

INFORME TECNICO FINAL

TERCERA ETAPA

PROYECTO: PRODUCCIÓN DE PLANTAS NATIVAS Y EXÓTICAS MICORRIZADAS CON HONGOS DE IMPORTANCIA COMESTIBLE Y MEDICINAL, CON FINES DE REFORESTACIÓN EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA.

TERCERA ETAPA. TRABAJO EXPERIMENTAL Y DE ESCRITURA

Principales Actividades:

1. Análisis de laboratorio. Se realizaron análisis bromatológicos de las especies de hongos silvestres colectadas y se enviaron a analizar los elementos químicos de dichas especies de hongos.
2. Escritura y envío de artículos científicos.
3. Se hizo entrega de los productos obtenidos para el usuario de interés, en este caso se realizó la entrega de 177 pinos a Dirección de Ecología del Municipio de Juárez, cumpliendo con el 100% del proyecto total.

1. METAS Y OBJETIVOS ALCANZADOS

1. Se obtuvo una publicación del artículo "**Comunidades vegetales en suelo de ecosistema semiárido y su relación con hongos micorrízicos**" el cual se encuentra en la tercera revisión y en la fase: aceptado con condiciones para publicarse en la revista TERRA, la cual esta indexada en Conacyt.
2. Se terminó la escritura del artículo "**Análisis proximal y de composición mineral de cuatro especies de hongos ectomicorrízicos silvestres de la Sierra Tarahumara de Chihuahua**". Dicho artículo fue enviado a la revista TIP:Revista especializada en Ciencias Químico-biológicas de la UNAM e indexada por Conacyt. Se encuentra actualmente en revisión.
3. Se terminó la escritura de un tercer artículo cuyo título es: **EFFECTO ECTOMICORRÍZICO DE DOS HONGOS (DE LA SIERRA TARAHUMARA DE CHIHUAHUA, MÉXICO) EN EL CRECIMIENTO DE PLANTAS EN ESTADIO JUVENIL DE *Pinus arizonica* Engelman**, el cual se encuentra en

fase de traducción al inglés para su posterior envío a una revista internacional.

2. COMPROMISOS CUMPLIDOS

La tercera etapa que correspondió al 20% restante del proyecto, y las actividades que se cumplieron son:

1. Escritura y envío de un segundo artículo referente al tema de estudio de hongos, requerimientos nutricionales con título: **Análisis proximal y de composición mineral de cuatro especies de hongos ectomicorrízicos silvestres de la Sierra Tarahumara de Chihuahua**".
2. Se entregaron **177 plántulas** de pino afgano micorrizado al usuario vinculado perteneciente a la Dirección de Ecología del Ayuntamiento de Ciudad Juárez (se adjunta oficio de recepción).

3. DOCUMENTOS QUE SOPORTAN LA INFORMACIÓN DESCRITA.

Anexo 1. Artículo publicado en la revista Terra.

Anexo 2. Artículo enviado a la revista TIP: Ciencias Químico-biológicas

Anexo 3. Escritura del artículo terminado, pero posteriormente será traducido para enviarlo a una revista internacional.

Anexo 4: Oficio de entrega de 177 plántulas de pino afgano a la Dirección de Ecología del Municipio de Juárez, Chihuahua.

ELABORÓ:


D. Ph. Miroslava Quiñónez Martínez

Responsable técnico del Proyecto

29 de marzo de 2019

Of. No. 266/19
Exp. PIVA 2017 - MQuiñónez

DRA. MIROSLAVA QUIÑÓNEZ MARTÍNEZ
RESPONSABLE TÉCNICO
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE INVESTIGACIÓN APLICADA
PARA LA VINCULACIÓN CON EL ENTORNO Y LA ATENCIÓN
DE PROBLEMAS ESPECÍFICOS 2017
P R E S E N T E

Estimada Dra. Quiñónez:

A través del presente y en respuesta a la solicitud remitida a esta Coordinación y habiendo cumplido con el informe final técnico de forma exitosa, **la solicitud de prórroga por dos meses para el ejercicio financiero** restante, correspondiente al Proyecto *"Producción de plantas nativas y exóticas micorrizadas con hongos de importancia comestible y medicinal, con fines de reforestación en Ciudad Juárez"* **ha sido aprobada**, por lo que la nueva **vigencia se extiende hasta el día 27 de mayo del 2019.**

Sin otro particular, me reitero a sus órdenes.

ATENTAMENTE

"POR UNA VIDA CIENTÍFICA
POR UNA CIENCIA VITAL"



UACJ
COORDINACIÓN
GENERAL DE
INVESTIGACIÓN Y
POSGRADO


DRA. BEATRIZ ARACELI DÍAZ TORRES
COORDINADORA GENERAL DE
INVESTIGACIÓN Y POSGRADO



DR. ISAAC LEOBARDO SÁNCHEZ JUÁREZ
COORDINADOR DE INVESTIGACIÓN Y
GESTIÓN DE PROYECTOS

c.c.p. Archivo.
JB/BD

Comunidades vegetales en suelo de ecosistema semiárido y su relación con hongos micorrízicos

Plant communities in soil of semiarid ecosystem and their relationship with mycorrhizal fungi

Mirolava Quiñónez Martínez¹, Irma Delia Enríquez Anchondo¹, Juan Pedro Flores Margez^{1‡},
Karla Yamel Palacios Ramírez¹, Martha Patricia Olivas Sánchez¹, Fortunato Garza Ocañas²,
Toutcha Lebgue Keleng³ y Jesús Alejandro Nájera Medellín¹

¹ Instituto de Ciencias Biomédicas, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Plutarco Elías Calles 1020, Fovissste Chamizal. 32310 Cd. Juárez, Chih., México.

[‡] Autor responsable (juflores@uacj.mx)

² Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Carretera Nacional No. 85 km 145. 67700 Linares, Nuevo León, México.

³ Facultad de Zootecnia, Universidad Autónoma de Chihuahua. Periférico Francisco R. Almada km 1, Zootecnia. 33820 Chihuahua, Chih., México.

RESUMEN

Las comunidades vegetales micrófilas y xerófilas en el norte de Chihuahua se desarrollan en condiciones de estrés climático y ambiental. Se considera que esta resistencia puede estar relacionada con la presencia de hongos micorrízicos de tipo vesículo arbusculares (HMVA). El objetivo de este trabajo fue relacionar el tipo de suelo con la presencia de HMVA en la rizósfera de las plantas de matorrales desérticos, como una posible respuesta a la resistencia de las plantas bajo condiciones ambientales extremas en las comunidades vegetales del área natural protegida (ANP) médanos de Samalayuca, Juárez, Chihuahua. Durante los meses de marzo a octubre de 2016, se realizaron dos muestreos dirigidos seleccionando cuatro puntos de muestreo con base en el tipo de comunidad vegetal registrada en campo. Los transectos fueron de 100 m, se generaron diez parcelas de 20 × 25 m² en cada zona y para cada parcela se registró el número de individuos por especie vegetal. Los índices de Shannon, Simpson, Pielou y Morisita fueron utilizados para el estudio de las comunidades. Se tomaron submuestras de suelo de 500 g a una profundidad de 0 a 30 cm en cada sitio de muestreo. Los análisis físicos y químicos de suelo fueron pH, textura, conductividad eléctrica, porcentaje de humedad, nitrógeno mineral y fósforo extractable. La extracción y conteo de esporas de HMVA se realizó por medio de tamizado húmedo, decantación y centrifugación en

