled branches of trees, for subsequent identification. In the Cerro Peñón Blanco and Sierra Guanamé seven sampling plots circulars of 400 m²were established, of which the number of species present was recorded. Determined through indexing of Margalef richness, diversity across the Shannon-Wiener index, as well as the density of species. Ten species were recorded, *Quercus tinkhamii*, *Q. potosina*, *Q. striatula*, *Q. grisea*, *Q. greggii*, *Q. pringlei* y *Q. microphylla* (section *Quercus*), *Q. jonesii*, *Q. eduardii* y *Q. saltillensis* (section *Lobatae*), *Q. potosina* and *Q. eduardii* were the most distributed species within the study area. Registration of *Q. greggii* expands its distribution 147 km south of Potosi Altiplano, however, registration of *Q. saltillensis* is considered new for the state of San Luis Potosi. The richness and diversity of species, as well as the total abundance was highest in the Sierra de Guanamé. The diversity of the genus *Quercus* in relict oaks located in the Altiplano Potosino- Zacatecano, has persisted despite the anthropic pressure, but its persistence is uncertain.

Keywords: Semi-arid regions, population distribution, vegetation relict, oak shrubs

2.3. INTRODUCCIÓN

El género *Quercus* se localiza en la mayoría de los bosques templados del hemisferio norte, desde el sureste de Asia hasta Nueva Guinea, hasta Europa y norte de África, y en América se distribuye desde Canadá hasta Colombia. En México se reportan encinares en todo el país, excepto en Quintana Roo, en altitud de 0 a 3100 m (Rzedowski, 1978; Valencia, 2004). En México, a pesar de su extensa presencia, aún se desconoce con exactitud el número de especies presentes (Valencia, 2004). Se le encuentra en áreas de clima templado y semihúmedo, semiárido e incluso en regiones de clima caliente (Rodríguez y Romero, 2007). Frecuentemente presentan forma arbórea, pero también pueden ser arbustivos (Rzedowski, 1978).

Este género ha estado sujeto a revisión en la clasificación taxonómica (Romero, 2006); la más reciente es la propuesta por Nixon (1993), quien reconoce tres secciones: *Lobatae* (encino rojos), *Protobalanus* (encinos intermedios) y *Quercus* (encinos blancos). La cantidad de especies presentes en México es diversa, así para Nixon *et al.* (1993) existen de 135 a 150; González (1993) estima 213, para Zavala-Chávez (1995) pueden ser de 125 a 150 y para Valencia (2004) 161 especies, de las cuales 76 se ubican en la sección *Lobatae*, 81 en la sección *Quercus* y cuatro en la sección *Protobalanus*. Esta falta de exactitud se debe principalmente al desconocimiento de los aspectos biológicos básicos y a la complejidad taxonómica, así como a la relación con factores ambientales (Zavala-Chávez, 2003) y fisiografía (Valencia, 2004). Estos aspectos han ocasionado confusiones en la determinación de estas especies, haciendo necesario el estudio de las poblaciones de encinares en su hábitat (Rodríguez y Romero, 2007). Es por ello que el objetivo de este capítulo fue conocer la diversidad de especies de encino presentes en seis encinares relicto del Altiplano Potosino-Zacatecano, así como la composición botánica general.

2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

2.4.1 Área de estudio

La delimitación del área potencial de distribución de los encinares en el Altiplano Potosino-Zacatecano se realizó con base en revisión bibliográfica y cartográfica. Se utilizó el mapa de vegetación del estado de San Luis Potosí (Rzedowski, 1961); datos vectoriales del uso del suelo y vegetación escala 1:250 000; Uso del suelo y vegetación Serie V (INEGI, 2014); uso de suelo y vegetación modificado por CONABIO (CONABIO, 1999). Adicionalmente se consultó el Inventario Nacional Forestal y de Suelos (CONAFOR, 2011); el Programa Estratégico Forestal del Estado de San Luis Potosí (SEMARNAT, 2012b) y el Programa Estratégico Forestal del Estado de Zacatecas (SEMARNAT, 2013). La información cartográfica en formato vectorial se trabajó con el software ArcView® y el uso de ©Google Earth 2015. La distribución potencial de los encinares se verificó en campo.

Se seleccionaron seis áreas de muestreo en los estados de San Luis Potosí y Zacatecas. En el primero fue en el Cerro el Peñón Blanco (CPB), Sierra de Guanamé (SG) y la Sierra La Mojonera (SM), localizadas en los municipios de Salinas, Venado y Vanegas, respectivamente. En Zacatecas el estudio se realizó en la Sierra de San Miguel (SSM), Mesa de La Difunta (MD) y Cerro Los Licenciados (CLL), pertenecientes a los municipios de Villa González Ortega, Pinos y Ojocaliente, respectivamente. Cabe señalar que la Sierra La Mojonera se ubica también en el municipio Villa de Cos, Zacatecas (Cuadro 2.1). Las áreas de estudio se ubican en tres subprovincias fisiográficas (Figura 2.1): 1) Sierras Transversales, ubicada en la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Oriental, está constituida por sierras y bajadas colindantes de pendiente moderadas, con orientación norte-sur; es de origen sedimentario. 2) Llanuras y Sierras Potosino-Zacatecanas, se localiza en la Provincia Mesa del Centro, dominan extensos terrenos áridos con lomeríos en el noroeste y sierras bajas al sureste, con llanuras extensas a 2 000 m de altitud promedio, interrumpida por algunos cerros relictos, pequeñas sierras abruptas, llanuras de pisos rocosos y salinas. 3) Llanuras de Ojuelos-Aguascalientes, también pertenece a la Mesa del centro, se caracteriza por extensas llanuras con piso de caliche a altitud mayor a 2 000 m; predominan las rocas ígneas y las aguas corren a través de canales y arroyos interrumpidos por numerosos charcos y multitud de pequeños bordos (INEGI, 2010).

Cuadro 2.1. Características bióticas, abióticas y superficie de las áreas de muestreo.

Área	¹ Veg.	² Suelo	³ Tipo de roca	⁴ Clima	⁵ Prec. (mm)	Alt. (m)*	Sup tot. ha	Sup. Est. %
CPB	Pn VSa/BQ MC	Xh	Pórfido granítico	BS ₁ kw	335	2 526 a 2 760	582	20
SG	MDR MDM Pn	Xh E	Caliza-lutita y caliza-limolita	BS ₁ kw	446	2 130 a 2 380	6 756	20
SM	MDR VSa/MDM MDM	Xk I	Caliza-lutita y caliza-limolita	BS ₀ kw(x')	344	1 820 a 2 480	9 272	10
SSM	MC	XI	Ígnimbrita	BS ₁ kw	348	2 230 a 2 400	88	80
MD	Pn VSa/BQ MC	R I	Riolita	BS ₁ kw	329	2 100 a 2 570	2 230	40
CLL	VSa/MC	XI	Riolita	BS ₁ kw	369	2 130 a 2 380	115	30

¹ INEGI, 2014; ^{2,4} INEGI, 2010; ³ SGM, 2007; ⁵ CONAGUA, s/f.

Nota: **Vegetación (Veg.):** Pn: pastizal natural; VSa/BQ: vegetación secundaria arbustiva/bosque de encino; MC: matorral crasicaule; VSa/MC: vegetación secundaria arbustiva/ matorral crasicaule; MDR: matorral desértico rosetófilo; MDM: matorral desértico micrófilo; VSa/MDM: vegetación secundaria arbustiva/ matorral desértico micrófilo. **Suelo:** R: Regosol; Xh: Xerosol háplico; XI: Xerosol lúvico; Xk: Xerosol cálcico; I: Litosol. **Clima:** BS₁kw: semiseco templado; BS₀kw (x'): seco templado. **Precipitación en mm =Prec.); Intervalo de altitud en m = Alt.;**

*Intervalo de altitud en la que se realizó el muestreo y recolecta.

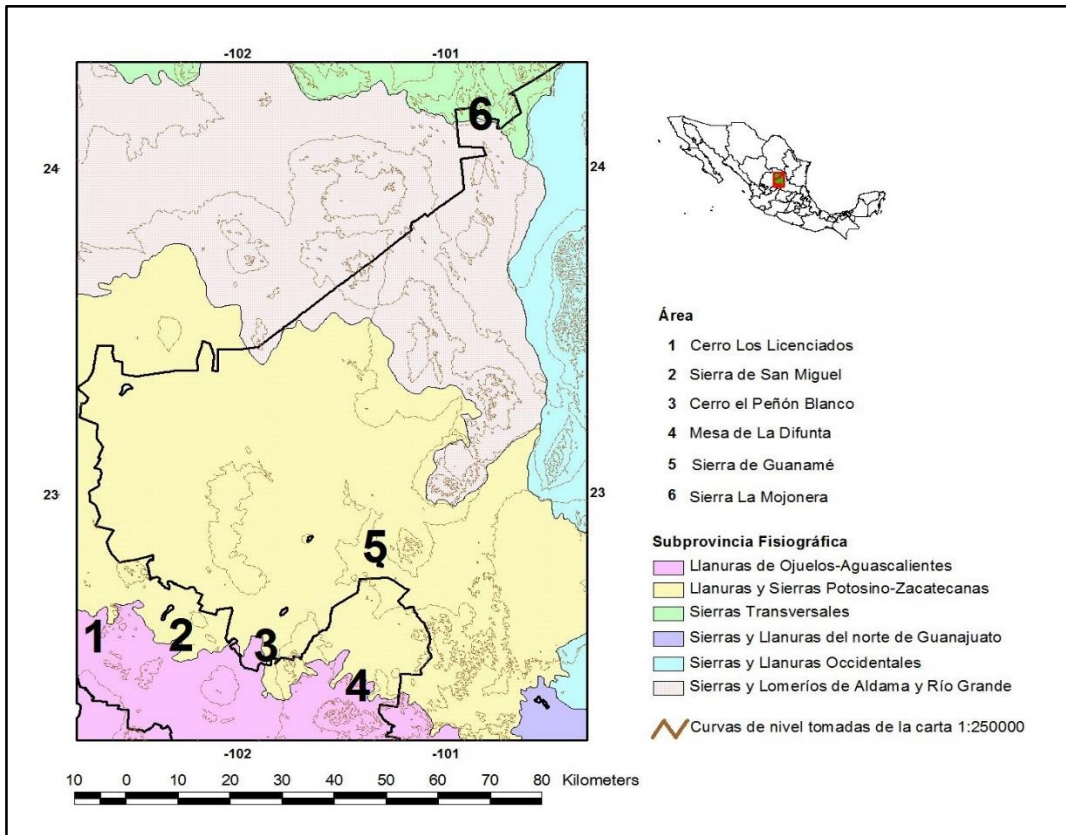


Figura 2.1. Ubicación geográfica de las áreas de muestreo mostrando los estados y la Subprovincia Fisiográfica en la que se localizan.

2.4.2 Recolección de material botánico

En cada área de muestreo durante los meses de marzo a julio de 2014 y de enero a abril de 2015, se establecieron de 2 a 3 recorridos al azar, de longitud variable (de 1 a 8 km) según la topografía. Se consideraron las partes altas, laderas y cañadas, todas con encinares. De cada especie de encino se eligieron y muestrearon cinco ramas, de aproximadamente 30 a 35 cm de longitud. Estas fueron colocadas en prensa botánica, deshidratadas a 35°C y montadas. Se tomaron datos de ubicación geográfica y exposición. Para su identificación se utilizaron las claves propuestas por Zavala-Chávez (2003). Además, se cotejó con colecciones de los Herbarios Isidro Palacios de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (SLPM), Herbario Nacional de México (MEXU), y el Herbario de la Universidad Autónoma de Aguascalientes (HUAA). Para su identificación se consideraron las características de la especie como son:

forma, margen, superficie, envés de las hojas, presencia de tricomas, nervaduras, color y forma arbórea o arbustiva.

2.4.3 Análisis de biodiversidad florística

Las áreas seleccionadas para realizar el análisis de biodiversidad fueron la Sierra de Guanamé y Cerro el Peñón Blanco, en cada una se trazaron siete parcelas circulares de 400 m² (Figura 2.2), según la técnica propuesta para zonas áridas y semiáridas por CONAFOR (2011). En cada una se registraron las especies presentes y con la información obtenida se determinó el Índice de Margalef ($D\alpha$) y para riqueza de especies (Margalef, 1977). Dónde: S = número de especies y N = número total de individuos. A mayor valor de $D\alpha$, mayor riqueza de especies.

$$D\alpha = S - 1/\log N$$

De igual manera se obtuvo la densidad (D), para la cual se consideró el número de individuos presentes (N) y la superficie muestreada (A).

$$D = N/A$$

Además, el índice de Shannon-Wiener (H') para diversidad de especies, el cual es uno de los más utilizados para determinar la diversidad de especies de un sitio (Mostacedo *et al*, 2000). Dónde: S = número de especies y P_i = proporción de individuos de la especie i. A mayor valor de H' mayor diversidad de especies $H' = -\sum_{i=1}^S P_i * \ln (P_i)$

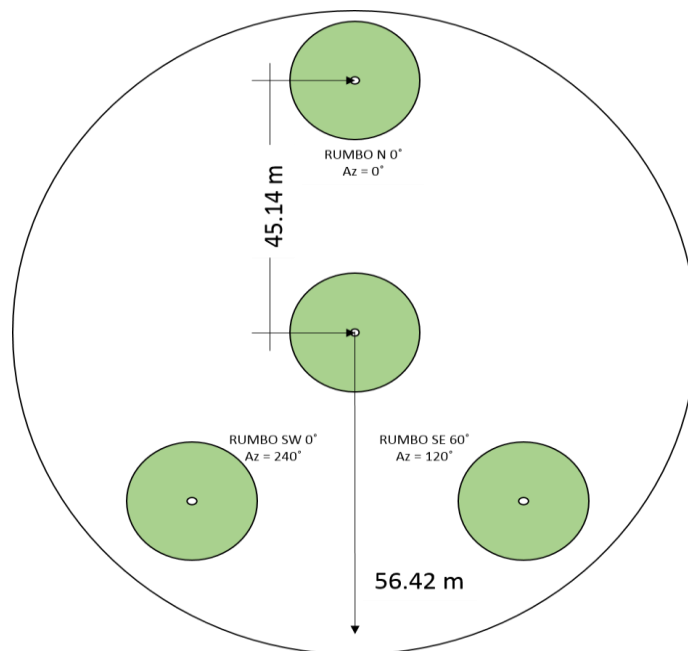


Figura 2.2. Modelo de muestreo propuesto por CONAFOR (2011), conformado por cuatro parcelas circulares de 400 m² cada una.

