

ÍNDICES DE DIVERSIDAD Y SIMILITUD DE HONGOS ECTOMICORRIZÓGENOS EN BOSQUES DE BOCOYNA, CHIHUAHUA, MÉXICO

Miroslava Quiñónez Martínez¹, Fortunato Garza Ocañas²,
Manuel Sosa Cerecedo³, Toutcha Lebgue Keleng³,
Pablo Lavin Murcio¹ y Susana Bernal Carrillo⁴

RESUMEN

La composición de los hongos ectomicorrizógenos (HEM) es un indicador de la estructura y función del ecosistema de bosque. Durante los meses de julio a septiembre del 2005 se realizaron cuatro muestreos para medir la abundancia y diversidad de especies de HEM en cada una de las siguientes áreas: 1) Zona de quema, 2) Zona de tala, 3) Zona de regeneración forestal y 4) Zona natural de bosque, en el municipio de Bocoyna, Chihuahua. Se utilizó el índice de diversidad de Shannon-Wiener, equitatividad de Pielou e Índice de Sorensen. Se registraron un total de 1377 esporomas correspondientes a 39 especies. La zona natural del bosque presentó la más alta diversidad y equitatividad conformada principalmente por individuos del género *Amanita*. La de regeneración mostró mayor frecuencia de esporomas, pero los índices de diversidad y riqueza fueron bajos, por la considerable abundancia de *Laccaria laccata*. En las dos zonas de disturbio se obtuvieron los menores índices de diversidad; aunque en la zona de quema se registró una abundancia significativa de *Astraeus hygrometricus*. Con el índice de Sorensen, se determinó que los taxa más comunes se desarrollaron en la zona natural y en la de regeneración debido a la gran riqueza y afinidad de especies. Los géneros *Amanita*, *Astraeus*, *Boletus*, *Inocybe*, *Laccaria*, *Lactarius* y *Russula*, tuvieron los valores más grandes de abundancia y riqueza en las áreas de estudio, lo cual explica la relación estrecha de los HEM con los bosques de pino mejor conservados.

Palabras clave: *Amanita*, *Astraeus*, disturbio, esporomas, hongos ectomicorrizógenos, *Laccaria*.

Fecha de recepción: 11 de octubre de 2006.

Fecha de aceptación: 19 de marzo de 2008.

¹ Instituto de Ciencias Biomédicas, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Correo-e: mquinonezm@infosel.com

² Instituto de Recursos Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León.

³ Facultad de Zootecnia, Universidad Autónoma de Chihuahua.

⁴ Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez.

ABSTRACT

Species composition of ectomycorrhizal fungi (HEM) is an indicator of the structure and function of a forest ecosystem. In the Municipality of Bocyna, from the months of July to September of 2005, four samples were taken to measure the abundance and diversity of species HEM from each of the following zones (i.e. treatments): 1. burned zone, 2. logging zone, 3. regeneration zone and 4. natural forest zone. The Shannon-Wiener, Pielou equitativity as well as the Sorensen diversity indexes were used. A total of 1377 sporomas were obtained that belonged to 39 species. The natural forest zone showed the highest diversity and similarity of fungal species and most species belonged to the genus *Amanita*. The regeneration zone showed the highest frequency of sporocarps but with less diversity of species and richness due to the high abundance of *Laccaria laccata*. The burned and logging zones showed the lowest diversity index, however in the burned zone there was a significant abundance of *Astraeus hygrometricus*. Using the Sorensen's index it was found that most common species are in the natural and regeneration zones due to higher richness and affinity of species. The genera *Amanita*, *Astraeus*, *Boletus*, *Inocybe*, *Laccaria*, *Lactarius* and *Russula*, presented the highest abundance and richness of all species in all the zones of the study explaining the importance of HEM in the conservation of a pine forest.

Key words: *Amanita*, *Astraeus*, disturbance, sporomas, ectomycorrhizal mushrooms, *Laccaria*.

INTRODUCCIÓN

Los bosques de *Pinus* - *Quercus* se caracterizan por una gran riqueza de especies de flora y fauna, así como de hongos, que desempeñan diferentes funciones ecológicas. Existen formas saprobias que descomponen la materia orgánica muerta, con lo que contribuyen al reciclaje de los nutrientes del suelo y; los parásitos que viven sobre la corteza de los pinos y encinos (Pilz y Molina, 2001). Sin embargo, los considerados de mayor importancia ecológica son los asociados con las raíces de los árboles que forman micorrizas y facilitan un mayor crecimiento y desarrollo en ambos individuos (O'Dell *et al.*, 1999).

Los hongos ectomicorrizógenos (HEM) son un grupo clave en la regulación de los nutrientes entre el suelo y las plantas en la mayoría de los ecosistemas terrestres. El papel de los HEM es mejorar la absorción de elementos esenciales, principalmente nitrógeno, fósforo y el agua (Walker *et al.*, 2005); la protección contra patógenos (Pennanen *et al.*, 2005) y proporcionar a la planta más tolerancia al estrés ambiental, lo que determina en gran medida, la conservación y el mantenimiento ecológico de las comunidades forestales.