solución sacarosa al 70%. Se determinaron tres tipos de comunidad vegetal: matorral inerme parvifolio, matorral mediano subinerme y matorral de médanos. La especie con mayor presencia y dominancia fue *Larrea tridentata*. Los suelos del área estudiada resultaron ser arenosos, alcalinos, con baja salinidad y contenido de nitrógeno y altos de fósforo. Los géneros de HMVA encontrados fueron: *Gigaspora*, *Acaulospora*, *Glomus* y *Paraglomus*. El análisis de correlación de Pearson indicó que no existe relación estadística significativa entre la cantidad de nitrógeno inorgánico con la densidad de las esporas de HMVA ($r = 0.585$), mientras que para el fósforo se detectó una significativa relación entre su concentración y la densidad de esporas ($r = 0.987$). La relación entre la cantidad de esporas y concentración de nutrientes del suelo demuestra que entre más bajo en nutrientes es menor el número de esporas, sin embargo, no se puede determinar directamente la resistencia de las plantas con la presencia de los HMVA.

Palabras clave: micorrizas arbusculares, rizósfera, matorrales desérticos.

SUMMARY

The microphilous and xerophilous plant communities in northern Chihuahua develop under environmental stress. Resistance to this stress may be related to the presence of vesicular arbuscular

Cita recomendada:

Quiñónez Martínez, M., I. D. Enríquez Anchondo, J. P. Flores Margez, K. Y. Palacios Ramírez, M. P. Olivas Sánchez, F. Garza Ocañas, T. Lebgue Keleng y J. A. Nájera Medellín. 2018. Comunidades vegetales en suelo de ecosistema semiárido y su relación con hongos micorrízicos. *Terra Latinoamericana* 36: 381-391.

DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v36i4.401>

Recibido: abril de 2018. Aceptado: agosto de 2018.
Publicado en *Terra Latinoamericana* 36: 381-391.

mycorrhizal fungi (HMVA). The objective of this study was to relate the type of soil and the presence of HMVA in the rhizosphere of desert scrubs, as a possible response to the resistance of plants under extreme environmental conditions, in the plant community of ANP Medanos de Samalayuca, Juárez, Chihuahua. During the months of March to October 2016, two directed samplings were carried out, selecting four sampling points based on the type of plant community registered in the field. At each sampling point, transects of 100 m were launched, generating ten 20×25 m² plots in each zone. For each plot, the number of individuals per plant species was registered. The Shannon, Simpson, Pielou and Morisita indexes were used. A total of 500 g subsamples of soil was taken at a depth of 0 to 30 cm at each sampling site. Each sample was processed and subjected to physical and chemical analyses such as pH, texture, electrical conductivity, moisture percentage, inorganic nitrogen and extractable phosphorus. Spores were extracted and counted by wet sieving, decantation and centrifugation in 70% sucrose solution. Three types of plant community were determined: matorral inerme parvifolio, matorral mediano subinerme and matorral de medanos. In general, the most common and dominant species was *Larrea tridentata*. The soils were sandy, alkaline, low soil salinity, low in inorganic nitrogen and high in extractable phosphorus. The HMVA genera found were *Gigaspora*, *Acaulospora*, *Glomus* and *Paraglomus*. The Pearson correlation analysis indicated that there is no statistically significant relationship between the amount of inorganic nitrogen and the density of HMVA spores ($r = 0.585$). Regarding phosphorus, a meaningful relationship was found between its concentration and spore density ($r = 0.987$). The relationship between the number of spores and nutrient concentrations shows that the poorer in nutrients the smaller number of spores; however, resistance of the plants cannot be directly determined by the presence of the HMVA.

Index words: *arbuscular mycorrhiza, rhizosphere, desert scrubs.*

INTRODUCCIÓN

En el norte de Chihuahua se encuentra un ecosistema desértico caracterizado por comunidades vegetales micrófilas y xerófilas, creciendo dentro de un variado mosaico de asociaciones vegetales (Granados-Sánchez *et al.*, 2011). Estas comunidades se desarrollan

en suelos pobres en nutrientes, escasa precipitación y días de intensa luz solar. Respecto a su clasificación, SEMARNAT (2013) reconoce tres tipos de matorral en la vegetación desértica: matorral desértico micrófilo de suelos de aluvión, matorral mediano subinerme en rocas calizas y matorral desértico crasicale ligado a rocas y suelos de naturaleza ígnea. En los ecosistemas áridos y semiáridos, las plantas soportan condiciones climáticas y ambientales muy estresantes como largos periodos de sequía, temperaturas extremas, suelos de baja fertilidad y altos grados de erosión. Se considera que esta resistencia puede estar relacionada con la presencia de hongos micorrízicos de tipo vesículo arbusculares (HMVA) (Monroy-Ata *et al.*, 2007; Montaña *et al.*, 2007; Martínez-García, 2011). Las micorrizas son una simbiosis mutualista de hifas de hongos y raíces de plantas vasculares, en la que se presenta un beneficio mutuo, debido al intercambio bidireccional. Esta asociación favorece el crecimiento y desarrollo de las plantas que crecen en condiciones limitantes, principalmente en el desarrollo del sistema radical por estimulación, la formación de nuevas raíces y, por lo tanto, plantas más tolerantes al estrés ambiental y eficientes en el aprovechamiento de nutrientes y agua del suelo. Esto es debido a la extensión del hongo fuera de la raíz y entre las raíces secundarias, incrementando el volumen de suelo explorado, permitiendo capturar nutrientes más allá de la zona de alcance de la raíz y transportarlos a la planta. Los HMVA han incrementado su importancia en diversas ramas de la ciencia y la tecnología, como es el caso de la comprensión de la dinámica vegetal y de la sucesión ecológica, restauración ambiental y obtención de biofertilizantes no contaminantes (Montaña *et al.*, 2007). Los estudios realizados en zonas áridas son escasos, y la mayoría trata sobre la restauración de zonas deterioradas mediante el uso de micorrizas vesículo arbusculares en matorral xerófilo (Uhlmann *et al.*, 2004; Caballero-Mellado *et al.*, 2007; Monroy-Ata *et al.*, 2007; Ochoa-Meza *et al.*, 2009; Martínez-García, 2011). Debido a que en México los ecosistemas áridos y semiáridos ocupan aproximadamente un 60% del territorio nacional, y en el norte de Chihuahua domina el ecosistema desértico cuya riqueza vegetal se caracteriza por presentar un elevado grado de endemismo, es de suma importancia realizar análisis ecológicos de los diferentes tipos de comunidades vegetales, tipo de suelo que las caracterizan y su relación con la presencia de HMVA, los cuales han incrementado su importancia en

diversas ramas de la ciencia y la tecnología (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 1999). El objetivo de este trabajo fue relacionar el tipo de suelo con la presencia de hongos micorrízicos vesículo-arbusculares (HMVA) en la rizósfera de las plantas de matorrales desérticos, como una posible respuesta a la resistencia de las plantas bajo condiciones ambientales extremas en tres comunidades vegetales en el área natural protegida (ANP) médanos de Samalayuca, municipio de Juárez, Chihuahua, dada la gran importancia que tiene esta área por ser una de las de mayor diversidad de flora y fauna, alta en endemismos y reconocido por su sistema complejo único de dunas de arena.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del Área de Estudio