2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.5.1 Diversidad del género *Quercus* en el Altiplano Potosino-Zacatecano

Se realizó un muestreo de vegetación en seis áreas ubicadas en el Altiplano Potosino-Zacatecano, las cuales fueron delimitadas con base a revisión cartográfica y bibliográfica. Se registraron un total de diez especies, *Q. tinkhamii*, *Q. potosina*, *Q. striatula*, *Q. grisea*, *Q. greggii*, *Q. pringlei* y *Q. microphylla* (sección *Quercus*), *Q. jonesii*, *Q. eduardii* y *Q. saltillensis* (sección *Lobatae*). La Sierra de Guanamé presentó mayor número, con cinco especies, y la Sierra San Miguel, Cerro Los Licenciados y Mesa de La Difunta dos especies en cada una (Cuadro 2.2). Al respecto, Nixon *et al.* (1993) menciona que en México la sección *Quercus* tiene amplia tolerancia ecológica y es relativamente más diversa en áreas xéricas que la sección *Lobatae*, lo cual es congruente con los resultados obtenidos en el presente estudio.

Cuadro 2.2. Especies de *Quercus* identificadas en las seis áreas, así como el Herbario donde se cotejó la identificación.

Sitio	Especies	Intervalo de altitud m*	Herbario
CPB	<i>Q. jonesii</i>	2 635 - 2 758	SLPM
	<i>Q. eduardii</i>	2 655 - 2741	HUAA
	<i>Q. potosina</i>	2 625 - 2 746	MEXU
	<i>Q. greggii</i>	2 694 - 2 739	
SG	<i>Q. tinkhamii</i>	2 192 - 2 357	
	<i>Q. striatula</i>	2 366	SLPM
	<i>Q. pringlei</i>	2 300 - 2 330	HUAA
	<i>Q. eduardii</i>	2 295	
SM	<i>Q. saltillensis</i>	2 254 - 2 354	
	<i>Q. striatula</i>	2 230 - 2 284	
SSM	<i>Q. microphylla</i>	2 163 - 2 215	MEXU
	<i>Q. potosina</i>	2 246 - 2 385	
MD	<i>Q. grisea</i>	2 369	HUAA
	<i>Q. eduardii</i>	2 256 - 2 420	
CLL	<i>Q. potosina</i>	2 246 - 2 416	HUAA
	<i>Q. grisea</i>	2 290 - 2 366	
	<i>Q. potosina</i>	2 298 - 2 380	HUAA

Nota: SLPM: Herbario Isidro Palacios de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí; HUAA: Herbario de la Universidad Autónoma de Aguascalientes; MEXU: Herbario Nacional de México.

*Intervalo de altitud en el cual se localizaron las especies.

Quercus potosina y *Q. eduardii* fueron las especies más distribuidas dentro del área de estudio. La primera se localizó en CPB, SSM, MD y CLL, y la segunda en CPB, SG y MD. Ambas son endémicas de México, su distribución comprende hábitats heterogéneos en cadenas montañosas de la zona Centro-Norte del país (Alfonso, 2004). Ambas especies se han reportado en los estados de San Luis Potosí y Zacatecas; sin embargo, no mencionan las localidades y las características del hábitat (clima, suelo y vegetación) en las que fueron registradas. Sólo hay datos de altitud: en el caso de *Q. potosina* fue de 2 000 a 2 450 m, y de 1 500 a 2 650 m para *Q. eduardii* (González, 1993; Zavala-Chávez, 2003; Valencia 2004). Rzedowski (1961) menciona a *Q. potosina* como una de las especies dominantes de los matorrales arbustivos en el Altiplano Potosino. Respecto a *Q. eduardii*, Giménez y González (2011) la reporta en Sierra de Catorce, al norte del estado de San Luis Potosí.

Quercus grisea se presentó en dos áreas, SSM y CLL, ambas ubicadas en el estado de Zacatecas. Esta especie se considera de distribución media a amplia en el territorio nacional (Valencia, 2004), y se ha registrado para el estado de Zacatecas a altitud de 1 500 a 2 200 m

(González, 1993; Zavala-Chávez, 2003). *Quercus tinkhamii* y *Q. jonesii* se presentaron únicamente en San Luis Potosí, en CPB y SG. Ambas están registradas por Valencia (2004), pero sólo hace mención a que *Q. jonesii* se localiza a altitud de 1 550 a 2 300 m. En lo que respecta a *Q. tinkhamii*, Rzedowski (1961) menciona que se localiza en el municipio de Venado, lo cual concuerda con el registro de la presente investigación.

Quercus greggii sólo se registró en CPB, a pesar de ser considerada una especie de distribución amplia a mediana en el territorio nacional (Valencia, 2004). Diversos autores mencionan que se distribuye en el Altiplano Potosino, en altitud de 2 600 a 3 200 m (Giménez y González, 2011), de 1 980 a 2 891 m (Sabás, 2011) y de 2 000 a 2 900 (Valencia, 2004). Cabe destacar que en la presente investigación, esta especie amplía su distribución 147 km hacia el sur del Altiplano Potosino, desde su anterior registro en el municipio de Catorce (Giménez y González, 2011).

Quercus striatula se encontró en SG y SM. Ha sido reportada por Valencia (2004) y por Giménez y González (2011) en ambos estados; estos autores mencionan que las alteraciones de comunidades vegetales por deforestación, fuego o sobrepastoreo dan paso a chaparrales de esta especie. El pastoreo es una actividad muy común en Sierra de Guanamé (S.L.P.), la presencia de ganado mayormente caprino (Figura 2.3), se observó en cada recorrido.



Figura 2.3. Ganado caprino presente en la Sierra de Guanamé entre arbustos de *Q. tinkhamii*.

La especie *Q. pringlei* se presentó en SG, lo cual coincide con lo reportado por Rzedowski (1961), González (1993), Zavala-Chávez (2003) y Giménez y González (2011), quienes mencionan que a medida que disminuye la altitud, los chaparrales de *Q. striatula* suelen ser sustituidos por comunidades de *Q. pringlei*. Este hecho se observó en Sierra de Guanamé. Respecto a *Q. saltillensis*, igualmente se encontró en SG a una altitud de 2 200 m. Esta especie sólo se ha registrado en los estados de Coahuila y Nuevo León (Zavala-Chávez, 2003; Valencia, 2004; Villareal *et al.*, 2008) en altitud de 1 900 a 2 400 m, por lo que nuestro registro en la Sierra de Guanamé se considera como nuevo para el estado de San Luis Potosí. *Quercus microphylla* fue registrada en Sierra La Mojonera. Rzedowski (1961) refiere que esta especie es común del matorral arbustivo en el Altiplano Potosino, donde Valencia (2004) la reporta a altitud de 2 000 a 2 500 m, además de que es una especie de distribución amplia.

En relación con el encinar arbustivo o chaparral, Rzedowski (1978) lo describió en el Altiplano Potosino, menciona que se desarrolla en clima intermedio entre el árido (vegetación

de matorrales desérticos) y el semi-húmedo (vegetación de los encinares y pinares), se desarrolla siempre en altitud superior a 1 500 m. Nuestros resultados coinciden con lo anterior, ya que este tipo de vegetación se encontró en clima BS y altitud superior a los 1 800 m. De igual manera Rzedowski (1961) indica que en municipios como Salinas y Venado se localizan encinares arbustivos de *Q. potosina*, *Q. tinkhamii* y *Q. pringlei*.

Las diez especies registradas en la presente investigación, mostraron características biológicas propias del género *Quercus*, las cuales son: plantas leñosas, hojas coriáceas, presencia de bellotas y hábito de crecimiento arbóreo o arbustivo (Arizaga, 2009). Dichas características, las cuales se enlistan a continuación (Cuadro 2.3), fueron consideradas al momento de su identificación.

Cuadro 2.3. Características principales y diferenciales de las diez especies registradas

Especie	* F.V.	Hoja	¹Haz y ²envés	Fruto	Ref.
<i>Q. potosina</i>	¹ Árbol	Oblongo obovadas u oblongo-elípticas, y coriáceas. Margen revuelto y grueso.	¹ Lustroso, con pelos fasciculados. ² Glauco-ceroso, opaco	Anual, nuez ovoide de 12-15 mm de largo y 8-12 mm de diámetro.	1 y 2
<i>Q. eduardii</i>	¹ Árbol	Oblongo-elípticas, rígidas, generalmente deciduas y coriáceas. Margen plano a ligeramente revuelto.	¹ Verde olivo a verde pálido. ² Más claro que el haz, lustroso e incoloro.	Anual, nuez ovoide de 10 mm de longitud y 8-12 mm de diámetro.	3
<i>Q. grisea</i>	¹ Arbusto	Elípticas a elíptico oblanceoladas o elíptico obovadas, deciduas o subpersistentes. Margen plano a ligeramente revuelto y coriáceas.	¹ Verde opaco. ² Verde grisáceo o blanquecino opaco con pelos multirradiados muy esparcidos y diminutos.	Anual, nuez ovoide de 12-18 mm de longitud y 8-12 mm de diámetro.	1 y 2
<i>Q. jonesii</i>	¹ Árbol	Obovadas, ovadas o suborbiculares, generalmente	¹ Haz endurecido y un tanto lustroso. ² Pálido de color	Anual, nuez ovoide de 8-10 mm de	4

Cuadro 2.3. Características principales y diferenciales de las diez especies registradas

Especie	* F.V.	Hoja	¹ Haz y ² envés	Fruto	Ref.
		deciduas y coriáceas. Margen plano a variablemente revoluto.	amarillento, con frecuencia coloreado por la pubescencia glandular-granular.	longitud y 5-8 mm de diámetro.	
<i>Q. greggii</i>	¹ Arbusto	Obovadas, obovadas u oblongo-elípticas y coriáceas. Margen engrosado, revoluto, entero.	¹ Verde olivo, ligeramente oscuro, rugoso y ligeramente lustroso. ² Algo glauco y reticulado.	Anual, nuez ovoide de 18 mm de longitud y 9-12 mm de diámetro.	5
<i>Q. tinkhamii</i>	² Arbusto o ¹ árbol	Oblongo-elípticas, oblongo obovadas y subcoriáceas. Margen plano a ligeramente revoluto.	¹ Verde pálido a olivo, generalmente lustroso y reticulado. ² Ligeramente reticulado, papiloso y lustroso.	Anual, nuez ovoide de 12-16 mm de longitud y 8-13 mm de diámetro.	5
<i>Q. striatula</i>	² Arbusto	Elíptico u oblongo obovadas y subcoriáceas. Margen plano a ligeramente revoluto en ocasiones ondulado.	¹ Opaco a poco lustroso, verde a verde grisáceo. ² Ligeramente pálido o glauco con indumento gris-amarillento.	Anual, nuez ovoide de 8-12 mm de longitud y 7-10 mm de diámetro.	2
<i>Q. pringlei</i>	² Arbusto o ¹ árbol.	Lanceolada a elíptico u oblongo lanceolada y subcoriáceas. Margen algo engrosado, revoluto o plano, entero, denticulado, a toscamente dentado	¹ Verde olivo a ligeramente pálido o café, glabro lustroso. ² Verde azulado, con indumento fasciculado esparcido, glabrescente	Anual, nuez ovoide de 8-10 mm de longitud y 7-8 mm de diámetro.	2
<i>Q. saltillensis</i>	¹ Árbol	Lanceolados a oblongo-lanceolados y glabro. Margen cartilaginoso, plano, entero o con dientes.	¹ Verde oscuro, lustroso, glabrescente. ² Con indumento blanquecino, denso y glabrescente.	Anual, nuez ovoide de 8-15 mm de longitud y 6-9 mm de diámetro.	2

Cuadro 2.3. Características principales y diferenciales de las diez especies registradas

Especie	* F.V.	Hoja	¹ Haz y ² envés	Fruto	Ref.
<i>Q. microphylla</i>	² Arbusto	Lanceolada elíptica a elíptica ovada. Margen engrosado,	¹ Lustroso pubescente. ² Pubescente color gris.	Anual, nuez ovoide de 7-12 mm de longitud y 7-10 de diámetro.	1

*Forma vital según Raunkiaer (1934), en donde ¹fanerófito se refiere a arbusto o árbol > 2 a 50 m de altura y ²caméfito se refiere a arbusto > .5 a < 2 m de altura. Referencias (Ref.): 1 = Zavala-Chávez (2003); 2 = Villareal (2008); 3 = De la Cerda (1999); 4 = González (1986); 5 = Sabás, 2011.