Numerosos trabajos describen la relación entre la recuperación de ecosistemas con disturbio y la comunidad de HEM. Diversas investigaciones han mostrado una total reducción de esa parte de la riqueza fúngica y cambios en la composición de las especies después de un aclareo o tala (Wienscyk *et al.*, 2002); así como, una correlación positiva en la mortalidad de HEM, incrementada por la fuerza del fuego y la eliminación de los árboles (Smith *et al.*, 2005). Aunque, algunos resultados sugieren que la capa orgánica permanece inalterable y la composición de HEM, no es substancialmente alterada por los incendios de intensidad baja (Dahlberg *et al.*, 2001). En contraste, los naturales de alta intensidad o prescritos consumen gran parte de la materia orgánica edáfica, lo cual afecta también a la porción mineral y altera de manera significativa a la comunidad de HEM (Wiensczyk *et al.*, 2002).

No obstante la importancia de los HEM en la estructura y función de los ecosistemas, los trabajos ecológicos sobre estos organismos son pocos. La mayoría de los estudios se refieren a hongos hipógeos, que si bien son una parte importante del grupo de los HEM, sólo constituyen aproximadamente 20% de los que forman ectomicorrizas (Molina *et al.*, 1992); el resto (80%) son epígeos (fructificación arriba del suelo). En el municipio de Bocoyna, Chih., algunos autores han realizado listados taxonómicos, a saber: Pérez-Silva y Aguirre-Acosta (1986); Laferriere y Gilbertson (1992); Moreno-Fuentes *et al.* (1994); Quiñónez-Martínez *et al.* (1999) y Quiñónez-Martínez y Garza (2003). Con respecto a trabajos específicos de hongos que forman ectomicorrizas, Kong *et al.* (2000), hicieron un inventario de los asociados con *Picea chihuahuana* Martínez, en el cual destacan las familias: Russulaceae, Cortinariaceae y Pluteaceae. Quiñónez-Martínez *et al.* (2005), registraron 70 especies, principalmente de los géneros: *Amanita*, *Boletus*, *Lactarius*, *Russula* y *Laccaria*.

En el municipio de Bocoyna existen muchas áreas con fuerte impacto, por actividades antropogénicas relacionadas con la extracción ilegal de la madera, recurso que se aprovecha sin control, y provoca la deforestación de zonas naturales dentro de las comunidades de pino y encino, con la consecuente formación de áreas de tala y quema, que a su vez, son uno de los factores determinantes de la estructura heterogénea del paisaje, y pérdida de la biodiversidad.

La disponibilidad ecológica de los HEM, medida en función de su abundancia y diversidad, puede ser un indicador del nivel de disturbio o de estabilidad de las comunidades forestales en el municipio de Bocoyna.

Los objetivos de este estudio fueron analizar los cambios en la riqueza y abundancia de esporomas de HEM, a lo largo de un gradiente de disturbio, en condiciones naturales y de reforestación; así como, la determinación de la similitud por especies entre pares de comunidades.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El trabajo de campo se realizó en la parte alta de la Sierra Madre Occidental, perteneciente al municipio de Bocoyna, a 220 km al suroeste de la ciudad de Chihuahua, Chih., México; ubicada entre las coordenadas 28° 00' 41" y 27° 53' 38" latitud norte y los 107° 35' 39" y 107° 35' 37" longitud oeste, con una altitud de 2,427 a 2,442 msnm. Colinda al norte con el municipio de Guerrero, al este con Carichi, al sur con los municipios de Guachochi, Urique y al oeste con los municipios de Ocampo, Maguarichi y Guazapares. Bocoyna tiene una superficie de 2,801.80 km², ocupa el quinto lugar por superficie en el estado, (SEGOB, 2005). Presenta una temperatura media anual de 10.5°C (García, 1973); la precipitación promedio anual es de 685 mm (Pinedo, 1998).

El área se localiza en la subprovincia de las sierras y llanuras tarahumaras, caracterizada por la presencia de terrenos escarpados y cimas redondeadas con laderas altas, medias y bajas, además de valles dispersos de superficie variable (Valencia, 1995). Los tipos de suelo corresponden a los grupos de los Ferozems y Litosoles (Pinedo, 1998).

Las comunidades vegetales se clasifican como bosque de pino y bosque de pino-encino, cuyos taxa arbóreos representativas son: *Pinus arizonica* Engelm., *Pinus ayacahuite* Ehernb ex Schltld., *Pinus engelmannii* Carr., *Quercus sideroxyla* Humb. et Bonpl., *Quercus depressipes* Trel., *Juniperus deppeana* Steud., *Arbutus arizonica* (A. Gray) Sarg. y *Arctostaphylos pungens* HBK. (Rzedowski, 1994).

Selección de sitios de muestreo

El muestreo se realizó en cuatro comunidades forestales, con diferentes condiciones ecológicas:

1) Zona de impacto por quema (ZIQ) llamada "El Huérfano", donde se observó una sucesión secundaria conformada por las herbáceas: *Packeria candidissima* (Greene) Weber & Löve, *Helanthenum glomeratum* S. Wats., *Stevia salicifolia* Cav., *Machaerantha gracilis* (Nutt.) Schinners, *Taraxacum officinale* Weber y *Carpochaete pringlei* (S. Wats) Grasshoff ex B. L. Turner.

2) Zona de impacto por tala (ZIT) en la que se presentaron pequeños bosques de *Pinus arizonica* en diferentes puntos, en el estrato herbáceo se identificaron las mismas especies que en la ZIQ; aunque proliferó *Packeria candidissima*.

3) Zona de regeneración forestal (ZRF) con plantaciones de *Pinus arizonica*.

4) Zona natural de bosque (ZNA), con bajo impacto antropogénico, caracterizada por individuos arbóreos de las familias Pinaceae, Fagaceae y Ericaceae, comunes en el área de estudio.