El área de estudio se localizó en el ejido Villa Luz, dentro del área natural protegida (ANP) médanos de Samalayuca, localizada entre las coordenadas extremas 31° 39' 36" y 29° 25' 12" N y las coordenadas 109° 02' 24" y 107° 14' 24" O, en el municipio de Juárez del estado de Chihuahua, México. Su clima se caracteriza por ser árido y extremo, cuya clasificación hecha por Köppen corresponde a Bwkw(x') clasificado como un clima muy seco templado con lluvias en verano. La temperatura máxima ha sido de 41.2 °C y la mínima de -16 °C. Las precipitaciones más altas se presentan en los meses de julio a septiembre, representando el 58.9% de la precipitación media anual (SEMARNAT, 2013). De acuerdo con la clasificación de la COTECOCA (1978) en la región de Samalayuca se determinaron tres comunidades vegetales: 1) Por adaptación climática: matorral inermeparvifolio y matorral mediano subinermeparvifolio, representadas por especies arbustivas dominantes como la gobernadora (*Larrea tridentata*) y el mezquite (*Prosopis juliflora* var. *glandulosa*); junto con otras especies de menor abundancia como son el chamizo (*Atriplex canescens*), ocotillo (*Fouquieria splendens*), hojásén (*Flourensia cernua*) y palma (*Yucca* spp.); 2) Por su tipo de suelo, el matorral de médanos se encuentra rodeando el cuerpo de dunas móviles con escasa vegetación. Se caracteriza por la presencia de especies arbustivas, principalmente: *P. juliflora* var. *glandulosa*, *A. canescens*, *Poliomintha incana*, *Artemisia filifolia* y algunas cactáceas como

Opuntia violacea var. *macrocentra*, *O. engelmannii* y *O. leptocaulis* (Enríquez, 2003; Álvarez, 2013¹).

Muestreo

Durante los meses de marzo a octubre de 2016, se realizaron dos muestreos de tipo preferencial, seleccionando cuatro puntos de muestreo con base en el tipo de comunidad vegetal registrada en campo. En cada uno de ellos, se lanzaron transectos de 100 m, para generar diez parcelas de 20 × 25 m² en cada zona seleccionada. En cada parcela se registró el número de individuos por especie vegetal para obtener la abundancia relativa para cada especie por comunidad vegetal (Krebs, 1998).

Análisis de la Vegetación

Para determinar la diversidad por comunidad vegetal se utilizó el Índice de Shannon Winner, el cual estima la diversidad con base en una muestra extraída al azar; dominancia de Simpson que mide la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar de una población de N individuos, provengan de la misma especie, y equitatividad de Pielou que mide el grado de repartición de los individuos en las especies presentes para estimar el índice de diversidad y uniformidad de las comunidades vegetales muestreadas, utilizando el programa Estimate S versión 9.1.0 (Colwell, 2016). Así mismo, se utilizó el Índice de Morisita para evaluar la similitud de comunidades por afinidad de especies y abundancia de las mismas, utilizando el programa PAST versión 2.09 (Moreno, 2000). Se tomaron submuestras de suelo de 500 g a una profundidad de 0 a 30 cm, las cuales fueron mezcladas para obtener muestras compuestas de cada sitio de muestreo, con cuatro repeticiones por zona de muestreo. Así mismo, se obtuvieron muestras de suelo adherido a raíz de las especies vegetales presentes en las parcelas muestreadas para el registro de HMVA.

Características del suelo. Cada muestra de suelo fue secada a temperatura ambiente y tamizada; se realizaron análisis físicos y químicos como: pH, textura, conductividad eléctrica, nitrógeno mineral y fósforo extractable. El pH se midió con un potenciómetro HANNA modelo HI 207 la conductividad eléctrica con conductímetro YSI Modelo 85/10 FT, la textura de

¹ Álvarez-Calahorra, A. A. 2013. Cactáceas del área de protección de flora y fauna Médanos de Samalayuca. Tesis de Licenciatura. Instituto de Ciencias Biomédicas, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Cd. Juárez, Chihuahua, México.

suelo por el método de Bouyoucos, el nitrógeno mineral se determinó por el método micro-Kjeldahl y el fósforo por el método Olsen (NOM-021-RECNAT-2000, 2002; Keeney y Nelson, 1982; Olsen y Sommers, 1982).

Extracción e identificación de hongos micorrízicos vesículo-arbusculares (HMVA). La extracción y conteo de esporas se realizó mediante tamizado húmedo, y decantación, seguido de una centrifugación en una solución de sacarosa al 70% (Trejo Aguilar *et al.*, 2008). Para ello se tomaron de 100 a 250 g de suelo pegado a la raíz de algunas plantas características de cada comunidad vegetal; se colocó la muestra en un recipiente de cristal de 1000 mL aforado con agua; en donde fueron mezcladas por cinco minutos y filtradas en un conjunto de tamices de diferente luz de malla (1 mm, 500 μ m y 20 μ m). Se recuperaron los residuos que quedaban en los tamices con ayuda de una pipeta; las muestras fueron depositadas en tubos de 50 mL para su centrifugación, una primera con agua durante cinco minutos a 3000 rpm, y otra con sacarosa al 70%. La centrifugación fue de un minuto a 3000 rpm. Finalmente, lo recuperado fue depositado en cajas Petri, para su observación en estereoscopio y su separación, de tal forma que se pudieron realizar preparaciones permanentes de las esporas con alcohol polivinílico y lugol (Hernández-Cuevas *et al.*, 2003). Posteriormente se observaron las esporas con microscopio óptico Motic Serie B1-220 y se registraron los datos de frecuencia por suelo y tipo de comunidad. Para la identificación a nivel de género se consideraron las descripciones especializadas de Morton *et al.* (2004).