3.5.2 Análisis de biodiversidad florística

Las áreas de muestreo seleccionadas para realizar los análisis de biodiversidad (riqueza y abundancia) fueron Sierra de Guanamé y Cerro El Peñón Blanco, ello debido a que tienen diferente sustrato geológico, la primera es de origen sedimentario y la segunda ígneo. En Guanamé la composición florística fue de 38 especies distribuidas en 26 géneros y 14 familias. La familia más representativa fue Cactaceae (15 taxa) y las especies con mayor densidad fueron *Agave lechuguilla* y *Q. tinkhamii* (Figura 2.4); sin embargo, INEGI (2010) menciona el tipo de vegetación que dominante es el matorral rosetófilo, lo cual coincide con la alta densidad poblacional de *A. lechuguilla*. Por su parte, en el Peñón Blanco la composición florística estuvo integrada por 15 especies, distribuidas en 13 géneros y 8 familias. La familia más representativa también fue Cactaceae (4 taxa), y las especies de mayor densidad fueron *Dalea bicolor* y *Stevia salicifolia* (Figura 2.5). Rzedowski (1961) menciona que en algunos sustratos calizos de los municipios del suroeste del estado de San Luis Potosí, se desarrolla el encinar arbustivo de *Q. tinkhamii* acompañado de varias especies, entre las que dominan las del género *Agave*. Con respecto a sustratos ígneos en los cuales, como el cerro El Peñón Blanco, el mismo autor menciona que los encinares arbustivos se componen de *Q. potosina*, acompañados por arbustos de los géneros *Dalea* y *Stevia*.

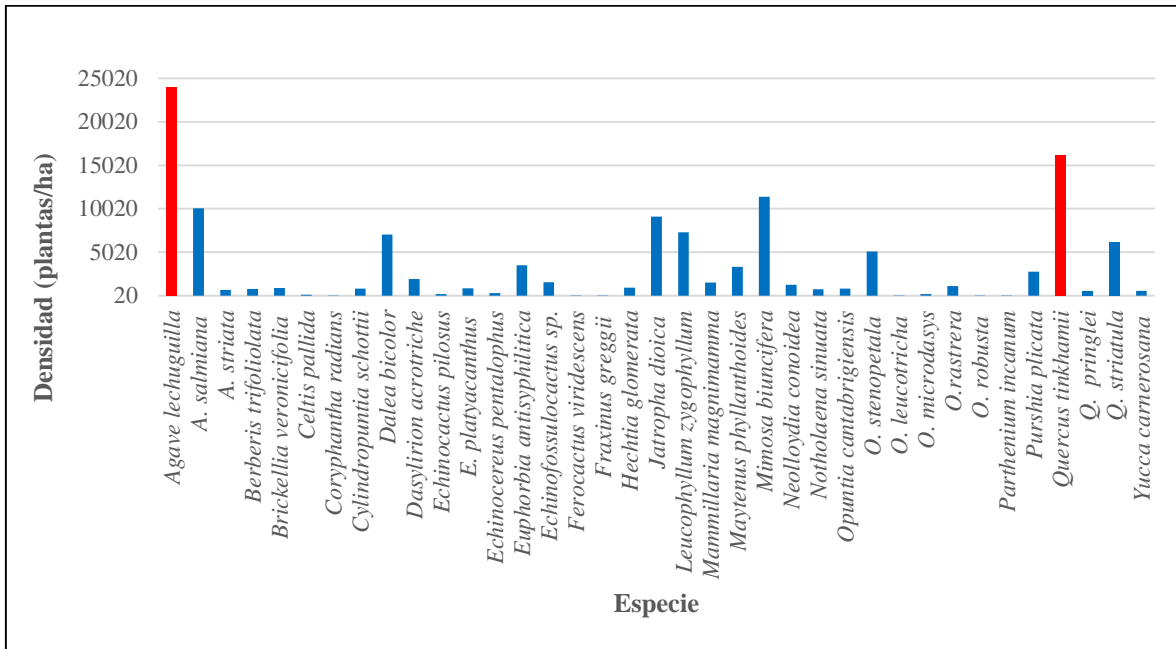


Figura 2.4. Densidad de especies en la Sierra de Guanamé.

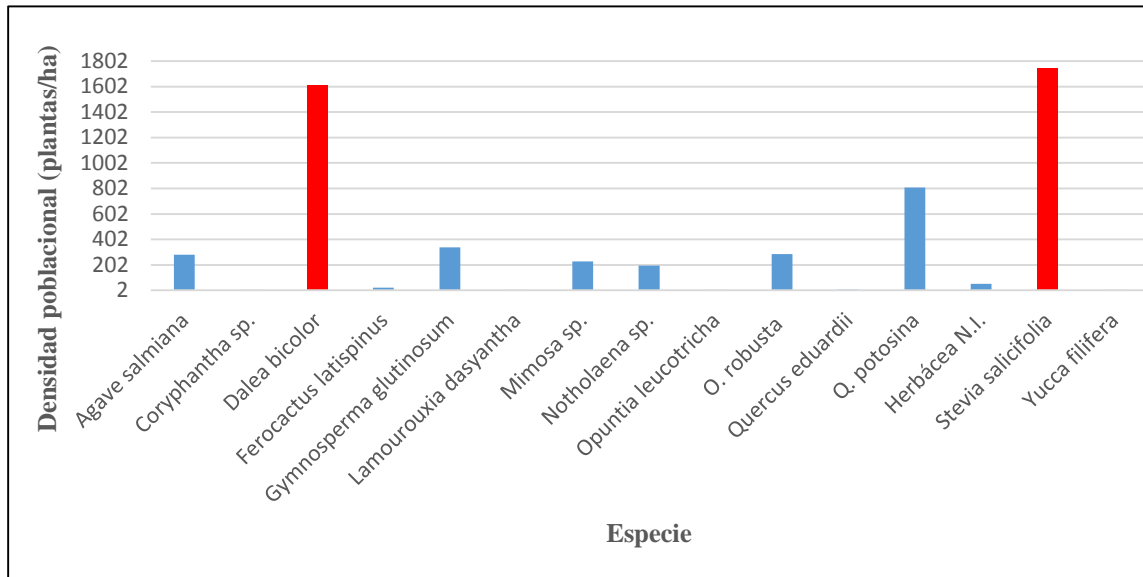


Figura 2.5. Densidad de especies en el Cerro El Peñón Blanco.

De acuerdo con los índices de Margalef y Shannon, la riqueza y diversidad de especies, así como la abundancia total y riqueza (número de especies), fue mayor en la Sierra de Guanamé (Cuadro 2.4).

Cuadro 2.4. Abundancia total, riqueza, índice de Margalef e índice de Shannon-Wiener (H') en las dos áreas de estudio.

Especie	Área	
	Sierra de Guanamé	Cerro El Peñón Blanco
<i>Agave lechuguilla</i>	960	–
<i>A. salmiana</i>	403	124
<i>A. striata</i>	28	–
<i>Berberis trifoliolata</i>	32	–
<i>Brickellia veronicifolia</i>	36	–
<i>Celtis pallida</i>	5	–
<i>Coryphantha radians</i>	2	–
<i>Coryphantha</i> sp.	–	2
<i>Cylindropuntia schottii</i>	33	–
<i>Dalea bicolor</i>	282	709
<i>Dasyllirion acrotriche</i>	78	–
<i>Echinocactus pilosus</i>	8	–
<i>E. platyacanthus</i>	35	–
<i>Echinocereus pentalophus</i>	13	–
<i>Echinofossulocactus</i> sp.	63	–
<i>Euphorbia antisiphilitica</i>	141	–
<i>Ferocactus latispinus</i>	–	10
<i>F. viridescens</i>	1	–
<i>Fraxinus greggii</i>	2	–
<i>Gymnosperma glutinosum</i>	–	150
<i>Hechtia glomerata</i>	38	–
Herbácea N.I.	–	23
<i>Jatropha dioica</i>	364	–
<i>Lamourouxia dasyantha</i>	–	3
<i>Leucophyllum zygomphyllum</i>	293	–
<i>Mammillaria magnimamma</i>	61	–
<i>Maytenus phyllanthoides</i>	134	–
<i>Mimosa biuncifera</i>	456	–
<i>Mimosa</i> sp.	–	101
<i>Neolloydia conoidea</i>	51	–
<i>Neolloydia</i> sp.	–	86

Cuadro 2.4. Abundancia total, riqueza, índice de Margalef e índice de Shannon-Wiener (H') en las dos áreas de estudio.

Especie	Área	
	Sierra de Guanamé	Cerro El Peñón Blanco
<i>Notholaena sinuata</i>	30	–
<i>Opuntia cantabrigiensis</i>	33	–
<i>O. stenopetala</i>	204	–
<i>O. leucotricha</i>	2	1
<i>O. microdasys</i>	8	–
<i>O. rastrera</i>	46	–
<i>O. robusta</i>	3	126
<i>Parthenium incanum</i>	2	–
<i>Purshia plicata</i>	111	–
<i>Q. pringlei</i>	24	–
<i>Q. striatula</i>	249	–
<i>Q. tinkhamii</i>	646	–
<i>Q. eduardii</i>	–	4
<i>Q. potosina</i>	–	356
<i>Stevia salicifolia</i>	–	768
<i>Yucca carnerosana</i>	24	–
<i>Y. filifera</i>	–	1
Abundancia total (n individuos)	4801	2464
Riqueza (n especies)	37	15
Índice de Margalef	9.8	4.1
Índice de Shannon-Wiener (H')	2.72	1.82

Cabe destacar que los gradientes altitudinales en los que se realizó el presente estudio oscilaron de 2 130 a 2 380 m en Sierra de Guanamé y 2 270 a 2 760 m en cerro el Peñón Blanco. Encina *et al.*, (2009) mencionan que la altitud es el factor ambiental que más influye en la riqueza y diversidad de especies vegetales; conforme disminuye la altitud, la riqueza y la diversidad de especies aumenta. Sin embargo, respecto al género *Quercus*, en este estudio todos los ejemplares de encino fueron localizados sólo a partir de 2 130 m dentro del Altiplano Potosino-Zacatecano.

La Sierra de Guanamé se localiza en uno de los tres municipios potosinos de mayor producción de ganado caprino, con fuerte tendencia al sobrepastoreo (INEGI, 2007). Bajo

esta condición, especies arbustivas y herbáceas colonizan el área, dando un cambio marcado en lo que fue paisaje forestal (Rey-Benayas, 1995; Encina *et al.*, 2009). Al respecto, Noy-Meir (2005) menciona que puede haber un incremento tanto en riqueza como en diversidad de especies arbustivas cuando existe algún tipo de disturbio, pero al mismo tiempo se presenta un efecto negativo sobre la flora nativa (disminución o extinción) de las especies más susceptibles al consumo y pisoteo por el ganado (Figura 2.6). Este efecto negativo se ha manifestado en zonas donde la vegetación arbórea ha disminuido para dar paso a vegetación arbustiva (Márquez, *et al.*, 2005). La sustitución de un bosque por arbustos tiene consecuencias ecológicas importantes, ya que el suelo queda más expuesto a los elementos, y es más fácil de erosionar (Márquez, *et al.*, 2005).



Figura 2.6. Ramoneo sobre *Q. tinkhamii* en la Sierra de Guanamé.

2.6 CONCLUSIONES

Se registraron diez especies del género *Quercus* en encinares relicto en porte del Altiplano Potosino-Zacatecano. Siete especies corresponden a la sección *Quercus* (blancos) y tres a *Lobatae* (rojos). En el estado de San Luis Potosí se registraron nueve especies, mientras que en Zacatecas sólo se registraron cuatro. La Sierra de Guanamé fue el área con mayor número de especies de encinos, de las cuales *Q. saltiliensis* es considerado nuevo registro para San Luis Potosí. De igual manera, en esta sierra se encontró la mayor riqueza, abundancia y diversidad de especies. En el Cerro del Peñón Blanco se registró a *Q. greggii*, lo cual amplía su distribución hacia el sur del Altiplano Potosino.

Es necesario continuar con investigaciones sobre la distribución *Quercus* sp. en zonas áridas, ya que el manejo-uso de estos ecosistemas está disminuyendo la superficie apta para los encinos. Además, se recomienda registrar y cartografiar la diversidad de especies, para de esta manera contribuir al conocimiento de uno de los taxos vegetales más importantes en México, aportar información para su conservación y proponer su aprovechamiento sustentable.

2.7 LITERATURA CITADA

- Alfonso, C. C. 2004. Ecología, manejo y conservación de *Quercus potosina* y *Q. eduardii* en Sierra Fría, Aguascalientes. Tesis Doctoral. Instituto de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 108 p.
- Arizaga, S., 2009. Manual de la biodiversidad de encinos michoacanos, Instituto Nacional de Ecología. 1era. Edición. México. 147 p.
- CONABIO. 1999. Uso de suelo y vegetación modificado por Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- CONAFOR. 2011. Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Comisión Nacional Forestal. México. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 288 p.
- CONAGUA. s/f. Normales climatológicas por estación, recuperado el 10 de noviembre de 2015. [http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75].
- De la cerda, M. 1999. Encinos de Aguascalientes. Universidad Autónoma de Aguascalientes. México. 84 p.
- Encina, J.A., Zárate, L. A., Estrada, C. E., Valdés, R. J., Villarreal, J.A. 2009. Composición y aspectos estructurales de los bosques de encino de la sierra de Zapalinamé, Coahuila, México. Acta botánica mexicana. 86: 71-108.
- Giménez, A. J., González, O.C. 2011. Pisos de vegetación de la Sierra de Catorce y territorios circundantes (San Luis Potosí, México). Acta Botánica Mexicana. 94: 91-123.
- González, L. M. 1986. Contribución al conocimiento del género *Quercus* (Fagaceae) en el estado de Jalisco. Colección Flora de Jalisco. Instituto de Botánica, Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México. 243 p.
- González, R. 1993. La diversidad de los encinos mexicanos. Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural. 44: 125-142.
- INEGI, 2014. Conjunto de datos vectoriales de Uso del Suelo y Vegetación Escala 1:250 000, Serie V. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
- INEGI. 2007. Regiones agropecuarias de San Luis Potosí, censo agropecuario 2007. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México. 61p.
- INEGI. 2010. Anuario Estadístico del Estado de San Luis Potosí. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México, p. 585.
- Margalef, R. 1977. Ecología. Ed. Omega. Barcelona, España. 951 p.
- Márquez, J., M, H. del C., Flores, R. C. 2005. Variación en semillas de *Quercus oleoides* Schl. de tres poblaciones del centro de Veracruz, México. Foresta Veracruzana. pp. 31-36
- Márquez, L. M., Treviño, G. E., Jurado, E., 2005. Reemplazo de áreas arboladas por chaparrales y comunidades herbáceas en el período 1970-2000 en una microcuenca de Durango, México. Investigaciones Geográficas. 58: 54-65.
- Mostacedo, B., Fredericksen, T. 2000. Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR). Santa Cruz, Bolivia. 92 pp.
- Nixon, K. C. 1993. Infrageneric classification of *Quercus* (Fagaceae) and typification of sectional names. Annales Des Sciences Forestières. 50: 25-34
- Nixon, K. C., Ramamoorthy, T. P., Bye, R., Lot, A., Fa, J. 1993. The genus *Quercus* in Mexico. Biological diversity of México: origins and distribution. pp. 447-458.