En cada sitio seleccionado se ubicaron tres cuadrantes de un tamaño de 50 x 50 m², determinado con base en la homogeneidad del área y tipo de vegetación. Se realizaron cuatro recolectas de material fúngico a intervalos de 15 días, a partir de principios de julio, hasta mediados de septiembre del 2005, que comprende la temporada de lluvias. En total se muestrearon 48 unidades de 2,500 m², divididas en 12 unidades por sitio.

Recolecta e identificación de esporomas de HEM

Se registró el número de esporomas por taxón en cada zona, se tomaron fotografías en fresco y los datos de las características macroscópicas de los ejemplares no identificados. El material fue herborizado siguiendo las recomendaciones de Cifuentes *et al.* (1986) y determinado a nivel de especie con el auxilio de literatura especializada (Barron, 1999; Bessette *et al.*, 1997, 2000; García *et al.*, 1998; Guzmán, 1977; Lincoff, 1981; Pacioni, 1982).

Análisis de la información

Se determinaron la riqueza de HEM por sitio, expresada como el total de número de especies presentes en una comunidad, (Wiensczyk *et al.*, 2002) y la abundancia; además se obtuvieron las proporciones relativas de los diferentes taxa en cada comunidad (Krebs, 1985). Se utilizó el índice de diversidad de Shannon-Wiener (Lindgren y Sullivan, 2001; Shaw, 2003; Behera *et al.*, 2005), calculado como:

$$H' = -\sum P_i \log_2 P_i$$

Donde:

P_i = abundancia relativa de especies i

y el índice de equitatividad de Pielou's (Pitkänen, 1998; Shaw, 2003; Onaindia *et al.*, 2004):

$$J' = H'/H'_{max} \text{ y } H'_{max} = H'/\log_2 S,$$

Donde:

S = riqueza de especies

La similaridad entre comunidades fue estudiada por un método cualitativo, mediante las técnicas de Sorensen, basadas en la presencia o ausencia de las especies y, se calculó para establecer las comunidades con mayor similitud y disimilitud de riqueza fúngica, el cual presenta un rango estadístico de 0-1; cuando su valor es igual a 1 se tiene una completa similaridad, el 0 le corresponde a los

sitios que son disimilares (Smith *et al.*, 2002). El índice de similitud fue estimado a partir del número de especies similares (C) entre pares de comunidades (A + B), para analizar los efectos de las condiciones ambientales en las comunidades forestales (Smith y Smith, 2000).

$$IS = 2C/A+B$$

RESULTADOS

Riqueza de especies y abundancia

Se determinaron 15 géneros con 39 especies de hongos ectomicorrizógenos a partir de una recolecta de 1,377 esporomas, las más frecuentes en la mayoría de las localidades fueron: *Amanita muscaria* (L.) Lam., *Astraeus hygrometricus* (Pers.) Morg, *Inocybe splendens* var. *phaeoleuca* (Kuhn.) Kuyper; *Laccaria laccata* (Scop.) Cooke. y *Russula emetica* (Schaeff.) Pers. (figuras 1, 2, 3, 4 y 5).



Figura 1. *Astraeus hygrometricus* (Pers.).



Figura 2. *Laccaria laccata* (Scop.) Cooke.



Figura 3. *Amanita muscaria* (L.) Lam.



Figura 4. *Russula emética* (Schaeff) Pers.



Figura 5. *Inocybe splendens* (Kuhner).

La ZNA (zona natural de bosque) mostró el valor más alto de riqueza, con 29 taxa de HEM, destacan en abundancia: *Laccaria*, *Amanita*, *Russula* y *Suillus*. Se observaron 10 especies del género *Amanita*, entre ellas *A. muscaria* resultó con la mayor abundancia. Sin embargo, representó 20% de la abundancia total de la ZNA (Figura 6).

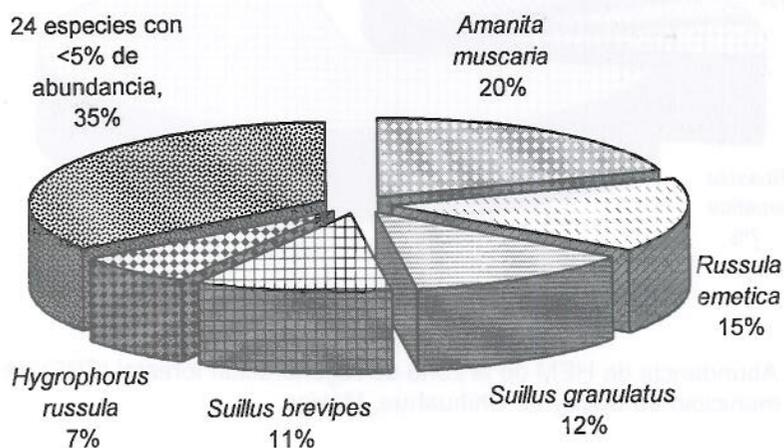


Figura 6. Abundancia de HEM de la zona de bosque natural (ZNA) en el municipio de Bocoyna, Chihuahua, México.

En la ZRF (zona de regeneración forestal) se identificaron 25 especies ectomicorrizógenas, correspondientes a los géneros *Amanita*, *Lactarius*, *Russula*, *Suillus* y *Laccaria*; sobresalió *L. laccata*, con 543 ejemplares que constituyeron 70.9% de la abundancia total (Figura 7).