Análisis estadístico. Para determinar diferencias significativas entre los diferentes tipos de suelo y las comunidades vegetales estudiadas, se realizó un análisis

de varianza, usando el programa SPSS Statistics 23.0, y una prueba de comparación múltiple de promedios Tukey para estimar los resultados de mayor o menor nivel ($P \leq 0.05$). Asimismo, un análisis de correlación Pearson se llevó a cabo para evaluar las asociaciones entre las variables de suelo, con la frecuencia de esporas de hongos vesículo arbusculares (HMVA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Abundancia Vegetal Relativa por Zona

Se registraron los siguientes tipos de comunidad vegetal: Matorral inerme parvifolio (MIP) (28 spp.) donde *Larrea tridentata* representó el 38% del total de individuos presentes en el área (Figura 1). Matorral mediano subinerme (MMS) en esta zona se registraron 32 especies, de las cuales 25 contaban con menos del 3% de la abundancia total, destacando *Fouquieria splendens* y *Yucca elata*, por lo que se decidió agruparlas, representando así el 24% de los individuos registrados; *L. tridentata* representó el 23% de los individuos de la zona y *Bahia absintifolia* presentó un 19% de individuos (Figura 2). Matorral de médanos (MDM), *Gutierrezia sarothrae* representó al 37% de los individuos de la comunidad vegetal, mientras que ocho especies con menos del 4% de abundancia individual, representaron el 23% de los individuos, en este grupo se ubican las Asteráceas; *Y. elata* presentó una alta abundancia con el 19% del total de los individuos, mientras que *Prosopis juliflora* solo representó el 7% (Figura 3). Sin embargo, la cobertura de *P. juliflora* var. *glandulosa* fue la más representativa como especie clave, al servir como hábitat y alimento de especies

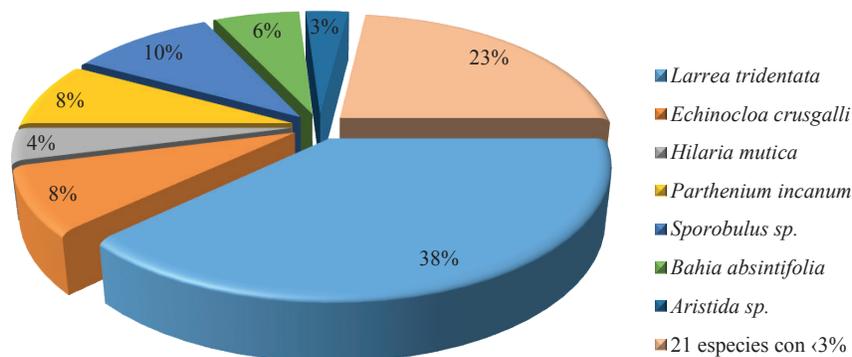


Figura 1. Abundancia relativa de las especies vegetales en la zona de matorral inerme parvifolio de gobernadora.

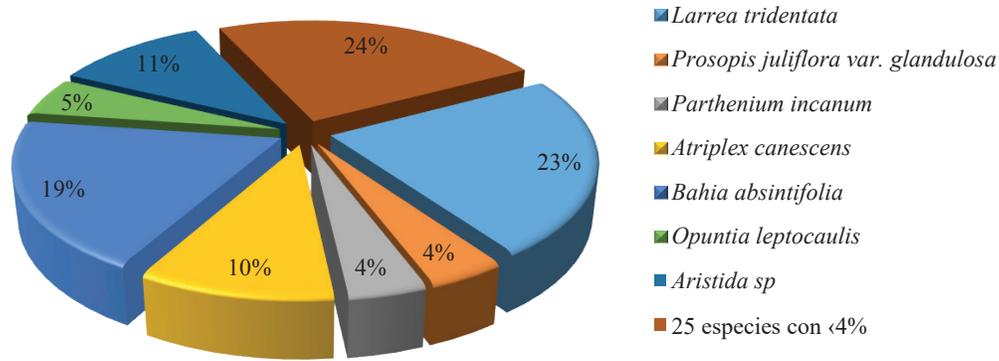


Figura 2. Abundancia relativa de las especies vegetales en la zona de matorral mediano subinerme.

animales en este tipo de comunidad. La abundancia concuerda con lo mencionado por Enríquez (2003) y Sosa *et al.* (2006), quienes determinaron los tipos de vegetación existente en zonas áridas de Chihuahua y encontraron los mismos tipos de vegetación y abundancias similares a las registradas en este estudio, principalmente matorral micrófilo y asociaciones de especies arbustivas, principalmente *Larrea-Prosopis-Yucca-Flouencia cernua*. La especie con mayor presencia fue *L. tridentata*, se encontró en las tres comunidades vegetales, y en dos de ellas era una de las especies de mayor abundancia. Estos resultados concuerdan con los presentados por González y Sosa (2003) y Sosa *et al.* (2006); al hacer una clasificación de comunidades vegetales en regiones áridas del desierto chihuahuense, y en ambos estudios encontraron que las especies presentes en más del 50% del área de estudio fueron *L. tridentata* y *P. juliflora* var. *glandulosa*.

Análisis de Diversidad Vegetal

Se encontró que el matorral parvifolio (MIP) presentó la más alta frecuencia, se registraron 2734 individuos, no obstante, el índice de diversidad no es muy elevado ($H' = 1.78$). En este caso, el índice de dominancia de Simpson resultó elevado ($D = 0.71$), la baja diversidad se debe a la alta dominancia de algunas de estas especies, principalmente *L. tridentata* como la más abundante, lo cual coincide con el bajo resultado de equitatividad ($J' = 0.39$). El matorral mediano subinerme (MMS) representó la comunidad vegetal con mayor riqueza (32 spp.), no obstante que la frecuencia es baja comparada con el MIP, ya que solo se registraron 701 individuos, la distribución de la abundancia es mucho mayor ($J' = 0.69$) y esto queda de manifiesto al ver los resultados de diversidad ($H' = 2.36$). MDM es el sitio de menor riqueza (13

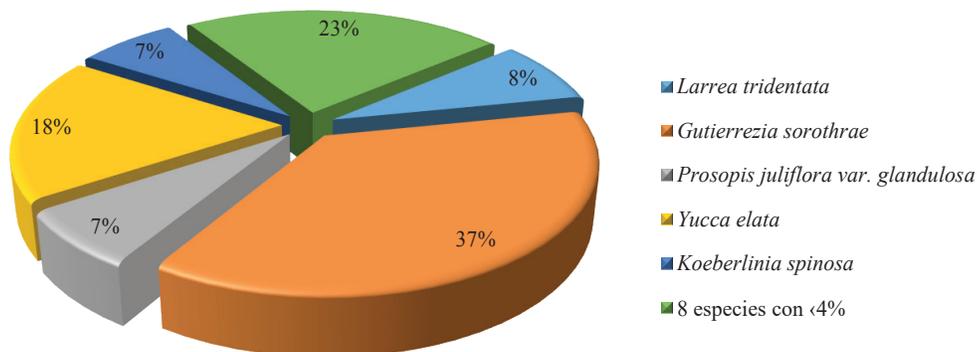


Figura 3. Abundancia relativa de las especies vegetales en la zona de matorral de médanos.

spp.) y frecuencia, esta comunidad vegetal es la que presentó menor dominancia ($D = 0.22$); a su vez presentó una diversidad más elevada ($H' = 2.45$); debido principalmente a que las especies se distribuyen de una forma más regular en esta zona, por lo que se registró la mayor equitatividad ($J' = 0.86$), (Cuadro 1). Estos resultados se relacionan con las abundancias relativas por zona, en este caso la comunidad con mayor dominancia resultó ser la que presentó una alta abundancia de una sola especie (*L. tridentata*); así mismo la zona con menor dominancia de especies es la que presentó una distribución en cuanto abundancias de las especies más homogénea. En general, la riqueza y distribución florística fue menor a la registrada en otros estudios con vegetación similar (Encina-Domínguez *et al.*, 2013; Mata *et al.*, 2014; Alanís-Rodríguez *et al.*, 2015). Sin embargo, los datos coinciden con respecto a las familias mejor representadas como Cactaceae, Fabaceae y Asteraceae, las cuales son asociadas a comunidades de matorrales desérticos del norte de México (Estrada-Castillón *et al.*, 2005; González-Rodríguez *et al.*, 2010). Carmona Lara *et al.* (2008) mencionan que las cactáceas se distribuyen de manera más uniforme, lo que concuerda con lo encontrado en la comunidad MMS que se caracteriza por una riqueza de cactáceas representativas, tales como: *Opuntia engelmannii*, *O. violácea*, *O. ficus-indica*, *Echinocactus coccineus*, entre otras, cuyos valores reflejan una baja dominancia, pero una alta equitatividad, lo que indica una distribución muy cercana a la homogeneidad.