- Noy-Meir, I. 2005. Producción ganadera y conservación de la biodiversidad: conflictos y soluciones. 3rd Congreso de la Asociación Argentina para el Manejo de Pastizales Naturales. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. 6 p.
- Raunkiaer, C. 1934. The life forms of plants and statistical plant geography, Clarendon, Oxford.
- Rey Benayas, J. M. 1995. Patterns of diversity in the strata of boreal montane forest in British Columbia. *Journal of Vegetation Science*. 6: 95-98.
- Rodríguez, I. S., Romero, R. S. 2007. Arquitectura foliar de diez especies de encino (*Quercus*, Fagaceae) de México. *Acta Botánica Mexicana*. 81: 9-34.
- Romero, R. S. 2006. Revisión taxonómica del complejo Acutifoliae de *Quercus* (Fagaceae) con énfasis en su representación en México. *Acta Botánica Mexicana*. 78:1-45.
- Rzedowski, R. J. 1978. Vegetación de México. Ed. Limusa. México, D.F. 159 p.
- Rzedowski, R.J. 1961. La vegetación del estado de San Luis Potosí. Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 228 p.
- Sabás, R. L. 2011. Taxonomía, Diversidad y Distribución de los encinos (*Quercus* spp.) del Estado de San Luis Potosí. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias y Tecnologías Agrícolas, Pecuarias y de los Alimentos. (PCTAPA) Universidad Autónoma de Aguascalientes. 402 p.
- SEMARNAT. 2012. Programa Estratégico Forestal del Estado de San Luis Potosí. Comisión Nacional Forestal. México.
- SEMARNAT. 2013. Programa Estratégico Forestal del Estado de Zacatecas. Comisión Nacional Forestal. México.
- SGM.2007. Carta Geológico-Minera Servicio Geológico Nacional, recuperado el 19 de septiembre de 2015. [http://www.sgm.gob.mx/cartas/Cartas_Ed50.jsp].
- Valencia, C. S. 2004. Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*.75: 33-53.
- Villarreal, J.A., Encina, J.A., Carranza, M.A. 2008. Los encinos (*Quercus*: Fagaceae) de Coahuila, México. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas*. pp. 1235–1278.
- Zavala-Chávez -Chávez F. 1995. Encinos Hidalguenses. Ed. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo. 133 p.
- Zavala-Chávez -Chávez F. 2003. Identificación de encinos de México. Segunda edición. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Estado de México. 190 p.

CAPÍTULO III

DISTRIBUCIÓN DE HONGOS MICORRIZICOS EN TRES ENCINARES DEL ALTIPLANO POTOSINO-ZACATECANO

3.1 RESUMEN

A nivel país, México alberga la mayor diversidad de encinos (*Quercus*) del mundo. En el Altiplano Potosino-Zacatecano, de naturaleza semiárida, existen diversas especies de este género. Sin embargo, debido a presiones antrópicas, sólo existen poblaciones relictuales de especies básicamente con forma arbustiva. Ante esta situación de degradación, se requiere comprender las interacciones de los microorganismos, particularmente los ectomicorrízicos (ECM) que se asocian con *Quercus* sp. Estos hongos juegan un papel crucial en los ciclos biogeoquímicos, sin embargo, el conocimiento de estos en esta región es muy limitado. En el presente trabajo se caracterizaron varias especies de hongos ECM asociados a encinares, donde se demostró la simbiosis de *Astraeus hygrometricus* con *Q. tinkhamii*, así como la caracterización edáfica de los sitios de ocurrencia. Los encinares estudiados se ubicaron en: Cerro el Peñón Blanco (CPB), Sierra de Guanamé (SG) en San Luis Potosí, y la Sierra La Mojonera (SM), ubicada entre San Luis Potosí y Zacatecas. Se realizaron recorridos de campo donde se recolectaron cuerpos fructíferos (esporomas), raíces finas de encino y suelo. La identificación de morfotipos se realizó utilizando el sistema DEEMY. Se inocularon plantas de *Q. tinkhamii* con el hongo *A. hygrometricus*. De las muestras de suelo se determinó textura, pH, materia orgánica, nitrógeno total y fósforo (P), los cuales se sometieron a un análisis de varianza (ANAVA). Se identificaron cinco especies y un morfotipo de hongos ectomicorrízicos, las cuales estuvieron asociadas a seis especies de encino. Se registra por primera vez la asociación de *Cenococcum geophilum* en raíces de *Q. potosina* y *Q. striatula*. Se demostró la simbiosis ectomicorrízica de *A. hygrometricus* en *Q. tinkhamii*. Los análisis de suelos indicaron que *A. hygrometricus* prospera en textura de migajón arcilloso. El ANAVA demostró que existen diferencias respecto al pH y P. La presencia de hongos ECM asociados a encinares relicto de zonas áridas y semiáridas es evidencia de la interfase suelo-

árbol que ha persistido a pesar de las condiciones de perturbación encontradas en los sitios de estudio.

Palabras clave: Zonas áridas, serranías aisladas, bosques relictuales, ectomicorrizas.

3.2 ABSTRACT

At the country level, Mexico has the greatest diversity of oaks (*Quercus*) in the world. In the Altiplano Potosino-Zacatecano, semi-arid nature, there are several species of this genus. However, due to anthropogenic pressures, there are only remnants of this genre, and its usually bushy growth habit. In this situation of degradation, it is required to understand the interactions of microorganisms, particularly ectomycorrhizal (ECM) associated with *Quercus* sp. ECM fungi play a crucial role in the biogeochemical cycles, however, knowledge of these fungi in this region is limited. In the present work, characterized ECM fungi associated with oak shrubs, showed the ECM symbiosis of *Quercus tinkhamii* (*Q.tinkhamii*) with the fungus *Astraeus hygrometricus* (*A. hygrometricus*) and the soil characterization from sites where prosperous. The oak studied are located at: Cerro Peñón Blanco (CPB), Sierra de Guanamé (SG) and Sierra La Mojonera (SM), located in the states of San Luis Potosi and Zacatecas. Variable length traverse were conducted, fruiting bodies were collected, oak fine roots and soil. Identification of morphotypes, was performed using the DEEMY system. *Q. tinkhamii* plants were inoculated with the fungus ECM *A. hygrometricus*. Of the soil samples is determined texture, pH, organic matter, total nitrogen and phosphorus (P), which was subjected to an analysis of variance (ANOVA). Five species and a morphotype of ectomycorrhizal fungi were identified. These species were associated with six species of oaks. Register for the first time the ECM symbiosis of *Cenococcum geophilum* on roots of *Q. potosina* y *Q. striatula*. The symbiosis of *A. hygrometricus* ectomycorrhiza demonstrated in *Q. tinkhamii*. Soil analysis indicated that *A. hygrometricus* thrives on clay loam texture. The ANOVA showed that there are differences with respect to pH and P. The presence of ECM fungi associated with relict oaks of arid and semi-arid areas, is evidence of soil-tree interface that has persisted despite the disturbed conditions expressed in each study site of the present investigation.

Keywords: Arid regions, isolated mountain, relict forests, ectomycorrhiza.

3.3. INTRODUCCIÓN

La importancia en México del género *Quercus* radica principalmente en el hecho de que, junto con el género *Pinus*, constituye la mayor parte de la cubierta forestal de zonas templadas, proporcionando una amplia variedad de servicios ecológicos y económicos. Particularmente, *Quercus* sp. se presentan en áreas de clima templado y semihúmedo; sin embargo, no se limita a estas condiciones y está presente también en regiones de clima caliente e incluso en zonas áridas, formando matorrales xerófilos donde con frecuencia presenta forma arbustiva (Rzedowski, 1978). En estas zonas de naturaleza más restrictiva por la escases de agua, es importante considerar las interacciones biológicas, especialmente la simbiosis, que se presentan en el suelo. Algunas de estas se dan entre hongos, mismos que forman parte de la microbiota de los suelos forestales (Smith and Read, 2008). Los hongos ectomicorrízicos (ECM) son un componente esencial de la mayoría de las comunidades forestales (Tedersoo *et al.*, 2006), y juegan un papel clave en los ciclos biogeoquímicos, mantenimiento de la estructura del suelo (Baxter y Dighton, 2001; Jonsson *et al.*, 2001; Rilling y Mummey, 2006), estabilidad de las comunidades vegetales y productividad del ecosistema forestal (Read, 1993; Buscot *et al.*, 2000).

En la simbiosis ectomicorrízica se forman estructuras microscópicas en la zona de contacto entre el hongo y la planta (Brundrett, 2004). La micorriza se considera como una extensión de la raíz y como el componente más activo de los órganos vegetales en el proceso de absorción de nutrimentos, tales como: fósforo, micronutrimentos (Smith and Read, 2008), nitrógeno (Chalot y Bran, 1998) y agua (Walker, *et al.* 2005). Además, el micelio extrarradical puede conectar a varias plantas, incluso de distintas especies, formando una importante red subterránea de transporte entre plantas, que ayuda a minimizar las pérdidas de nutrientes del ecosistema (Pérez-Moreno y Read, 2004). El beneficio que obtienen los hongos simbioses se basa en la protección física ofrecida por la raíz y en la translocación de compuestos carbonados de la planta al hongo. En el caso de plántulas, el 30% de los asimilados fotosintéticos es transferida a los hongos ectomicorrízicos (Söderström, 2002). Smith and Read (1997) mencionan que *Quercus* es un fitobionte obligado de ECM.

El estudio de la biodiversidad de ECM en los ecosistemas forestales es un prerrequisito para el análisis funcional de su estructura (Smith *et al.*, 2003). En la actualidad se han descrito unas 6 000 especies de estos hongos, pertenecientes a los fila Basidiomycota y Ascomycota (Johnson *et al.*, 2005). Muchos de estos hongos forman cuerpos fructíferos (o esporomas), esporocarpos, epigeos o hipogeos. Sin embargo, estudios han demostrado que los muestreos de fructificaciones no reflejan la estructura de la comunidad ectomicorrízica (Durall *et al.*, 1999; Jonsson *et al.*, 2001; Peter *et al.*, 2001). Por ello, para una visión global de la comunidad ectomicorrízica es necesario estudiar a esta en conjunto, es decir, tanto fructificaciones como micorrizas (Kretzer *et al.*, 2004; Lian *et al.*, 2006). Una de las evidencias más importantes que demuestran la naturaleza ectomicorrízica de los hongos es la simbiosis en la planta hospedera (Rinaldi *et al.*, 2008). Con base a lo anterior, el presente estudio tuvo como objetivos: i) Identificar las especies de hongos ectomicorrízicos presentes en tres encinares del Altiplano Potosino-Zacatecano y, ii) demostrar la simbiosis ectomicorrízica del hongo nativo *Astraeus hygrometricus* con *Q. tinkhamii*.

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

3.4.1 Área de estudio

El presente estudio se realizó durante los meses de abril y septiembre de 2014, y agosto y septiembre de 2015 en tres encinares relicto ubicados en San Luis Potosí: Cerro El Peñón Blanco (CPB), Sierra de Guanamé (SG) y Sierra La Mojonera (SM), localizados en los municipios de Salinas, Venado y Vanegas, respectivamente. Cabe señalar que una porción de la Sierra La Mojonera pertenece al municipio Villa de Cos, Zacatecas. En cada área de muestreo se presentaron distintas características bióticas y abióticas (Cuadro 3.1).

Cuadro 3.1. Características bióticas y abióticas en las áreas de muestreo.

¹ INEGI, 2014; ^{2,4} INEGI, 2010; ³ SGM, 2007; ⁵ CONAGUA, s/f.

Área	¹ Veg.	² Suelo	³ Tipo de roca	⁴ Clima	⁵ Prec. (mm)	Intervalo de altitud*
SM	MDR VSa/MDM MDM	Xk I	Caliza lutita-caliza limolita	BS ₀ kw(x') BS ₁ kw	344	1 820 a 2 480
CPB	Pn VSa/BQ MC	I	Granito	BS ₁ kw	335	2 270 a 2 740
SG	MDR MDM Pn	Xh I	Caliza lutita- caliza limolita	BS ₁ kw	446	2 130 a 2 380

Nota: **Vegetación (Veg.):** Pn: pastizal natural; VSa/BQ: vegetación secundaria arbustiva/bosque de encino; MDR: matorral desértico rosetófilo; MDM: matorral desértico micrófilo; VSa/MDM: vegetación secundaria arbustiva/ matorral desértico micrófilo. **Suelo:** Xh: Xerosol háplico; Xk: Xerosol cálcico; I: Litosol. **Clima:** BS₁kw: semiseco templado; BS₀kw (x'): seco templado. **Precipitación en mm =Prec.**

*Intervalo de altitud en el cual se localizaron las especies.