En las ZIQ (zona de impacto por quema) y ZIT (zona de impacto por tala) se presentaron los valores de riqueza más bajos ($n_1 = 5$; $n_2 = 5$). No obstante, fueron los sitios donde *Astraeus hygrometricus* e *Inocybe splendens* tuvieron la más alta abundancia. Así mismo, se registraron otros HEM con cantidades mínimas (figuras 8 y 9).

Índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') y equitatividad de Pielou (J'). El índice más alto de diversidad se obtuvo en la ZNA ($H' = 3.84$); debido a que fue el área de mayor riqueza y equitatividad (Cuadro 1). *Laccaria laccata* y *Amanita muscaria* resultaron ser las de frecuencia alta con 35% de la abundancia total muestreada (figuras 2 y 3); mientras que, 24 especies alcanzaron menos del 5%, es decir, la mayoría de los HEM se presentaron de manera proporcional y con valores grandes de equitatividad (Figura 6, Cuadro 1).

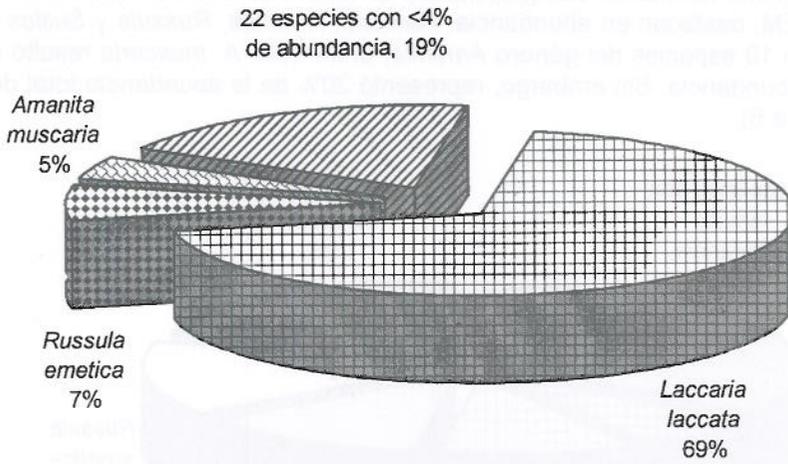


Figura 7. Abundancia de HEM de la zona de regeneración forestal (ZRF) en el municipio de Bocoyna, Chihuahua, México.

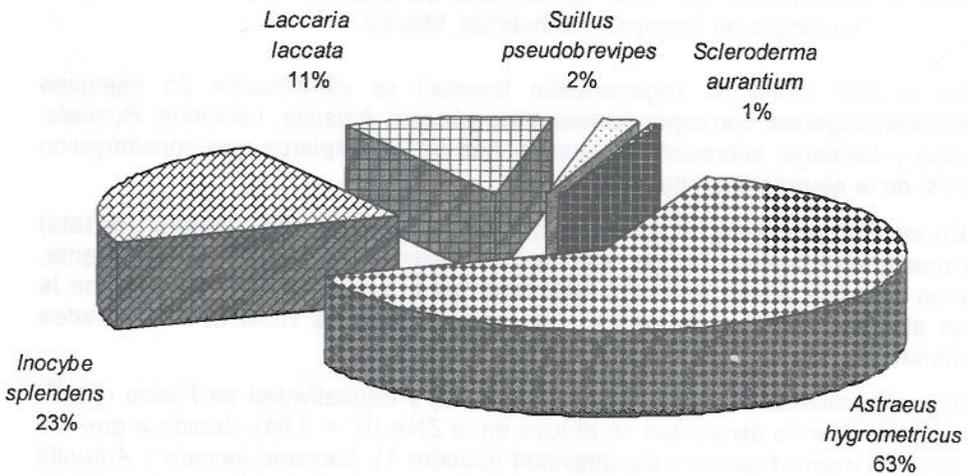


Figura 8. Abundancia relativa de HEM de la zona de quema (ZIQ) en el municipio de Bocoyna, Chihuahua, México.

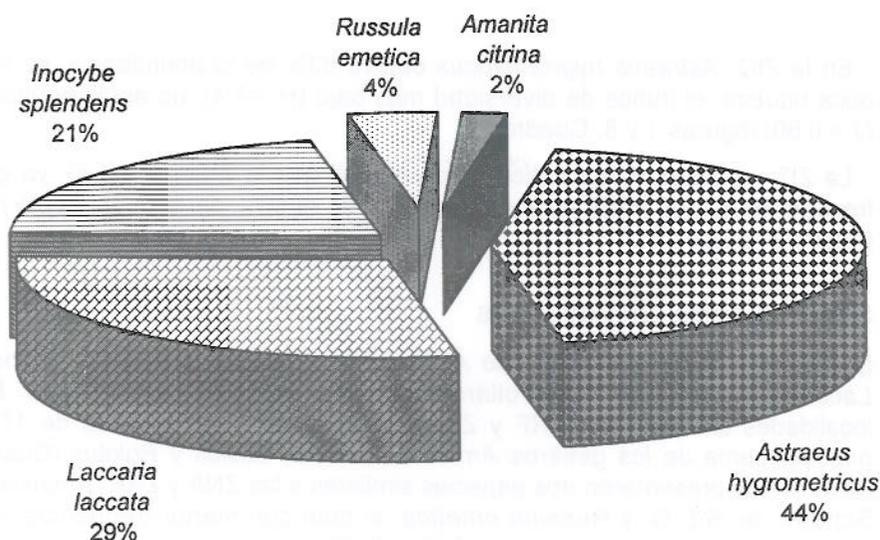


Figura 9. Abundancia relativa de HEM de la zona de tala (ZIT) en el municipio de Bocoyna, Chihuahua, México.