Similitud entre Comunidades Vegetales

Las comunidades vegetales similares fueron MIP y MMS, ya que comparten el 76.64% de las especies vegetales, mientras que las zonas menos similares entre

sí fueron MMS y MDM, ya que solo el 21.21% de las especies se presentaron en ambas zonas (Cuadro 2).

Se formaron tres grupos: las zonas de MIP-MMS (76% similitud), MIP-MDM (31% similitud) y el tercer grupo formado por MDM-MMS (22% similitud) (Cuadro 2). La alta similitud evidente entre MMS y MIP es debido a que en ambas comunidades hay una alta abundancia de *L. tridentata*; de modo que la comunidad donde menos se presenta esta especie es la que menor similitud comparte con el resto. Algunos estudios con resultados similares, como los de González *et al.* (2013), muestran que el 86 % de la cobertura total proviene de *Larrea tridentata* (48 %) y *Flourensia cernua* (38 %). Por otra parte, los valores de los índices se asemejan a los presentados por González-Delgado *et al.* (2016), en el cual caracterizaron la composición florística de dos sitios del matorral micrófilo en Nuevo León, presentando igualmente dominancia por *L. tridentata* y *F. cernua*, los índices de similitud entre estas se vieron afectados de la misma manera que en nuestro estudio por la ausencia-presencia de la especie dominante

Caracterización del Suelo por Comunidad Vegetal

La textura del suelo en MIP fue arenosa franca, con pH medianamente alcalino, sin problemas de salinidad. La concentración de nitrógeno inorgánico ($\text{NH}_4 + \text{NO}_3$) del suelo fue bajo, mientras que el contenido de fósforo se presentó en un nivel alto (Cuadro 3). La textura del suelo para MMS fue arenosa franca, pH medianamente alcalino, con un contenido de nitrógeno bajo, y al igual que la anterior comunidad los niveles de fósforo fueron altos, siendo en este sitio el suelo en el cual se presentó la mayor concentración, así mismo presentó diferencias estadísticas significativas

Cuadro 1. Parámetros ecológicos de las comunidades vegetales estudiadas.

Parámetros ecológicos	MIP	MMS	MDM
Riqueza (S)	28	32	13
Frecuencia (N)	2734	701	394
Diversidad de Shannon (H')	1.78	2.36	2.45
Equitatividad de Pielou (J')	0.39	0.69	0.86
Dominancia de Simpson (D)	0.71	0.38	0.22

MIP = matorral inerme parvifolio; MMS = matorral mediano subinerme; MM = matorral de médanos.

Cuadro 2. Resultados del índice de similitud de Morisita.

	MIP	MMS	MDM
	------%-----		
MIP	†	76.64	30.90
MMS	76.64	---	21.21
MDM	30.90	21.21	---

† Diagonal superior e inferior: porcentaje de similitud de especies. MIP = matorral inerme parvifolio; MMS = matorral mediano subinerme; MDM = matorral de médanos.

($P < 0.05$) en cuanto a conductividad eléctrica, ya que contó con la concentración mayor de sales solubles entre las comunidades vegetales evaluadas. Finalmente, en MDM la textura del suelo fue arenosa, con pH medianamente alcalino, con baja salinidad de acuerdo a la concentración eléctrica. El nitrógeno inorgánico se encontraba en niveles muy bajos y la cantidad de fósforo fue similar a la presentada en el MIP. Las características químicas del suelo son muy importantes para la oclusión del fósforo soluble, ya que este elemento se encuentra preferentemente en suelos alcalinos, aunque es común encontrarlo unido a iones de calcio y magnesio (Cross y Schlesinger 2001; Buckingham *et al.*, 2010). Es de esperarse que en suelos calcáreos como los encontrados en los matorrales de dunas (MM), el fósforo asimilable se encuentre reducido o poco disponible para las plantas.

Wilson y Thompson (2005) mencionan que la principal fuente de nitrógeno en estos paisajes está dada por las relaciones simbióticas con bacterias fijadoras de nitrógeno en los mezquites, además del aporte significativo que las hojas en descomposición pueden acarrear al suelo. En este estudio los valores bajos de nitrógeno y fósforo pueden estar relacionados con los valores altos del pH, dando como resultado una baja disponibilidad (Dragovic *et al.*, 2008); González-Rodríguez *et al.* (2013) reportaron valores similares en el pH del suelo en dos sitios de estudio en el Noroeste de México (Nuevo León y Coahuila), mencionan que esta variable tiende a limitar la solubilidad de macro y micro nutrientes en el suelo, siendo los macronutrientes nitrógeno y fósforo los más afectados.

En cuanto al contenido de fósforo extractable en el suelo, la comunidad vegetal del MMS presentó los mayores niveles de fósforo, mientras que el resto de las comunidades MM y MIP no presentaron diferencias estadísticas significativas (Cuadro 3). Esto puede deberse a la riqueza vegetal de especies arbustivas y densidad de esporas de hongos endomicorrízicos presentes en el suelo. Los residuos orgánicos de las plantas, animales y biomasa microbiana muerta contienen compuestos de fósforo orgánico que pueden ser hidrolizados y mineralizados por acción de enzimas (fosfomono-, fosfodi- y fosfotri-esterasas) de origen tanto microbiano, fúngico o vegetal (Cross y Schlesinger, 2001; Tapía-Torres y García-Oliva, 2013). Es importante recalcar que la zona MMS presentó la mayor riqueza tanto en géneros de especies vegetales como de HMVA. Los suelos de las diferentes zonas presentaron textura arenosa. El MDM presentó el mayor porcentaje de arena, mientras que MIP y MMS no presentaron diferencias significativas. La comparación del porcentaje de limo, el cual se comporta de manera inversa al porcentaje de arena, es decir, también presenta dos grupos, solo que en este caso MM, es el matorral con menor cantidad de limo, mientras que los matorrales MIP y MSM presentaron un porcentaje de limo similar (Cuadro 3).

Identificación y Número de Esporas de HMVA

Se encontraron un total de 133 esporas en cuatro géneros: *Glomus*, *Acaulospora*, *Gigaspora* y *Paraglomus*, coincidiendo con los resultados obtenidos

Cuadro 3. Medias de los parámetros del suelo analizados para cada comunidad.