3.4.2 Recolecta e identificación de esporomas y morfotipos

En cada sitio se hicieron recorridos de campo, en los cuales se localizaron y recolectaron esporomas, que es la parte del hongo que sobresale en la superficie del suelo, registrando sus características morfológicas, así como la especie de *Quercus* a la cual se consideró asociada (por ser la más cercana), de la cual se recolectaron raicillas finas. Adicionalmente, se registró la altitud en cada recolecta y otras variables, pero sólo se tomó en cuenta la altitud por ser considerada la más relevante. Cada muestra fue etiquetada y guardada en bolsa plástica para su posterior lavado y preservación en refrigeración hasta su análisis. La caracterización de las esporomas se realizó siguiendo las técnicas de micología propuestas por Largent *et al.* (1977). Para la determinación del grupo trófico se usaron los criterios propuestos por Rinaldi *et al.*, (2008). Los *morfotipos* se identificaron de acuerdo a lo propuesto por Agerer y Rambold (2011).

3.4.3 Simbiosis ectomicorrízica.

Se utilizó como simbionte fúngico al basidiomiceto *A. hygrometricus* y como planta hospedera a *Q. tinkhamii*, ambos provenientes de la Sierra de Guanamé. Previo a la inoculación, se preparó la semilla y el sustrato. Para esto, las semillas fueron lavadas en agua

corriente, enseguida fueron puestas en imbibición durante 24 h (el agua se cambió cada 7 horas). Posteriormente se escarificaron y desinfectaron con peróxido de hidrogeno (H_2O_2) al 30% en agitación constante durante 20 minutos y después se enjuagaron varias veces con agua destilada estéril hasta eliminar el H_2O_2 . Como contenedor se utilizaron tubetes forestales de plástico de 140 ml, previamente lavados con jabón comercial y esterilizado con alcohol al 96%. Estos fueron llenados al 80% de su capacidad con una mezcla de arena:suelo:corteza en proporción 2:2:1. Esta mezcla se esterilizó previamente con vapor de agua durante 48 h con un día posterior de reposo. Se establecieron dos tratamientos: 1) plántulas inoculadas y 2) plántulas no inoculadas. En cada tubete se sembró una semilla, posteriormente estos fueron depositados en el sistema de cultivo (Figura 3.1).

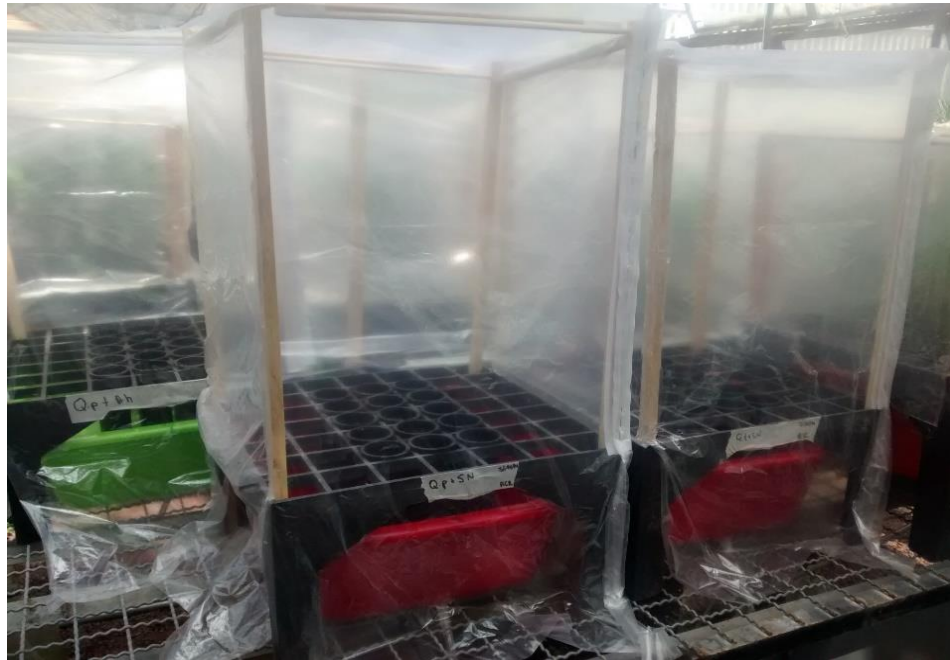


Figura 3.1. Sistema de cultivo utilizado para contener los tubetes forestales.

Para la germinación de la semilla se aplicaron riegos cada tercer día con agua destilada estéril, a la cual se le adicionó Captan[®] 2g para prevenir la presencia de hongos patógenos. Una vez que emergieron las plántulas, el riego fue con agua comercial, y se pasaron a invernadero. El inoculante se obtuvo de los esporomas de *A. hygrometricus*, los cuales se deshidrataron a 35 °C, molieron y separaron en primera y segunda calidad (esporas contenidas en el endoperidio

y exoperidio, respectivamente). Este se conservó en bolsas plásticas herméticas a 5 °C (Figura 3.2). La inoculación consistió en diluir 1g de inoculante en 2.5 ml de agua destilada estéril y, bajo condiciones de asepsia, se aplicó a las plántulas en dos tiempos: el primero a los 4 meses con esporas de primera calidad y el segundo a los 7 meses con esporas de segunda calidad. La concentración de esporas en cada inoculación fue de 5.477^7 . Las plántulas testigo se desarrollaron bajo las mismas condiciones (Figura 3.3).



Figura 3.2. Esporomas de *A. hygrometricus* en deshidratadora (izquierda). Inoculante de primera y segunda calidad contenidos en bolsas herméticas de plástico (derecha).

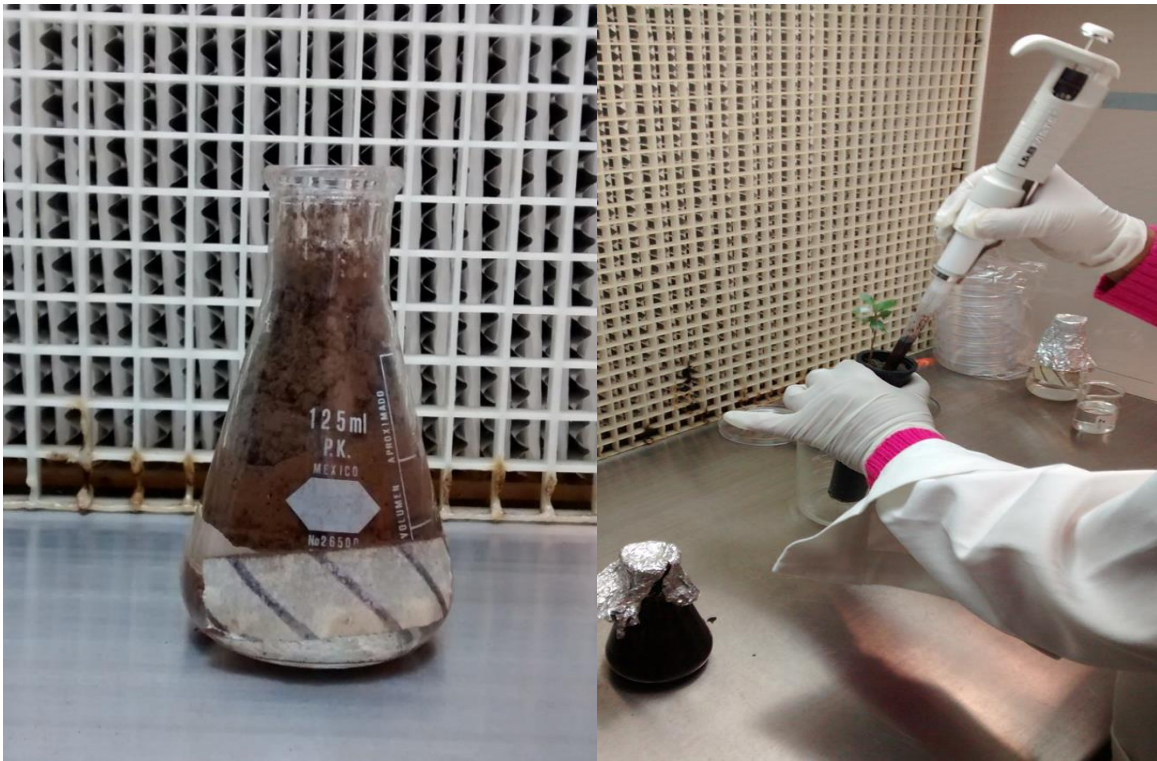


Figura 3.3. Inoculante en dilución (izquierda), así como el proceso de inoculación, utilizando una micropipeta (derecha).

A los cinco meses de la primera inoculación, las plantas inoculas y las testigo se extrajeron con precaución de su contenedor (Figura 3.4). Se utilizaron pinzas de disección para tomar las raíces y se colocaron en una caja Petri conteniendo agua destilada; enseguida se observaron en microscopio estereoscopio (LEICA EZ4D®). Con una aguja de 8mm y un bisturí se diseccionaron las raíces secundarias y terciarias en corte transversal. La disección se montó en un portaobjeto y se le colocó una gota de azul de tripano; la muestra se analizó utilizando un microscopio óptico (LEICA MD1000®).



.Figura 3.4. Selección de raíces de *Q. tinkhamii* no micorrizadas (izquierda) y micorrizadas (derecha).

3.4.4 Caracterización edáfica de las áreas de recolecta de *Astraeus hygrometricus*.

De mayo a julio de 2015 se realizó muestreo el suelo. Se tomó una muestra compuesta de suelo debajo de cada arbusto o árbol (del género *Quercus*) en donde se encontraron esporomas. Se tomaron submuestras en los cuatro puntos cardinales, a menos de un metro de distancia del tronco y a una profundidad de 20 cm, obteniendo así la muestra compuesta de aproximadamente un kg, la cual se depositó en una bolsa de plástico y se etiquetó de acuerdo al sitio de muestro. En total se recolectaron 19 muestras compuestas, las cuales fueron secadas a temperatura ambiente y posteriormente se tamizaron con malla de 2mm. Los análisis químicos y físicos se hicieron en el Laboratorio de Hidrociencias del Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados, donde se determinó la textura, materia orgánica (MO), nitrógeno total (NT) y fósforo (P). Con estos datos se realizó un análisis de varianza (ANAVA) para determinar las diferencias entre sitios de muestro y las variables pH, MO,

NT y P. Cuando hubo efectos significativos, se corrió la prueba de medias de Tukey ($P \leq 0.05$); esto se realizó mediante el uso del programa informático InfoStat® (Di Rienzo *et al.*, 2015).

3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.5.1 Identificación de esporomas y morfotipos.

En tres encinares relicto del Altiplano Potosino-Zacatecano se identificaron por primera vez a cinco especies y un morfotipo de hongos ectomicorrízicos, los cuales están incluidos en cinco géneros: *Russula*, *Astraeus*, *Amanita*, *Helvella* y *Cenococcum*; además se identificaron tres especies de hongos saprófitos (Cuadro 3.2).

Cuadro 3.2. Esporomas y morfotipos recolectados en tres encinares del Altiplano Potosino-Zacatecano.

Sitio	Especie de encino	Especie de hongo	Género trófico
CPB	<i>Q. potosina</i>	<i>Russula cyanoxantha</i>	*ECM
		<i>Cenococcum geophilum</i>	ECM
		<i>Astraeus hygrometricus</i>	
	<i>Q. jonessi</i>	<i>Amanita</i> sp.	ECM
SG	<i>Q. eduardii</i>	<i>A. caesarea</i>	ECM
		<i>Vascelum</i> sp.	Saprobio
	<i>Q. pringlei</i>	<i>Tulostoma</i> sp.	Saprobio
		<i>Hygrocybe</i> sp.	Saprobio
		<i>A. hygrometricus</i>	ECM
		<i>A. hygrometricus</i>	ECM
		<i>Helvella elastica</i>	ECM
SM	<i>Q. striatula</i>	<i>A. hygrometricus</i>	ECM
		<i>C. geophilum</i>	ECM

*ECM:=ectomicorrízico

Con respecto a los hongos ECM, el género con más especies fue *Amanita*, representado por *A. caesarea* (Figura 3.5) y otra especie no identificada (Figura 3.6); sólo se encontró en Peñón Blanco asociado a *Q. jonessi* y *Q. eduardii*. Los otros géneros de ECM están representados

por una sola especie cada uno: *Russula cyanoxantha* (Figura 3.7), *A. hygrometricus* y *Helvella elastica*. Al respecto, los géneros *Russula* y *Amanita* establecen simbiosis ectomicorrízica con diferentes especies de *Quercus* (Ignacio *et al.*, 2014). Han sido reportadas en encinares no perturbados (Carranza, 2006), aunque típicamente aparecen en sitios con alteraciones antrópicas. Respecto a condiciones climáticas, estas especies prosperan bajo condiciones de clima seco y semidesértico (Pardavé *et al.*, 2007), similar al área de estudio de este trabajo. Su presencia ha sido reportada en bosques al noroeste de la sierra de Pachuca, Hidalgo (Mendoza *et al.*, 2006).

El hongo *H. elastica* es una especie común de bosques mixtos de pino-encino de México (Landeros y Guzmán 2013), el cual tiende a desarrollarse en altitud de 2 000 a 3 400 m durante la temporada de lluvias (Vite *et al.*, 2006). Esta especie (Figura 3.8) se localizó en agosto en un intervalo de altitud de 2 130 a 2 380 m, mes que presenta los valores de precipitación más elevado (INEGI, 2010). La especie *A. hygrometricus* (Figura 3.9) fue la dominante debido a que se encontró en las tres áreas de estudio, asociada a cuatro especies de encino. Esta especie establece simbiosis con la familia *Fagaceae* (Kennedy *et al.*, 2012); puede ser dominante, o se adapta bien a ambientes con vegetación arbórea, tanto abierta como cerrada, y a diferentes condiciones de luz y humedad (Quiñonez *et al.*, 2008). Sin embargo, también se caracteriza por su capacidad para desarrollarse en suelos degradados y vegetación perturbada por actividades como el fuego dirigido y áreas abiertas a la ganadería (Kennedy *et al.*, 2012).