Cuadro 1. Abundancia, riqueza, equitatividad e índice de diversidad de HEM en cuatro zonas forestales del municipio de Bocoyna, Chihuahua, México.

Localidad	FR	S	J'	H'
ZNA	249	29	0.79	3.84
ZRF	765	25	0.43	2.04
ZIT	52	5	0.70	1.8
ZIQ	311	5	0.60	1.4

FR = Frecuencia; S = Riqueza de especies; J' = Índice de Equitatividad de Pielou; H' = Índice de diversidad de Shannon-Wiener.

En la ZRF, el índice de diversidad fue inferior ($H' = 2.04$), aunque se observó una riqueza alta ($n = 25$); *Laccaria laccata* representó 70.9% de la abundancia total, pero con la equitatividad más baja ($J' = 0.43$). Los 24 taxa restantes tuvieron valores de abundancia de 0.13 a 6.75% (Figura 7, Cuadro 1).

En la ZIQ, *Astraeus hygrometricus* obtuvo 63% de la abundancia; se registró poca riqueza, el índice de diversidad más bajo ($H' = 1.4$); no así la equitatividad ($J = 0.60$) (figuras 1 y 8, Cuadro 1).

La ZIT presentó mayor índice de diversidad que la ZIQ ($H' = 1.8$); ya que las frecuencias de los HEM no fueron superiores al 50% de la abundancia relativa (Figura 9, Cuadro 1).

Similitud entre comunidades

Los resultados demostraron que *Astraeus hygrometricus*, *Inocybe splendens* y *Laccaria laccata*, se desarrollaron en todas las áreas estudiadas. En las localidades sin disturbio (ZRF y ZNA), se determinó una similitud de 17 HEM, principalmente de los géneros *Amanita*, *Russula*, *Suillus* y *Boletus* (Cuadro 2). En la ZIT se presentaron dos especies similares a las ZNA y ZRF: *Amanita citrina* Schaeff. ex S.F.G. y *Russula emetica*, si bien con menor frecuencia, debido a que aún existen poblaciones aisladas de *Pinus arizonica*, que favorecieron su fructificación. En la ZIQ se identificaron *Scleroderma auriantum* (Vaill.) Pers. y *Suillus pseudobrevipes* A.H. Sm. & Thiers como exclusiva de este sitio (Cuadro 3).

Índice de similitud

La matriz de Sorensen (Figura 10) indica que la mayor afinidad de HEM correspondió para las ZNA y ZRF (IS = 62.9%), con 17 hongos similares de un promedio de 27 especies; la riqueza en ambas comunidades fue de 29 y 25, respectivamente. Las ZIQ y ZIT tuvieron una similitud del 60% con tres taxa comunes de los cinco identificados. (Cuadro 2). El análisis de similitud entre las zonas con y sin disturbio (ZIQ-ZNA; ZIQ-ZRF; ZIT-ZNA y ZIT-ZRF) alcanzaron sólo del 17.6 al 26.6% de similitud, determinada por los valores de *Astraeus hygrometricus*, *Inocybe splendens* y *Laccaria laccata*; además de la diferencia en la riqueza de especies entre los pares de comunidades (Figura 10).

DISCUSIÓN

La ZNA presenta la mayor diversidad de HEM, con riqueza elevada y abundancia proporcional a las frecuencias registradas. Destaca el género *Amanita* con diez especies por su abundancia *Amanita muscaria*, la cual es significativa a nivel ecológico, pero no económico, toda vez que es considerada tóxica para el hombre, aunque no letal (Arora, 1986).

En la comunidad de hongos de la zona de regeneración (ZRF), se registra un alto valor en la riqueza y frecuencia total ($N_2 = 785$); 70.9% de la abundancia correspondió a *Laccaria laccata*, con la menor equitatividad y bajo índice de

Cuadro 2. Similitud de especies de HEM* en cuatro zonas forestales del municipio de Bocoyna, Chihuahua.

Especie	Localidad			
	ZIQ	ZIT	ZRF	ZNA
<i>Astraeus hygrometricus</i> (Pers.) Morgan	+	+	+	+
<i>Inocybe splendens</i> var. <i>phaeoleuca</i> (Kuhn.) Kuyper	+	+	+	+
<i>Laccaria laccata</i> (Scop. ex Fr.) Cooke	+	+	+	+
<i>Russula emetica</i> (Schaeff.) Pers.	-	+	+	+
<i>Amanita citrina</i> (Schaeff.) Pers.	-	+	+	+
<i>Amanita muscaria</i> (L.) Lam.	-	-	+	+
<i>Suillus granulatus</i> (L.) Roussel	-	-	+	+
<i>Russula cyanoxantha</i> (Schaeff.) Fr.	-	-	+	+
<i>Boletus pinophilus</i> Pilat & Dermek	-	-	+	+
<i>Amanita vaginata</i> var. <i>vaginata</i> (Bull.) Lam.	-	-	+	+
<i>Russula brevipes</i> Peck	-	-	+	+
<i>Suillus brevipes</i> (Peck) Kuntze	-	-	+	+
<i>Amanita pantherina</i> (DC.) Krombh.	-	-	+	+
<i>Amanita rubescens</i> Pers.	-	-	+	+
<i>Boletus edulis</i> Bull. ex Fr.	-	-	+	+
<i>Cortinarius semisanguineus</i> (Fr.) Gillet	-	-	+	+
<i>Boletellus russellii</i> (Frost) E.-J. Gilbert	-	-	+	+

(+) = especie presente; (-) = especie ausente.