Parámetro	MIP	MMS	MM	$P < 0.05$
pH	7.808	7.99	7.988	0.465
Conductivad eléctrica (dS m ⁻¹)	1.059 b [†]	1.213 ab	1.481 a	0.000*
Temperatura (°C)	22.5 a	21.75 a	21.375 a	0.004*
Nitrógeno inorgánico (mg kg ⁻¹)	17.5675 a	17.7325 a	6.6875 b	0.015*
Fósforo asimilable (mg kg ⁻¹)	23.0625 b	72.5075 a	23.6425 b	0.004*
Arena (%)	88.7 b	88.24 b	98.2 a	0.000*
Limo (%)	13.28 a	13.2 a	3.78 b	0.000*
Arcilla (%)	1.98	1.44	1.98	0.224
Clasificación textural	Arenosa franca	Arenosa franca	Arenosa	

[†] Datos con diferente letra son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$) según Tukey. * Datos que indican significancia. MIP = matorral inerme parvifolio; MMS = matorral mediano subinerme; MDM = matorral de médanos. (Cuadro horizontal).

por Camargo *et al.* (2010); Lugo *et al.* (2008) y Sánchez Colín (2005), quienes reportaron la presencia de los géneros *Acaulospora*, *Glomus* y *Gigaspora* en vegetación xerófila del país. *Glomus* ha sido el principal género observado en zonas áridas y dunas (Beena *et al.*, 2000a y b). Algunas especies reportadas son: *Glomus mosseae*, *Glomus dimorphicum*, *Glomus fasciculatum*, aunque también pueden estar presentes los géneros *Gigaspora* (*Gigaspora gigantea*), *Acaulospora* (*Acaulospora taiwania*) y *Sclerocystis* (Ferrera y Lara, 1987; Beena *et al.*, 2000a y b). Mohan y Mishra (1998) reportaron que esporas de los géneros: *Glomus*, *Gigaspora* y *Sclerocystis* estuvieron colonizando suelos desérticos de la India. El MMS fue la comunidad con mayor número de HMVA ($n = 106$ esporas) concentrados en su mayoría en el género *Glomus*. La zona MDM presentó el menor número de esporas y géneros de HMVA, seguido del MIP con 19 registros de esporas. Estos resultados coinciden con los que obtuvieron Chimal-Sánchez *et al.* (2016), reportando que la zona de mayor riqueza también fue un matorral mediano subinorme, considerado como una zona de transición entre las comunidades vegetales estudiadas; mientras que en las demás comunidades muestreadas cuya vegetación es más definida, la densidad de esporas fue mucho menor. La mayoría de los estudios de zonas áridas en México, coinciden que los suelos presentan una riqueza de esporas baja (Bashan *et al.*, 2007; Tapia-Goné *et al.*, 2008; Chimal-Sánchez *et al.*, 2016). Algunas especies se encontraron en más de una comunidad vegetal (Cuadro 4).

Existen otros factores que son importantes a considerar como respuesta a la presencia y densidad de esporas en las comunidades vegetales. Entre ellos se encuentra la identidad del hospedero, la afinidad entre hongo-planta, las características físico-químicas del

Cuadro 4. Riqueza y número de esporas por comunidad vegetal.

Género	MIP	MMS	MM
<i>Acaulospora</i>	13	11	6
<i>Glomus</i>	6	86	2
<i>Gigaspora</i>	-	5	-
<i>Paraglomus</i>	-	4	-
Número de esporas	19	106	8
Riqueza (géneros)	2	4	2

MIP = matorral inorme parvifolio; MMS = matorral mediano subinorme; MM = matorral de médanos.

suelo, el clima y específicamente la humedad retenida en el suelo (Armenta *et al.*, 2016), algunas de ellas no consideradas en este estudio.

Comparación del Número de Esporas por Comunidad Vegetal en Relación a la Concentración de Nitrógeno Inorgánico y Fósforo Asimilable

El análisis de correlación de Pearson indicó que no existió relación estadística significativa entre la cantidad de nitrógeno inorgánico del suelo presente en cada comunidad vegetal con el número de las esporas de HMVA (Figura 4); De acuerdo con Santos *et al.* (2006) existe una correlación negativa entre el nitrógeno y la presencia de HMVA; pero de acuerdo con otros investigadores (Pezzani *et al.*, 2006; Camargo y Dhillion, 2003), existe una relación positiva entre los niveles de nitrógeno en el suelo y la cantidad de esporas en el área; a pesar de que no se encontró dicha relación, se puede apreciar una tendencia, ya que el suelo de la comunidad con mayores valores de esporas coincide con ser el que presentó la mayor concentración de nitrógeno. García Sánchez *et al.* (2008) no encontraron relación entre los niveles de nitrógeno y la diversidad, densidad o presencia de HMVA. Sin embargo, respecto al fósforo, se identificó una significativa relación entre la concentración de este y la densidad de esporas ($r = 0.987$), destacando en el MMS. Aguilera Gómez *et al.* (2008) encontraron que existía una relación

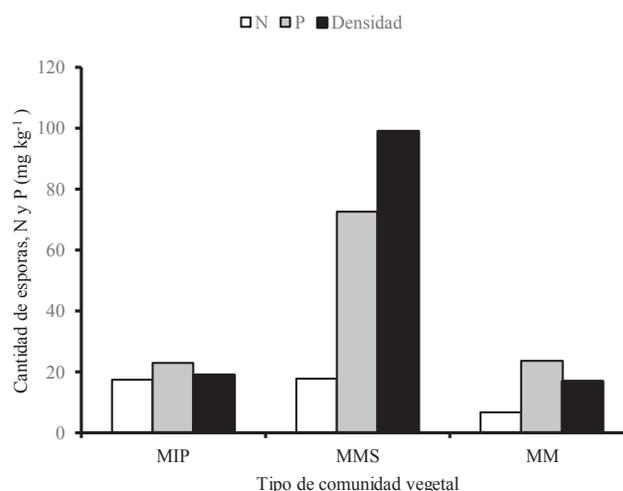


Figura 4. Cantidad de esporas, Nitrógeno y Fosforo en las tres áreas de estudio del ANP médanos de Samalayuca. MIP = matorral inorme parvifolio; MMS = matorral mediano subinorme; MM = matorral de médanos.

entre el número de esporas y la cantidad de fósforo presente en el suelo; al igual que Pezzani *et al.* (2006) y Valentine y Kleinert (2007), quienes encontraron que los lugares con mayor cantidad de fósforo coincidían con ser los de mayor cantidad, riqueza y colonización de HMVA. Las micorrizas arbusculares son consideradas como las asociaciones fúngicas que aportan el mayor y más importante flujo de carbono y nutrientes dentro de los ecosistemas desérticos (Montaño *et al.*, 2007; Brundrett, 2009). Sin embargo, las condiciones climáticas, principalmente la distribución y frecuencia de las lluvias, pueden influir en la abundancia de las mismas (Gutiérrez-Gutiérrez *et al.*, 2017). En algunos estudios realizados en México, particularmente en la sierra sonorense, se ha denotado que la variación de la capacidad de esporulación de los hongos, no sólo depende del hospedante al que los HMVA se encuentren asociados sino también, por la presencia de lluvia o períodos de sequía, principalmente en la rizósfera de plantas crassicaule del género *Agave*, la esporulación es más abundante en la estación lluviosa que en la época de sequía, además de mostrar una diversidad funcional entre los hongos MVA a lo largo del año. Mencionan también que la disponibilidad de elementos como sodio, potasio y magnesio son determinantes para establecer una relación micorrízica (Ochoa-Meza *et al.*, 2008). La variable precipitación en relación con la densidad de esporas no fue considerada en este estudio.