Otros estudios realizados en bosques de encino reportan a *Astraeus* sp. asociada con las especies *Q. crassifolia* (Carranza, 2006), *Q. glauca*, *Q. salicina* (Kayama y Yamanaka 2014), *Q. conspersa* y *Q. crassipes* (Ignacio *et al.*, 2014), lo cual no coincide con lo encontrado en la presente investigación; ya que las especies asociadas a este hongo fueron *Q. potosina*, *Q. pringlei*, *Q. tinkhamii* y *Q. striatula*. Otras investigaciones también registran la asociación entre estas plantas y este hongo, pero no especifican la especie de *Quercus* a la que se asocian (Pardavé *et al.*, 2007; Fangfuk *et al.*, 2010; Phosri *et al.*, 2013).



. **Figura 3.5.** Hongo ectomicorrízico *Amanita caesarea*



Figura 3.6. Hongo ectomicorrízico *Amanita* sp.



Figura 3.7. Hongo ectomicorrízico *Russula cyanoxantha*



Figura 3.8. Hongo ectomicorrízico *Helvella elastica*



Figura 3.9. Hongo ectomicorrízico *Astraeus hygrometricus*

El análisis de raicillas de encino permitió identificar un morfotipo en las áreas CPB y SM, el cual correspondió a *Cenococcum geophilum* (Figura 3.10) asociado *Q. potosina* y *Q. striatula*. No se encontró información previa sobre la asociación de este hongo con estas especies de *Quercus*, por lo cabe destacar que este resultado es considerado como nuevo registro. Este es uno de los hongos ectomicorrízicos con mayor distribución mundial, lo cual se ha interpretado como una especie de amplio nicho (Dickie, 2007). Puede ser dominante o codominante en un ecosistema rico en ECM (De Roman y De Miguel 2002; Richard *et al.* 2005). Se reporta que este hongo tolera amplias condiciones ambientales incluyendo sequía debido a que protege las raíces de la desecación y les permite permanecer funcionales hasta que se presenten eventos de precipitación (Jany *et al.* 2002 y Di Pietro *et al.* 2007) y alteraciones en su hábitat (Valdés *et al.*, 2009), y presenta una baja especificidad por la planta hospedera (Trapee, 1962, citado por Fernández y Koide. 2013), y se ha reportado que forma ectomicorriza con más de 200 especies de árboles pertenecientes a 40 géneros (Molina *et al.*, 1992).

Además de *C. geophilum*, se encontró otro morfotipo (Figura 3.11) asociado a raíces de *Q. potosina* y *Q. striatula*, sin embargo, no fue posible identificarlo con base a sus características morfológicas.

En el área de estudio también se encontraron hongos de los géneros *Hygrocybe*, *Tulostoma* y *Vascelum* (Figura 3.12). Estos han sido reportados en encinares Mexicanos, pero han sido poco estudiados, no obstante a que pueden desarrollarse en cualquier ambiente donde exista materia orgánica en descomposición (García, 2013). Son saprobios y no se reportan como ECM, por lo que aquí sólo se menciona su presencia.



Figura 3.10. Morfotipo del hongo ectomicorrízico *Cenococcum geophilum*.

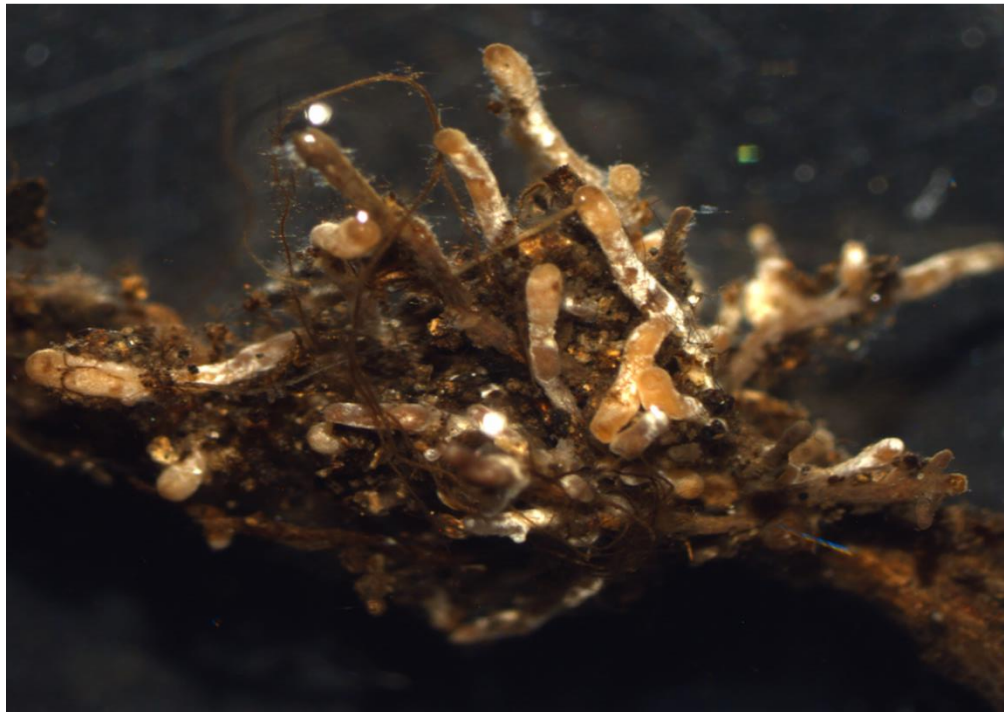


Figura 3.11. Morfotipo no identificado.



Figura 3.12. Hongos saprobios correspondientes al género *Hygrocybe*, *Tulostoma* y *Vascelum* (a, b y c, respectivamente).

3.5.2 Simbiosis ectomicorrízica en *Q. tinkhamii*

Se observó el inicio de pérdida y ausencia total de pelos radicales, mientras que en las plantas testigo los pelos radicales estaban presentes; en las plantas inoculadas se observó tinción de las hifas. Al respecto, Jiménez (2011) menciona que la formación de micorrizas inicia con la pérdida de pelos radicales en las raíces cortas secundarias jóvenes, y que los pelos son sustituidos por las hifas del hongo ectomicorrízico para penetrar los espacios intracelulares de las primeras células corticales. Tateishi *et al.*, (2003) inocularon semillas de *Q. sarata* y *Q. glauca* con el hongo ECM *Laccaria amethystina*, encontrando que existen cinco fases. En los primeros cinco meses después de la inoculación, se presentaron la fase I y II. En la fase I los pelos radicales aún estuvieron presentes, mientras que en la fase II fue notable la disminución de pelos radicales y dio inicio el crecimiento de hifas. Los procesos citados por ambos autores coinciden con los resultados obtenidos en el presente estudio, ya que se pudo observar a los cinco meses de la inoculación la pérdida de pelos radicales, así como el inicio de la formación de hifas (Figura 3.13).

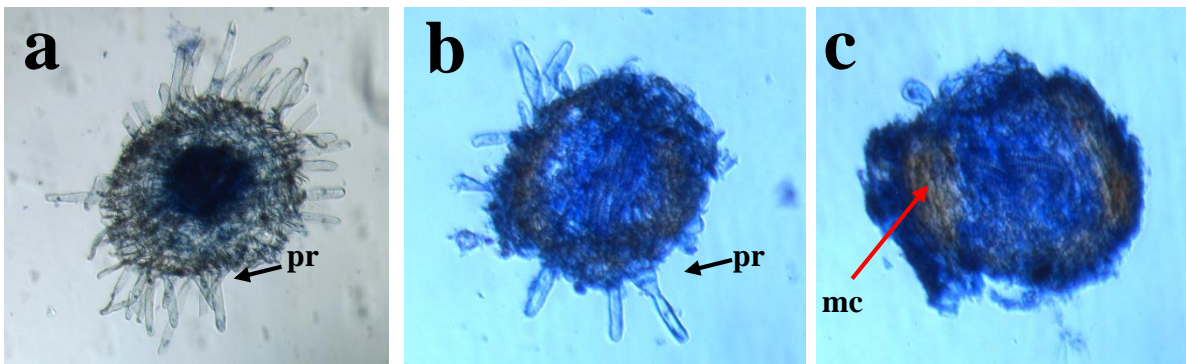


Figura 3 13. Cortes de raíces secundarias y terciarias en plantas de *Quercus tinkhamii* no inoculadas vs. inoculadas con *Astraeus hygrometricus*. a) Planta testigo con pelos radicales (pr), b) plantas inoculadas con inicio de pérdida de pelos radicales y c) pérdida total con tinción del micelio (mc) en las células corticales.

3.5.3 Caracterización edáfica de los sitios con presencia de *A. hygrometricus*

En el análisis de la textura del suelo se presentaron cuatro clases, donde el migajón arcilloso predominó, seguido de migajón arenoso, franco y arcilla. Al respecto Biswas *et al.*, (2010) refieren que este hongo crece en suelos de textura de migajón arenoso y Phorshi (2004, 2013)

menciona que *A. hygrometricus* se distribuye en suelos arenosos y climas secos de tierras bajas. Barroetaveña y Rajchenberg (2003) demostraron que las ectomicorrizas se desarrollan de manera favorable en suelos arcillosos debido a la capacidad que tienen las partículas de arcilla para retener agua. Sin embargo, factores tales como la sequía limitan la actividad fisiológica de los microorganismos y la difusión de nutrientes en el espacio poroso del suelo Robertson *et al.*, (1997).

Cabe mencionar que las condiciones climáticas así como la vegetación presente en CPB son distintas a las que se presentan en SG y SM. Respecto al análisis químico del suelo, los resultados se enlistan en el Cuadro 3.3. Se encontraron diferencias respecto a las variables pH ($P < 0.0001$) y fósforo ($P < 0.0012$) entre los sitios de muestreo. En el suelo, diferentes variables se combinan para establecer sus características. Por ejemplo, la temperatura y la humedad determinan el proceso de descomposición de MO en el suelo (Swift *et al.*, 1979), y esta constituye un factor importante para la estructura del mismo, la retención de humedad y el pH (Pérez-Moreno, 2010).

El pH fue diferente entre las tres áreas de muestreo, siendo mayor en CPB y menor en SM. El hongo ECM *A. hygrometricus* puede ser localizado debajo de los árboles en donde existen condiciones de humedad, acelerando la descomposición de las hojas (Nouhra *et al.*, 1998), lo que favorece la movilización de nutrientes que son absorbidos por los sistemas micorrízicos (Pérez-Moreno y Read, 2004). Este hongo prospera en pH de 4.2 con presencia de encinares (Kayama Yamanaka, 2014) y 5.0 a 6.0 en tierras secas (Biswas *et al.*, 2010). La materia orgánica y en nitrógeno total no mostraron diferencias entre las áreas de muestreo. Respecto al fósforo los resultados fueron más contrastantes, siendo marcadamente mayor en CPB, mientras que los otros sitios mostraron valores bajos. Al respecto, el aumento de MO compuesta mayormente por hojas de encino está estrechamente relacionado con el aumento de contenidos de fósforo (Arteaga y León, 2003), y la cantidad de hojarasca de este tipo fue mayor en CPB. En cuanto al Nt, no se mostraron diferencias, no obstante que se sabe que el contenido de nitrógeno en el suelo puede ser un factor decisivo para el establecimiento de la ectomicorriza (Meyer, 1973).

Cuadro 3.3. Características químicas de los suelos donde se recolectó *A. hygrometricus*. Valores medios y desviación estándar para pH, materia orgánica (M.O. en %), nitrógeno total (Nt, en %) y fósforo (P, mg/kg⁻¹). Literales diferentes muestran valores diferentes ($p < 0.05$).

Sitio	pH	M.O. (%)	Nt (%)	P (mg /Kg ⁻¹)
CPB	5.01 ^a ± 0.31	39.92 ± 16.50	2.00 ± 0.83	84.97 ^a ± 69.30
SM	7.83 ^b ± 0.08	32.71 ± 13.27	1.64 ± 0.66	0.55 ^b ± 0.64
SG	7.71 ^b ± 0.04	29.08 ± 6.20	1.45 ± 0.31	2.79 ^b ± 2.34

3.6 CONCLUSIONES

En el Altiplano Potosino se registraron seis especies de hongos ECM asociados a seis especies del género *Quercus*, además de tres especies de hongos saprobios.

El género de hongo ECM que presentó mayor número de especies fue *Amanita*, el cual se encontró asociado con *Q. jonessi* y *Q. eduardii*. Sin embargo, *A. hygrometricus* y *C. geophilum* fueron los hongos ECM que se presentaron en mayor proporción; *A. hygrometricus* se encontró en las tres áreas de muestreo, mientras que *C. geophilum* se encontró en dos.

Se demostró la simbiosis ectomicorrízica entre *Q. tinkhamii* y *A. hygrometricus*, aunque sólo se llegó a las primeras fases.

Respecto a *C. geophilum*, se registra por primera vez en encinares de *Q. potosina* y *Q. striatula*.

Las condiciones entre las áreas de muestreo fluctuaron. El sitio que obtuvo los valores más altos de materia orgánica, nitrógeno total y fósforo fue CPB, mientras los más bajos fueron en SM.