*Referencia de status ectomicorizógeno: O'Dell *et al.* (1999); Smith *et al.* (2002); Bonet *et al.* (2004); Kranabetter *et al.* (2005).

Cuadro 3. Disimilitud de especies HEM* en cuatro zonas forestales del municipio de Bocoyna, Chihuahua.

Especie	Localidad			
	ZIQ	ZIT	ZRF	ZNA
<i>Suillus pseudobrevipes</i> A. H. Sm. & Thiers	+	-	-	-
<i>Scleroderma aurantium</i> (Vaill.) Pers.	+	-	-	-
<i>Laccaria amethystina</i> Cooke	-	-	+	-
<i>Amanita verna</i> (Bull.) Lam.	-	-	+	-
<i>Russula decolorans</i> (Fr.) Fr.	-	-	+	-
<i>Lactarius piperatus</i> (L.) Pers.	-	-	+	-
<i>Leccinum auriantacum</i> (Bull.) Gray	-	-	+	-
<i>Lactarius deliciosus</i> (L.) Gray	-	-	+	-
<i>Lactarius zonarius</i> (Fr.) Fr.	-	-	+	-
<i>Suillus americanus</i> (Peck) Snell	-	-	+	-
<i>Hygrophorus russula</i> (Schaeff.) Kauffman	-	-	-	+
<i>Laccaria bicolor</i> (Maire) P. D. Orton	-	-	-	+
<i>Boletus variipes</i> Peck	-	-	-	+
<i>Amanita polypyramis</i> (Berk. & M. A. Curtis) Sacc.	-	-	-	+
<i>Amanita virosa</i> (Fr.) Bertill.	-	-	-	+
<i>Amanita caesarea</i> (Scop.) Pers.	-	-	-	+
<i>Xerocomus</i> sp.	-	-	-	+
<i>Cantharellus cibarius</i> Fr.	-	-	-	+
<i>Lactarius torminosus</i> (Schaeff.) Gray	-	-	-	+
<i>Amanita gemmata</i> (Fr.) Bertill.	-	-	-	+
<i>Amanita flavoconia</i> G. F. Atk.	-	-	-	+
<i>Lactarius uvidus</i> (Fr.) Fr.	-	-	-	+

(+) = especie presente; (-) = especie ausente.

*Referencia de status ectomicorrizógeno: O'Dell *et al.* (1999); Smith *et al.* (2002); Bonet *et al.* (2004); Kranabetter *et al.* (2005).

Localidad*	1	2	3	4
1		60	20	17.6
2	3		26.6	23.5
3	3	4		62.9
4	3	4	17	

(Diagonal superior coeficientes de similitud de Sorensen (%); diagonal inferior número de especies comunes. 1 = ZIQ; 2 = ZIT; 3 = ZRF; 4 = ZNA).

Figura 10. Matriz de similitud de especies de HEM entre los pares de las cuatro áreas de estudio.

diversidad, debido probablemente a que se trata de un bosque joven con reforestación de *Pinus arizonica*. *Laccaria laccata* es un HEM que se caracteriza por crecer en zonas de sucesión temprana, plantaciones, en viveros de pinos y en bosques jóvenes (Brundrett *et al.*, 2005), como los del área de estudio (Figura 8). Este resultado coincide con los de Gómez y Gómez (2006), quienes realizaron un estudio de HEM en unidades ambientales del Parque Nacional Barranca de Cupatitzio, Uruapan, Michoacán, en el que citan a *Laccaria laccata*, *Suillus cothurnatus* Singer y *S. granulatus* (L. ex Fr.) Kuntze como las especies propias de zonas con pinos jóvenes.

Las zonas con disturbio (ZIQ, ZIT), presentan baja riqueza y frecuencia de HEM, por lo que el índice de diversidad fue menor en ambos sitios, hecho más evidente en la ZIQ, donde 63.6% de la abundancia correspondió a *Astraeus hygrometricus*, hongo ectomicorrizógeno (Chakraborty *et al.*, 2004), que se caracteriza por fructificar en ambientes con vegetación arbórea tanto abierta, como cerrada, de sucesión temprana y en áreas disturbadas, se adapta a diversos hábitats; así como a diversas condiciones de luz y humedad (Arora, 1986; Lincoff, 1995; Pacioni, 1986).

Los resultados anteriores muestran la importancia del conocimiento de la composición y dinámica de las especies fúngicas, en la conservación de la diversidad de los bosques templados (Smith *et al.*, 2002); puesto que son consideradas indicadores significativos de las actividades de manejo y sucesión de la vegetación (Luoma *et al.*, 1989; Onaindia *et al.*, 2004; Kranabetter *et al.*, 2005).

La matriz de Sorensen (Figura 11) es un reflejo de la similitud de especies entre dos comunidades, pero también del efecto de la riqueza, ya que ésta debe alcanzar más del 50% de especies similares, con base en el promedio de riqueza de las dos comunidades (Smith y Smith, 2000). Por ello, en las zonas de impacto estudiadas, existe un índice representativo de similitud, con valores de tres especies en común, de cinco presentes por sitio.