CONCLUSIONES

A partir de la caracterización de las esporas se lograron identificar los géneros *Acaulospora*, *Glomus*, *Gigaspora* y *Paraglomus* de los hongos micorrízicos de tipo vesículo arbusculares (HMVA) presentes en las tres zonas estudiadas dentro del ANP médanos de Samalayuca. En general las especies vegetales dominantes en todos los sitios fueron *Larrea tridentata* y *Prosopis juliflora* var. *glandulosa*, sin embargo, la comunidad vegetal de mayor riqueza de especies fue el matorral mediano subinerme con mayor vegetación característica de zona áridas, como *Atriplex canescens*, *Yucca elata* y *Fouquieria splendens*. Los suelos del área de estudio resultaron arenosos, alcalinos, sin problemas de salinidad, bajos en nitrógeno inorgánico y altos en fósforo extractable. La relación entre la cantidad de esporas y concentración de nutrientes demuestra que entre más pobre en nutrientes, principalmente en

fósforo menor número de esporas y viceversa, aunque no se pudo determinar directamente la resistencia de las plantas con la presencia de los HMVA. Sin embargo, se puede concluir que puede existir una relación de la riqueza de especies vegetales con la concentración de fósforo y la densidad de esporas de HMVA, debido a que la comunidad matorral mediano subinerme (MMS) presentó las tres características mencionadas en mayor número. Por ello, se recomienda continuar los estudios de identificación de especies de HMVA en la rizósfera de las principales especies vegetales más dominantes del matorral desértico y relacionarlo con la calidad del suelo, estacionalidad, clima y los atributos principales de dichas especies vegetales para encontrar una respuesta más directa del comportamiento de estas tres variables; suelo, hongo y planta.

LITERATURA CITADA

- Aguilera-Gómez, L. I., I. V. Rivas-Manzano, O. Ocampo-Jiménez y V. Olalde-Portugal. 2008. Los Glomales de las planicies del Desierto de Sonora. pp.85-95. In: N. M. Montaño, S. L. Camargo-Ricalde, R. García-Sánchez y A. Monroy-Ata (eds.). Micorrizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiáridos. Mundi-Prensa, Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT, UNAM. México, D. F.
- Alanís-Rodríguez, E., A. Mora-Olivo, J. Jiménez-Pérez, M. A. González-Tagle, J. I. Yarena-Yamallel, J. G. Martínez-Ávalos y L. E. González-Rodríguez. 2015. Composición y diversidad del matorral desértico rosetófilo en dos tipos de suelo en el noreste de México. *Acta Bot. Mex.* 110: 105-117.
- Alarcón, A. y R. Ferrera-Cerrato. 1999. Manejo de la micorriza arbuscular en sistemas de propagación de plantas frutícolas. *Terra.* 17: 179-191.
- Armenta C., A. D., E. Furrázola, S. F. Moreno, G. I. Ayala y A. Ochoa. 2016. Variación en el estatus micorrízico de leguminosas del Desierto Sonorense. *Rev. Cienc. Biol. Salud* 18: 52-58.
- Bashan, Y., T. Khaosaad, B. G. Salazar, J. A. Ocampo, A. Wiemken, F. Oehl, and H. Vierheilig. 2007. Mycorrhizal characterization of the boojum tree, *Fouquieria columnaris*, an endemic ancient tree from the Baja California Peninsula, Mexico. *Trees* 21: 329-335. doi: 10.1007/s00468-007-0126-2.
- Beena, K. R., N. S. Raviraja, and K. R. Sridhar. 2000a. Seasonal variations of arbuscular mycorrhizal fungal association with *Ipomoea pes-caprae* of coastal sand dunes, Southern India. *J. Environ. Biol.* 21: 341-347.
- Beena K. R., N. S. Raviraja, A. B. Arun, and K. R. Sridhar. 2000b. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi on the coastal sand dunes of the west coast of India. *Current Sci.* 79: 1459-1466.
- Brundrett, M. C. 2009. Mycorrhizal associations and other means of nutrition of vascular plants: Understanding the global diversity of host plants by resolving conflicting information and developing reliable means of diagnosis. *Plant Soil* 320: 37-77. doi: 10.1007/s11104-008-9877-9.