3.7 LITERATURA CITADA

- Agerer, R., Rambold, G. 2011. DEEMY. An Information System for Characterization and Determination of Ectomycorrhizae. München, Germany. <http://www.deemy.de/> . Consulta Agosto del 2015.
- Arteaga, M. B., León, S. A. 2003. Efecto de la mezcla de sustratos y fertilización sobre el crecimiento de *Pinus durangensis* Martínez en vivero. Foresta Veracruzana. México. pp. 9-16.
- Barroetaveña, C., Rajchenberg, M. 2003. Las micorrizas y la producción de plántulas de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en la Patagonia, Argentina. Bosque (Valdivia). 24: 3-15.
- Baxter, J. W., Dighton, J. 2001. Ectomycorrhizal diversity alters growth and nutrient acquisition of grey birch (*Betula populifolia*) seedlings in host-symbiont culture conditions. New Phytologist. 152:139-149.
- Biswas, G., Sarkar, S., Acharya, K. 2010. Free radical scavenging and anti-inflammatory activities of the extracts of *Astraeus hygrometricus* (Pers.) Morg. Latin American Journal of Pharmacy. 29:549-553.
- Brundrett, M. 2004. Diversity and classification of mycorrhizal associations. Biological Reviews. 79: 473-495.
- Buscot, F., Munch, J.C., Charcosset, J.Y., Gardes, M., Nehls, D., Hampp, R. 2000. Recent advances in exploring physiology and biodiversity of ectomycorrhizas highlight the functioning of these symbioses in ecosystems. FEMS Microbiology Review. 24: 601-614.
- Carranza, D. Z. 2006. Selección e identificación de especies de hongos ectomicorrizógenos del Estado de Hidalgo más competentes en medio de cultivo sólido. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Instituto de Ciencias Agropecuarias. 94 p.
- Chalot, M., Bran, A. 1998. Physiology of organic nitrogen acquisition by ectomycorrhizal fungi and ectomycorrhizas. FMES Microbiology Review 22: 21-44.
- CONAGUA. s/f. Normales climatológicas por estación, recuperado el 10 de noviembre de 2015. [http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75].
- De Roman, M., De Miguel, A. M. 2002. Post-fire dynamics of the ectomycorrhizal community in a *Quercus ilex* subsp. ballot forest. Fire and Biology Processes. Leiden, the Netherlands: Backhuys, pp 131-136.
- Di Pietro, M., Churin, J. L., Garbaye, J. 2007. Differential ability of ectomycorrhizas to survive drying. Mycorrhiza. 17: 547-550.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablad, M y Robledo, C.W. 2015. InfoStat versión 2015. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

- Dickie, I. A. 2007. Host preference, niches and fungal diversity. *New Phytologist*. 174: 230-233.
- Durall, D. M., Jones, M. D., Wright, E. F., Kroeger, P., Coates, K. D. 1999. Species richness of ectomycorrhizal fungi in cutblocks of different sizes in the Interior Cedar-Hemlock forests of northwestern British Columbia: sporocarps and ectomycorrhizae. *Canadian Journal of Forest Research*. 29:1322-1332.
- Fangfuk, W., Okada, K., Petchang, R., To-anun, C., Fukuda, M., Yamada, A. 2010. In vitro mycorrhization of edible *Astraeus* mushrooms and their morphological characterization. *Mycoscience*. 51: 234-241.
- Fernandez, C. W., Koide, R.T. 2013. The function of melanin in the ectomycorrhizal fungus *Cenococcum geophilum* under water stress. *Fungal Ecology*. 6:479-486.
- García, J. J. 2013. Diversidad de macromicetos en el Estado de Tamaulipas. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales. 254 p.
- Ignacio, R. N., Rangel, V. M., Cárdenas, C. I. 2014. Estructura del bosque y propagación de dos especies de encinos con micorrizas en el Estado de México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*. 4:137-146.
- INEGI, 2014. Conjunto de datos vectoriales de Uso del Suelo y Vegetación Escala 1:250 000, Serie V. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
- INEGI. 2010. Anuario Estadístico del Estado de San Luis Potosí. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México, p. 585.
- Jany, J. L., Garbaye, J., Martin, F. 2002. *Cenococcum geophilum* populations show a high degree of genetic diversity in beech forests. *New Phytologist*. 154: 651-659.
- Jiménez, R. M. 2011. Estudio etnomicológico y biotecnológico de hongos silvestres comestibles ectomicorrízicos en *Pinus pseudostrobus* y evaluación de bacterias promotoras de crecimiento vegetal. Tesis Maestría en Ciencias, especialista en Edafología-Colegio de Postgraduados. 109 p.
- Johnson, D., Ido, M., Genney, D. R., Anderson, I. C., Alexander, I. J. 2005. How do plants regulate the function, community structure, and diversity of mycorrhizal fungi? *Journal of Experimental Botany*. 56: 1751-1760.
- Jonsson, L. M., Nilsson, M. C., Wardle, D. A., Zackrisson, O. 2001. Context dependent effects of ectomycorrhizal species richness on tree seedling productivity. *Oikos*. 93: 353-364.
- Jonsson, L.M., Anders, D., Tor-Erik, B. 2000. Spatiotemporal distribution of an ectomycorrhizal community in an oligotrophic Swedish *Picea abies* forest subjected to experimental nitrogen addition: above-and below-ground views. *Forest Ecology and Management*. 132: 143-156.
- Kayama, M., Yamanaka, T. 2014. Growth characteristics of ectomycorrhizal seedlings of *Quercus glauca*, *Quercus salicina*, and *Castanopsis cuspidata* planted on acidic soil. *Trees*. 28:569–583.
- Kennedy, K., Maxwell, J., Lumyong, S. 2012. Fire and the production of *Astraeus odoratus* (Basidiomycetes) sporocarps in deciduous dipterocarp-oak forests of northern Thailand. *Maejo International Journal of Science and Technology*. 6: 483-504.
- Kretzer, A.M., Dunham, S., Molina, R., Spatafora, J.W. 2004. Microsatellite markers reveal the below ground distribution of genets in two species of *Rhizopogon* forming tuberculate ectomycorrhizas on Douglas fir. *New Phytologist*. 161 313–320.
- Lai, T. K., Biswas, G., Chatterjee, S., Dutta, A., Pal, C., Banerji, J., Acharya, K. 2012. Leishmanicidal and anticandidal activity of constituents of Indian edible mushroom *Astraeus hygrometricus*. *Chemistry & biodiversity*. 9:1517-1524.

- Landeros, F. J., Guzmán, D. L. 2013. Revisión del género *Helvella* (Ascomycota: Fungi) en México. *Revista mexicana de biodiversidad*. 84:3-20.
- Largent, D. L. 1977. How to identify mushrooms to genus III. Mad River Press Inc. California, USA. 166 p.
- Lian, C., Narimatsu, M., Nara, K., Hogetsu, T., 2006. *Tricholoma matsutake* in a natural *Pinus densiflora* forest: correspondence between above- and below-ground genets, association with multiple host trees and alteration of existing ectomycorrhizal communities. *New Phytologist* 171: 825–836.
- Mendoza, D., Zavala-Chávez -Chávez., Estrada, E. 2006. Hongos asociados con encinos en la porción noroeste de la Sierra de Pachuca, Hidalgo. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 12: 13-18.
- Meyer, F. H. 1973. Distribution of ectomycorrhizae in native and man-made forests. In: Marks, GC Ectomycorrhizae: Their Ecology and Physiology. Academic Press, New York, EEUU. pp. 79-105.
- Molina, R., Massicote, J., Trappe, M. 1992. Specificity phenomena in mycorrhizal symbioses: community-ecological consequences and practical implications. Ed. Allen Michael. F. Nueva York. pp. 357-423.
- Nouhra, E. R., Domínguez, L. De Toledo. 1998. The first record of *Astraeus hygrometricus* from Argentina. *Mycologist*. 12: 112-113.
- Pardavé, D. M., Pardavé, L. F., Robledo, C.V. 2007. Contribución al Conocimiento de los Hongos (Macromicetos) de la Sierra Fría, Aguascalientes. *Investigación y Ciencia. Universidad Autónoma de Aguascalientes*. 37: 4-12.
- Pérez-Moreno, J., Lorenzana, F. A., Carrasco, H. V., Yescas, P. A. 2010. Los hongos comestibles silvestres del parque nacional Izta-Popo, Zoquiapan y anexos. Colegio de Postgraduados, SEMARNAT, CONACYT. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 167 p.
- Pérez-Moreno, J., Read, D.J. 2004. Los hongos ectomicorrízicos, lazos vivientes que conectan y nutren a los árboles en la naturaleza. *Interciencia*, 29: 239–247.
- Peter, M., Ayer, F., Egli, S., Honegger, R. 2001. Above-and below-ground community structure of ectomycorrhizal fungi in three Norway spruce (*Picea abies*) stands in Switzerland. *Canadian Journal of Botany*, 79: 1134-1151.
- Phosri, C., Martín, M. P., Watling, R. 2013. *Astraeus*: hidden dimensions. *IMA fungus*. 4:347.
- Phosri, C., Watling, R., Martin, M. P., Whalley A, J. S. 2004. The genus *Astraeus* in Thailand. *Mycotaxon*. 89:453-464.
- Quiñónez, M., Garza, F., Sosa, M., Keleng, T. L., Lavín, P., Bernal, S. 2008. Índices de diversidad y similitud de hongos ectomicorrizógenos en bosques de Bocoyna, Chihuahua, México. *Revista Ciencias Forestales Mexico*. 33: 59-78.
- Read, D.J. 1993. Mycorrhiza in plant community. *Advances in Plant Pathology*. Academic Press, London. 131 p.
- Richard, F., Millot, S., Gardes, M., Selosse, M. A. 2005. Diversity and specificity of ectomycorrhizal fungi retrieved from an old-growth Mediterranean forest dominated by *Quercus ilex*. *New Phytologist*. 166: 1011-1023.
- Rillig, M. C., Mummey, D. L. 2006. Mycorrhizas and soil structure. *New Phytologist*, 171: 41-53.
- Rinaldi, A. C., Comandini, O., Kuyper, T. W. 2008. Ectomycorrhizal fungal diversity: separating the wheat from the chaff. *Fungal Diversity*. 33: 1-45.

- Robertson, G. P., Klingensmith, K. M., Klug, M. J., Paul, E. A., Crum, J. R., Ellis, B. G. 1997. Soil resources, microbial activity, and primary production across an agricultural ecosystem. *Ecological Applications*, 7: 158-170.
- Rzedowski, R. J. 1978. *Vegetación de México*. Ed. Limusa. México, D.F. 159.
- SGM.2007. Carta Geológico-Minera Servicio Geológico Nacional, recuperado el 19 de septiembre de 2015. [http://www.sgm.gob.mx/cartas/Cartas_Ed50.jsp].
- Smith, K. A., Ball, T., Conen, F., Dobbie, K. E., Massheder, J., Rey, A. 2003. Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. *European Journal of Soil Science*. 54: 779-791.
- Smith, S.E., Read, D.J. 1997. *Mycorrhizal symbiosis*. 2nd. Ed. Academic Press (Elsevier), Oxford, England. 605 p.
- Smith, S.E., Read, D.J. 2008. *Mycorrhizal symbiosis*, 3rd Ed. Academic Press (Elsevier), Oxford, England. 605 p.
- Söderström, B. 2002. Challenges for mycorrhizal research into the new millennium. *Diversity and Integration in Mycorrhizas*. Springer Netherlands. pp. 1-7.
- Swift, M. J., Heal, O. W., Anderson, J. M. 1979. *Decomposition in terrestrial ecosystems* University of California Press. 363 p.
- Tateishi, T., Yokoyama, K., Kohno, N., Okabe, H., Marumoto, T. 2003. Estimation of mycorrhizal colonization of the roots of oak seedlings inoculated with an ectomycorrhizal fungus, *Laccaria amethystea*. *Soil science and plant nutrition*. 49: 641-645.
- Tedersoo, L., Suvi, T., Larsson, E., Kõljalg, U. 2006. Diversity and community structure of ectomycorrhizal fungi in a wooded meadow. *Mycological Research* 110: 734–748.
- Valdés, M., Pereda, V., Ramirez, P., Valenzuela, R., Pineda, R. M. 2009. The ectomycorrhizal community in a *Pinus oaxacana* forest under different silvicultural treatments. *Journal of Tropical Forest Science*. 21: 88-97.
- Vite, T. M., Villarruel, J. L., Cifuentes, B, J. 2006. Contribución al conocimiento del género *Helvella* (Ascomycota: Pezizales) en México: descripción de especies poco conocidas. *Revista mexicana de biodiversidad*. 77: 143-151.
- Walker, J.J., Miller, O.K., Horton, J.L. 2005. Hyperdiversity of ectomycorrhizal fungus assemblages on oak seedlings in mixed forests in the southern Appalachian Mountains. *Molecular Ecology*. 14: 829-838.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES GENERALES

En el Altiplano Potosino-Zacatecano se distribuyen seis encinares relictos ubicados en Cerro el Peñón Blanco, Sierra de Guanamé, Sierra La Mojonera, ubicados en el estado de San Luis Potosí, así como en Sierra de San Miguel, Mesa de La Difunta y Cerro Los Licenciados, ubicados en Zacatecas. En este conjunto se identificaron diez especies del género *Quercus*, las cuales corresponden a *Q. tinkhamii*, *Q. potosina*, *Q. striatula*, *Q. grisea*, *Q. greggii*, *Q. pringlei* y *Q. microphylla* (sección *Quercus*), *Q. jonesii*, *Q. eduardii* y *Q. saltillensis* (sección *Lobatae*).

En el estado de San Luis Potosí se registraron nueve especies: *Q. tinkhamii*, *Q. potosina*, *Q. striatula*, *Q. grisea*, *Q. greggii*, *Q. pringlei*, *Q. jonesii*, *Q. eduardii* y *Q. saltillensis*. En contraparte, en el estado de Zacatecas sólo se registraron cuatro: *Q. potosina*, *Q. striatula*, *Q. grisea* y *Q. microphylla*.

La Sierra de Guanamé presentó el mayor número de especies, con cinco de ellas: *Q. tinkhamii*, *Q. striatula*, *Q. pringlei* y *Q. eduardii* y *Q. saltillensis*. Le siguió el Cerro el Peñón Blanco con cuatro: *Q. potosina*, *Q. greggii*, *Q. jonesii* y *Q. eduardii*. Los demás sitios presentaron sólo dos especies cada uno. En la Sierra La Mojonera apareció *Q. microphylla* y *Q. striatula*. En la Sierra San Miguel y en el Cerro Los Licenciados se identificó a *Q. potosina* y *Q. grisea*, mientras que en la Mesa de la Difunta aparecieron *Q. potosina* y *Q. eduardii*.