En el resto de la matriz, los resultados fueron muy bajos, en respuesta al reducido porcentaje de similitud, determinado por la diferencia en el promedio de riqueza con las zonas naturales y de reforestación. A partir del índice de Sorensen, la ZNA y ZRF se consideran zonas similares, son sitios cercanos en distancia y con características de suelo y vegetación semejantes, dominados por *Pinus arizonica* y algunas ericáceas, tales como *Arbutus arizonica* (A. Gray) Sarg. y *Arctostaphylos pungens* HBK.

CONCLUSIONES

Existe una diversidad mayor de especies consideradas ectomicorrizógenas en las áreas naturales y de regeneración, destaca la riqueza y abundancia de especies de los géneros *Amanita*, *Astraeus*, *Boletus*, *Inocybe*, *Laccaria*, *Lactarius* y *Russula*. La presencia de estos hongos corrobora la función de los HEM como indicadores de la estabilidad de los bosques de pino.

En las áreas disturbadas por efecto de la actividad antropogénica, disminuye drásticamente la composición de los HEM y dominan las especies como *Astraeus hygrometricus* y *Laccaria laccata*, adaptadas a sitios abiertos y de vegetación de sucesión temprana.

Es recomendable incrementar los estudios en los años siguientes e integrar aspectos étnicos, análisis de vegetación, suelo y otras variables ambientales, que permitan establecer correlaciones con la composición de HEM; además de obtener bases para desarrollar programas de recuperación de la comunidad fúngica y arbórea asociada a bosques con disturbio.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Jefatura del Departamento de Ciencias Básicas y a la Coordinación de Investigación del Instituto de Ciencias Biomédicas de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez por el apoyo financiero para la realización del trabajo de campo de esta investigación.

REFERENCIAS

- Arora, D. 1986. *Mushrooms Demystified*. Ten Speed Press. Berkeley, CA. USA. 959 p.
- Barron, G. 1999. *Mushrooms of Northeast North America: Midwest to New England*. Lone Pine Publ. Edmonton, Alberta. Canada. 336 p.
- Bessette A., E., A. R. Bessette and D. W. Fisher. 1997. *Mushrooms of Northeastern North America*. Syracuse University Press, Syracuse, NY. USA. 582 p.
- Bessette, A., W. C. Roody and R. Bessette A. 2000. *North American Boletes*. Syracuse University Press. Syracuse, NY. USA. 396 p.
- Behera, M. D., S. P. S., Kushwaha and P. S. Roy. 2005. Rapid assessment of biological richness in a part of Eastern Himalaya: an integrated three-tier approach. *Forest Ecology and Management* 207: 363-384.
- Bolaños, H. R. 1996. *Manual del Bosque. Sierra Tarahumara. Región San Juanito-Creel, Red de Bosques Modelo*. 1ª. Ed. Bosque Modelo Chihuahua, A. C. Chihuahua, Chih. México. 31 p.
- Bonet, J. A., C. Fischer R. and C. Colinas. 2004. The relationship between forest age and aspect on the production of sporocarps of ectomycorrhizal fungi in *Pinus sylvestris* forests of the central Pyrenees. *Forest Ecology and Management* 203:157-175.
- Brundrett, M., N. Malajczuk, G. Mingqin, X. Daping, S. Snelling and B. Dell. 2005. Nursery inoculation of eucalyptus seedlings in western Australia and southern China using spores and mycelial inoculum of diverse ectomycorrhizal fungi from different climatic regions. *Forest Ecology and Management* 209: 193-205.
- Chakraborty, I., S. Mondal, M. Pramanik, D. Rout and S. Islam. 2004. Structural investigation of a water-soluble glucan from an edible mushroom, *Astraeus hygrometricus*. *Carbohydrate Research* 339:2249-2254.
- Cifuentes, J., M. Villegas y L. Pérez-Ramírez. 1986. *Hongos. Manual de Herbario. Consejo Nacional de la Flora de México A. C. México, D. F. México*. pp. 55-64.
- Dahlberg, A., J. Schimmel, A. Taylor and H. Johannesson. 2001. Post-fire legacy of ectomycorrhizal fungal communities in the Swedish boreal forest in relation to fire severity and logging intensity. *Biological Conservation* 100:151-161.
- García, J., D. Pedraza, C. I. Silva, R. L. Andrade y J. Castillo. 1998. *Hongos del estado de Querétaro*. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, Qro. México. 263 p.
- García, E. 1973. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koeppen*. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 2ª ed. México, D. F. México. 246 p.