La especie *Q. saltillensis*, localizada en Sierra de Guanamé, es considerada nuevo registro para el estado de San Luis Potosí. Por su parte, el registro de *Q. greggii* en el Cerro el Peñón Blanco amplía su distribución conocida hacia el sur del Altiplano Potosino, ya que se reporta en la Sierra de Catorce, a 147 km más al norte en esta región.

Todas las áreas de muestreo tienen diferentes condiciones ambientales, así como diferente presión de uso antrópico, por lo que la distribución de las especies y, sobre todo, la

abundancia de las mismas fue diferente. Esto se comprobó entre la Sierra de Guanamé y el Cerro el Peñón Blanco. En la SG se registró la mayor riqueza, abundancia y diversidad de especies, donde la composición florística fue de 38 especies distribuidas en 26 géneros y 14 familias, siendo la familia Cactaceae la más representativa, con 15; las especies con mayor densidad poblacional fueron *Agave lechuguilla* y *Q. tinkhamii*. Esto también se reflejó en la mayor cantidad de especies de encino. En cambio, en el CPB la composición florística estuvo integrada por 15 especies, distribuidas en 13 géneros y 8 familias. La familia más representativa también fue Cactaceae, con 4 especies. Sin embargo, las especies de mayor densidad poblacional fueron *Dalea bicolor* y *Stevia salicifolia*. Referente a *Quercus* sp., este fue el sitio con la segunda mayor cantidad de especies.

Para el Altiplano Potosino-Zacatecano se registraron por primera vez seis especies de hongos ECM: *Amanita caesarea*, *Amanita* sp., *Astraeus hygrometricus*, *Cenococcum geophilum*, *Russula cyanoxantha* y *Helvella elastica* asociados a seis especies del género *Quercus*.

En CPB se localizó la mayor diversidad de hongos ECM, con las especies *A. hygrometricus* asociada a *Q. potosina*; *Amanita* sp. en *Q. jonessi*; *A. cesarea* con *Q. eduardii*, *R. cyanoxantha* con *Q. potosina* y *C. geophilum* se encontró asociada a *Q. potosina*.

En SG se encontró a *A. hygrometricus* asociada con *Q. pringlei* y *Q. tinkhamii*; por su parte, también se encontró a *H. elastica* asociada con *Q. tinkhamii*.

En SM se encontró a *A. hygrometricus* y *C. geophilum*, ambas asociadas a *Q. striatula*.

Cabe mencionar que todos los registros de estas asociaciones entre hongos ECM y especies del género *Quercus* son nuevas contribuciones al conocimiento de la región, ya que los estudios de este tipo son escasos o inexistentes para la región del Altiplano Potosino-Zacatecano. Particularmente, se enfatiza en la demostración en laboratorio de la asociación ectomicorrízica entre *A. hygrometricus* con *Q. tinkhamii*.

Los resultados del presente trabajo aportan información relevante tanto sobre la distribución de plantas del género *Quercus*, como de hongos ECM en la región. Asimismo, aporta

información sobre la composición florística de la región y sobre algunos factores ambientales, especialmente suelo y altitud, y su relación con la diversidad tanto de encinos como de los hongos ECM. Esta información puede ser relevante para futuros planes de manejo de estos encinares.

ANEXO I. ESPECIES DEL GÉNERO *Quercus* REGISTRADAS



Figura A. 1-1 *Quercus eduardii* Trel.



Figura A. 1-2 *Quercus grisea* Liebm

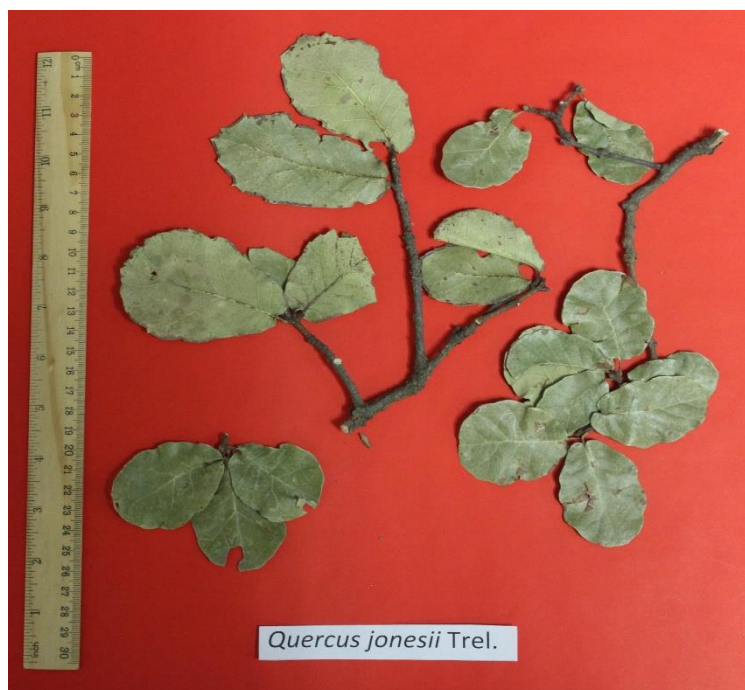


Figura A. 1-3 *Quercus jonesii* Trel.



Figura A. 1-4 *Quercus microphylla* Née



Figura A 1-5 *Quercus potosina* Trel.



Figura A. 1-6 *Quercus pringlei* Seemen ex Loes.



Figura A. 1-7 *Quercus saltillensis* Trel.



Figura A. 1-8 *Quercus striatula* Trel.



Figura A. 1-9 *Quercus tinkhamii* C. H. Mull.



Figura A. 1-10 *Quercus greggii* Trel. Ejemplar depositado en el Herbario de la Universidad Autónoma de Aguascalientes.

ANEXO II. DESCRIPCIÓN DE ESPOROMAS Y MORFOTIPOS

Astraeus hygrometricus (familia: Astraeaceae) es también conocido como falsa estrella de tierra. Es un hongo ectomicorrízico comestible que predomina en bosques dominados por Fagáceas (Fangfuk *et al* 2010; Lai *et al.*, 2012). Se compone de basidioma, exoperidio, endoperidio y gleba (Figura A. 2-1a). El basidioma es globoso o semigloboso de color marrón, compuesto por dos capas (exoperidio y endoperidio). El exoperidio es la capa externa de consistencia gruesa, blanquecina de superficie rígida, una vez madura y con presencia de humedad se abre y se divide en 5-12 lacinias, mismas que cierran cuando hay sequedad en el ambiente. El endoperidio es de forma globosa, de superficie tomentosa, sésil de color blanquecino o gris, en la zona apical se crea un poro denominado ostiolo del cual emanan las esporas cuando el exoperidio abre, las esporas están contenidas en la gleba o saco esporal. Las esporas son globosas, miden de 8.75 a 15.2 μm de diámetro, color castaño, ornamentadas con esquinas redondeadas y estrechas (Figura A. 2-1b). Se distribuye normalmente en suelos arenosos, tierras secas bajas y fructifica de mayo a agosto (Phosri *et al.*, 2004).



Figura A. 2-1 Hongo ectomicorrízico *Astraeus hygrometricus*, **a)** características macroscópicas: endoperidio (enp), exoperidio (exp), ostiolo (ost) y saco esporal (se), **b)** esporas.

Cenococcum geophilum. La ectomicorriza está formada por ramificaciones de tipo monopodial y piramidal, de orden primario, frecuente, sin presencia de rizomorfos (Figura A. 2-2). Las puntas sin ramificación son de color negro o gris y no son visibles las células corticales. El manto externo presenta un arreglo plectenquimatoso, no transparente, de tipo G (hifas arregladas en forma de estrella fuertemente adheridas) con superficie irregular granulosa o algodonosa, las hifas emanantes son lisas o ásperas con abundancia escasa, negras, presencia de esclerocios de color negro. Las hifas que rodean las células corticales para formar la red de Hartig son redondeadas. El micelio extrarradical es de color marrón, sin la presencia de fíbulas y septos (Agerer y Rambold, 2011).

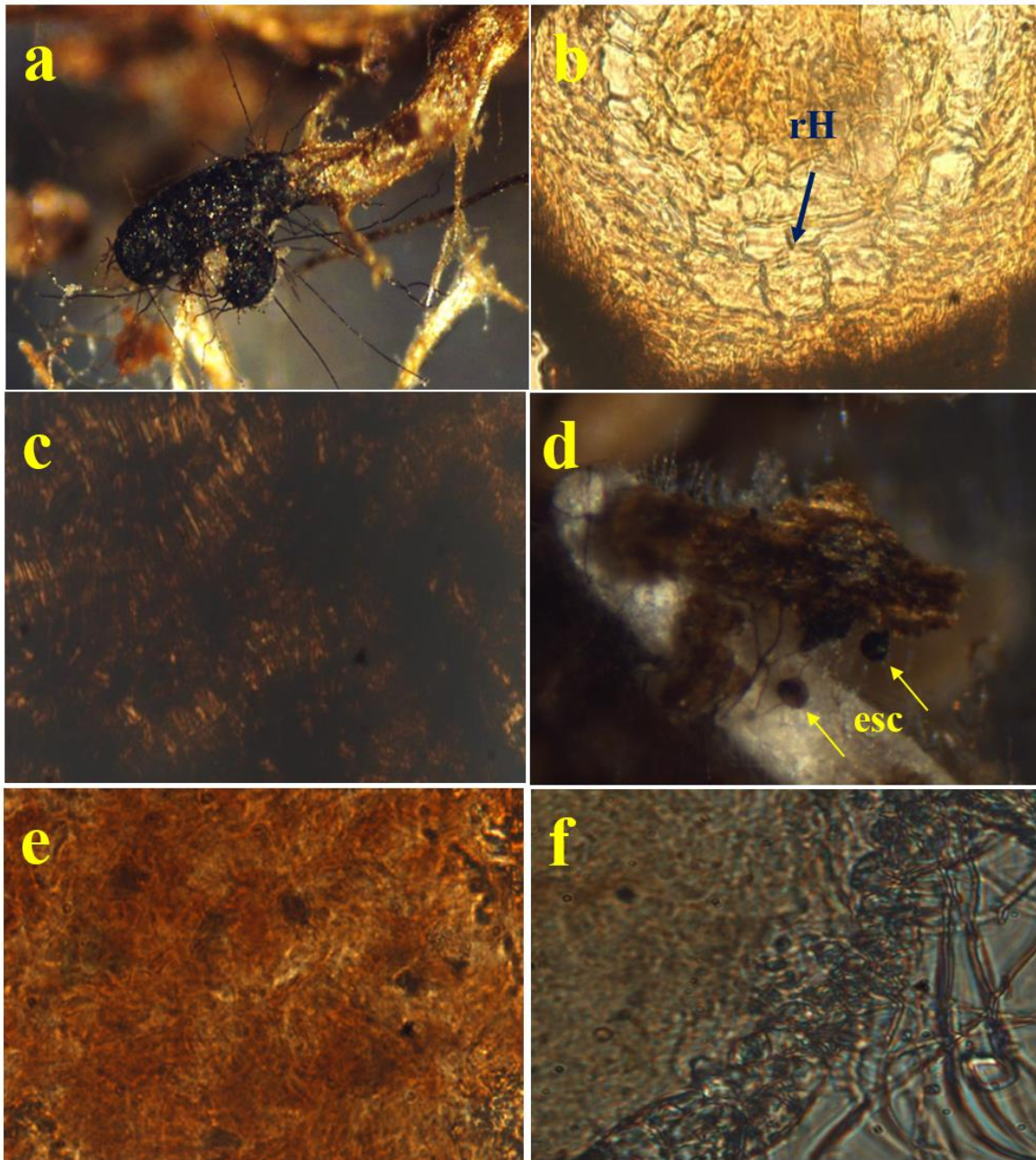


Figura A. 2-2. Micromorfología de *Cenococcum geophilum*. **a)** raíz micorrizada, **b)** red de Hartig (rH) penetrando capas de células corticales, **c)** manto con arreglo tipo G, **d)** esclerocios (esc), **e)** superficie de esclerocios, **f)** esclerocio con micelio externo

Las características macroscópicas de las especies de hongos ECM *Amanita caesarea*, *Amanita* sp., *Russula cyanoxantha*, *Helvella elastica* y de los hongos saprobios del género *Hygrocybe* sp. y *Tulostoma* sp. se presentan en el cuadro (Cuadro A. 2-1).

Cuadro A. 2-1 Características macroscópicas de esporomas.

Característica	Especie					
	<i>Amanita caesarea</i>	<i>Amanita sp.</i>	<i>Russula cyanoxantha</i>	<i>Helvella elastica</i>	<i>Hygrocybe sp.</i>	<i>Tulostoma sp.</i>
Píleo						
Textura	Liso	Liso	Liso	Liso	Liso	Escamoso
Forma	Ligeramente deprimido	Plana	Ligeramente deprimido	Deprimido	Convexo	Globuloso
Color	Amarillo/ naranja	Beige	Rosa/rojizo	Café	Café/amarillento	Blanco grisáceo
Tamaño (cm)	3	4	7	1-2	2	1-2
Himenio						
Tipo	Laminar	Laminar	Laminar	Liso	Laminar	Presencia de gleba
Color	Amarillo canario	Hueso	Hueso	Blanquecino	Café	Presencia de gleba
Estípite						
Forma	Atenuado de la base al ápice	Clavado bulboso	Clavado	Clavado-bulboso	Cilíndrico	Clavado-bulboso
Tamaño (cm)	7	6.5	4.8	1_3	4	3
Contexto	Sólido	Sólido	Semi-sólido	Sólido	Sólido	Sólido
Consistencia	Esponjoso	Firme	Firme	Hueca	Carnosa	Hueca