- Guzmán, G. 1977. Identificación de hongos. 1a. Edición. Limusa. México, D. F. México. 236 p.
- Kranabetter J., M., J. Friesen, S. Gamiet and P. Kroeger: 2005. Ectomycorrhizal mushroom distribution by stand age in western hemlock lodgepole pine forests of northwestern British Columbia. *Can. J. For. Res.* 35:1527-1539.
- Kong, A., G. Galindo-Flores y A. Estrada-Torres. 2000. Hongos ectomicorrizógenos asociados con *Picea chihuahuana*. In: Memorias. VII Congreso Nacional de Micología. Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro. Qro. México. 69 p.
- Krebs, J. Ch. 1985. Ecología. Estudio de la distribución y abundancia. Harla, S. A. México. D. F. México. 753 p.
- Laferriere, J. E., and R. L. Gilbertson. 1992. Fungi of Nabogame, Chihuahua, México. *Mycotaxon.* 44:73-87.
- Lincoff G., H. 1981. National Audubon Society Field Guide to North American Mushrooms. Chanticleer Press, Inc. New York. NY. USA. 926 p.
- Lindgren, P. M. F., and T. P. Sullivan. 2001. Influence of alternative vegetation management treatments on conifer plantation attributes abundance, species diversity, and structural diversity. *Forest Ecology and Management.* 142:163-182.
- Luoma D., L., J. Eberhart L., R. Molina and M. Amaranthus. 2004. Response of ectomycorrhizal fungus sporocarp production to varying levels and patterns of green-tree retention. *Forest Ecology and Management.* 202: 337-354.
- Molina, R., H. B. Masicote and J. Trappe M. 1992. Specificity phenomena in mycorrhizal symbiosis: Community-ecological consequences and practical implications. In: Allen M. J. (Ed.). *Mycorrhizal functioning: an integrative plant-fungal process.* Chapman & Hall, New York, NY. USA. 423 p.
- Moreno-Fuentes, A., E. Aguirre-Acosta, M. Villegas y J. Cifuentes. 1994. Estudio fungístico de los macromicetos en el municipio de Bocoyna, Chihuahua, México. *Rev. Mex. Mic.* 10:63-76.
- O'Dell, T. E., J. F. Ammirati and E. G. Schreiner. 1999. Species richness and abundance of ectomycorrhizal basidiomycete sporocarps on a moisture gradient in the *Tsuga heterophylla* zone. *Can. J. Bot.* 77:1699-1711.
- Onaindia, M., I. Dominguez, I. Albizu, C. Garbisu and I. Amezaga. 2004. Vegetation diversity and vertical structure as indicators of forest disturbance. *Forest Ecology and Management* 195:341-354.
- Pacioni, G. 1982. Guía de hongos. Grijalbo, S. A. Barcelona, España. 507 p.
- Pennanen, T. J. Heiskanen and T. Korkama. 2005. Dynamics of ectomycorrhizal fungi and growth of Norway spruce seedlings after planting on a mounded forest clearcut. *Forest Ecology and Management* 213:243-252.

- Pérez-Silva, E., y E. Aguirre-Acosta. 1986. Flora micológica del estado de Chihuahua, México. Anales del Instituto de Biología. Serie Botánica 57:17-32.
- Pilz, D. and R. Molina. 2001. Commercial harvests of edible mushrooms from the forests of the Pacific Northwest United States: issues, management, and monitoring for sustainability. *Forest Ecology and Management* 5593:1-14.
- Pinedo A., C. 1998. Análisis de los recursos forestales y del hábitat de la cotorra serrana (*Rhynchopsitta pachyrhyncha*) en la Sierra Madre Occidental de Chihuahua, México. Tesis Doctoral. Facultad de Zootecnia. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chih. México. 142 p.
- Pitkänen, S. 1998. The use of diversity indices to assess the diversity of vegetation in managed boreal forests. *Forest Ecology and Management* 112:121-137.
- Quiñónez-Martínez, M., F. Garza, J. R. Mendoza, J. García y H. R. Bolaños. 1999. Guía de Hongos de Bosque Modelo Chihuahua. Sierra Tarahumara, Chihuahua. Facultad de Zootecnia. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chih. México. 85 p.
- Quiñónez-Martínez, M. y F. Garza. 2003. Taxonomía, ecología y distribución de hongos macromicetos de Bosque Modelo, Chihuahua. *Ciencia en la Frontera. México* 2(1):63-69.
- Quiñónez-Martínez, M., F. Garza y M. Vargas. 2005. Aspectos ecológicos y diversidad de hongos ectomicorrízicos en bosque de pino y encino de 5 localidades del municipio de Bocoyna, Chihuahua. *Ciencia en la Frontera. México* 3(1):29-38.
- Rzedowski, J. 1994. Vegetación de México. Limusa. México, D. F. México. pp. 283-313.
- Secretaría de Gobierno, 2005. Enciclopedia de los Municipios de México. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. http://www.e-local.gob.mx/wb2/ELOCAL/EMM_chihuahua; (11 de Octubre de 2006).
- Shaw, P. J. A. 2003. *Multivariate statistics for the environmental sciences*. Arnold Publishers. New York, NY. USA. pp. 30-39.
- Smith, R. L. y T. M. Smith. 2000. *Ecología*. Addison Wesley. México, D. F. México. pp. 304-307.
- Smith, J. E., R. Molina, M. M. Huso P., D. L. Luoma, D. McKay, M. A. Castellano, T. Lebel and Y. Valachovic. 2002. Species richness, abundance and composition of hypogeous and epigeous ectomycorrhizal fungal sporocarps in young, rotation-age, and old-growth stands of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) in the Cascade Range of Oregon, USA. *Can. J. Bot.* 80:186-204.

- Smith, J. E., D. McKay, G. Brenner, J. McIver and J. Spatafora W. 2005. Early impacts of forest restoration treatments on the ectomycorrhizal fungal community and fine root biomass in a mixed conifer forest. *Journal of Applied Ecology*. 42:526-535.
- Valencia, C. C. M. 1995. Impactos ecológicos en las regiones boscosas de Chihuahua a través de simulación. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Zootecnia, Chihuahua. Chih. México. 235 p.
- Walker, J. F., O. K. Miller Jr. and J. L. Horton. 2005. Hyperdiversity of ectomycorrhizal fungus assemblages on oak seedlings in mixed forests in the southern Appalachian Mountains. *Molecular Ecology* 14:829-838.
- Wiensczyk, A., S. Garniet, D. M. Durall, M. D. Jones and S. W. Simard. 2002. Ectomycorrhizae and forestry in British Columbia: A summary of current research and conservation strategies. *B. C. Journal of Ecosystems and Management* 2(1):1-20.