- Buckingham, S. E., J. Ne, B. Titiz-Maybach, and R. L. Reynolds. 2010. Chemical and textural controls on phosphorus mobility in drylands of southeastern Utah. *Biogeochemistry* 100: 105-120. doi: 10.1007/s10533-010-9408-7.
- Caballero-Mellado, J., J. Onofre-Lemus, P. Estrada-de los Santos, and L. Martínez-Aguilar. 2007. The tomato rhizosphere, an environment rich in nitrogen-fixing *Burkholderia* species with capabilities of interest for agriculture and bioremediation. *Appl. Environ. Microbiol.* 73: 5308-5319.
- Camargo-Ricalde, S. L., I. Reyes-Jaramillo, and N. M. Montaña. 2010. Forestry insularity effect of four *Mimosa* L. species (Leguminosae-Mimosoideae) on soil nutrients of a Mexican semiarid ecosystem. *Agrofor. Syst.* 80: 385-397. doi: 10.1007/s10457-010-9330-y.
- Camargo-Ricalde, S. L. and S. S. Dhillion. 2003. Endemic *Mimosa* species can serve as mycorrhizal "resource islands" within semiarid communities of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Mycorrhiza* 13: 129-136.
- Carmona-Lara, M. P., R. Foroughbakch, A. Flores-Váldez, M. A. Alvarado y M. Guzmán-Lucio. 2008. Flora cactológica y especies asociadas en el área natural protegida Sierra Corral de los Bandidos, Nuevo León, México. *Rev. Mex. Biodiv.* 79: 307- 323.
- Chimal-Sánchez, E., N. M. Montaña, S. L. Camargo-Ricalde, R. García-Sánchez y L. V. Hernández-Cuevas. 2016. Nuevos registros de hongos micorrizógenos arbusculares para México. *Rev. Mex. Biodiv.* 87: 242-247.
- Colwell, R. K. 2016. Programa EstimateS (Statistical Estimation of Species Richness and Shared Species from Samples). Programa y guía de uso. <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates/uso> (consulta: marzo 15, 2018).
- COTECOCA (Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero). 1978. Comisión técnico consultiva para la determinación regional de los coeficientes de agostadero. Chihuahua. Secretaría de Agricultura y recursos Hidráulicos. Subsecretaría de Ganadería. Chihuahua, Chihuahua, México.
- Cross, A. F. and W. H. Schlesinger. 2001. Biological and geochemical controls on phosphorus fractions in semiarid soils. *Biogeochemistry* 52: 155-172.
- Dragovic, S., N. Mihailovic, and B. Gajic. 2008. Heavy metals in soils: Distribution, relationship with soil characteristics and radionuclides and multivariate assessment of contamination sources. *Chemosphere* 72: 491-495.
- Encina-Domínguez, J. A., J. A. Meave, and A. Zárate-Lupercio. 2013. Structure and woody species diversity of the *Dasyllirion cedrosanum* (Nolinaceae) rosette scrub of central and southern Coahuila State, Mexico. *Bot. Sci.* 91: 335-347.
- Enriquez-Anchondo, I. D. 2003. Las cactáceas de Samalayuca. *Rev. Cienc. Tecnol. UACJ* 2: 55-62.
- Estrada-Castillón, E., J. A. Villarreal-Quintanilla y E. Jurado. 2005. Leguminosas del norte del estado de Nuevo León, México. *Act. Bot. Mex.* 73: 1-18.
- Ferrera C., R. and V. Lara F. 1987. Effect of six vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on a forage legume (*Dalea bicolor*) from Mexican arid and semiarid zones. *Nitrogen Fixing Tree Res. Rep.* 5: 37-38.
- García-Sánchez, R., A. Monroy-Ata y E. Chimal-Sánchez. 2008. Hongos micorrizógenos arbusculares asociados a diferentes plantas y matorrales del Valle del Mezquital, Hidalgo, México. pp. 123-136. *In:* N. M. Montaña, S. L. Camargo-Ricalde, R. García-Sánchez y A. Monroy-Ata (eds.). *Micorrizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiáridos*. Mundi-Prensa, Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT, UNAM. México, D. F.
- González R., H., R. G. Ramírez, I. Cantú S., M. V. Gómez M., M. Cotera C., A. Carrillo P. y J. J. Marroquín C. 2013. Producción de hojarasca y retorno de nutrientes vía foliar en un matorral desértico micrófilo en el noreste de México. *Rev. Chapingo Ser. Cienc. For. Amb.* 19: 249-262.
- González P., A. y M. Sosa C. 2003. Análisis de la vegetación del área de protección de flora y fauna Cañón de Santa Elena (desierto chihuahuense, México) utilizado Modelos Digitales de Elevación. *Ecosistemas* 2003/2. URL: <http://www.aect.org/ecosistemas/032/investigacion1.htm> (Consulta: mayo 15, 2018).
- González-Delgado, M., R. Foroughbakch-Pournavab, L. Rocha-Domínguez, M. A. Guzmán-Lucio y R. González-Rodríguez. 2016. Composición florística y caracterización estructural del matorral desértico micrófilo en Galeana, Nuevo León. *Rev. Mex. Cienc. For.* 8: 83-98.
- González-Rodríguez, H., R. G. Ramírez-Lozano, I. Cantú-Silva, M. V. Gómez-Meza, M. Cotera-Correa, A. Carrillo-Parra y J. J. Marroquín-Castillo. 2013. Producción de hojarasca y retorno de nutrientes vía foliar en un matorral desértico micrófilo en el Noreste de México. *Rev. Chapingo Ser. Cienc. For. Amb.* 19: 249-262.
- González-Rodríguez, H., R. Ramírez-Lozano, I. Cantú-Silva, M. Gómez-Meza y J. Uvalle-Sauceda. 2010. Composición y estructura de la vegetación en tres sitios del estado de Nuevo León. *Polibotánica* 29: 91-106.
- Granados-Sánchez, D., A. Sánchez-González, R. L. Granados-Victorino y A. Borja de la Rosa. 2011. Ecología de la vegetación Chihuahuense. *Rev. Chapingo Ser. Cienc. For. Amb. Ed. Esp.* 17: 111-130.
- Gutiérrez-Gutiérrez, M., M. Pando-Moreno, H. González-Rodríguez y D. Mendoza-Aguilar. 2017. Efecto del micrositio en la composición de costras biológicas del suelo en un área de matorral micrófilo del desierto chihuahuense, México. *Interciencia* 42: 212-214.
- Hernández-Cuevas, L., S. Castillo-Argüero, P. Guadarrama-Chávez, Y. Martínez-Orea, M. A. Romero-Romero e I. Sánchez-Gallén. 2003. Hongos micorrizógenos arbusculares del Pedregal de San Ángel. Las Prensas de Ciencias, UNAM. México, D.F.
- Lugo, M. A., M. Ferrero, E. Menoyo, M. C. Estévez, F. Siñeriz, and A. Anton. 2008. Arbuscular mycorrhizal fungi and rhizospheric bacteria diversity along an altitudinal gradient in south american Puna grassland. *Microb. Ecol.* 55: 705-713.
- Keeney, D. R. and D. W. Nelson. 1982. Nitrogen-Inorganic forms. pp. 643-698. *In:* A. L. Page (ed.). *Methods of soil analysis. Agronomy monograph 9, Part 2.* ASA, SSSA. Madison, WI, USA.
- Krebs, Ch. 1998. Ecología. Estudio de la distribución y la abundancia. Harla. México, D. F.
- Martínez-García, L. B. 2011. Shrubs influence arbuscular mycorrhizal fungi communities in a semi-arid environment. *Soil Biol. Biochem.* 3: 682-689.
- Mata, M., E. Treviño, A. Valdecantos, J. Jiménez, O. Aguirre, E. Alanís y E. Foroughbackch. 2014. Diversidad y composición vegetal de matorrales en el Valle de Santa Catarina, en el noreste de México. *Rev. Iberoame. Cienc.* 1: 1-15.

- Mohan, V. and R. N. Mishra. 1998. Studies on VAM association in Marwar Teak (*Tecomella undulata* (Smith) Seeman) in desert soils of Rajasthan. *Mycorrhiza* 10: 16-18.
- Monroy-Ata, A., J. Estevez T., R. García-Sánchez y R. Ríos G. 2007. Establecimiento de plantas mediante el uso de micorrizas y de islas de recursos en un matorral xerófilo deteriorado. *Bol. Soc. Bot. Mex.* 80: 49-57.
- Montaño, N. M., S. L. Camargo-Ricalde, R. García-Sánchez y A. Monroy Ata. 2007. Micorrizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiáridos. Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT, UAM-Iztapalapa, FES Zaragoza, UNAM. Mundi-Prensa. México, D. F.
- Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. *M&T-Manuales y Tesis SEA*, vol. 1. Zaragoza, España.
- Morton, J. B., R. E. Koske, S. L. Stürmer, and S. P. Bentivenga. 2004. Mutualistic arbuscular endomycorrhizal fungi. pp.317-336. *In*: G. M. Mueller, G. F. Bills, and M. S. Foster (eds.). *Biodiversity of fungi: Inventory and monitoring methods*. Smithsonian Institution Press. Washington, DC, USA.
- NOM-021-RECNAT-2000 (Norma Oficial Mexicana 2000). 2002. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D. F.
- Ochoa-Meza, A., M. Esqueda, R. Fernández-Valle y R. Herrera-Peraza. 2009. Variación estacional de hongos micorrízicos arbusculares asociados con *Agave angustifolia* Haw. En la sierra sonorense, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 32: 189-199.
- Olsen, S. R. and L. E. Sommers. 1982. Phosphorus. pp. 403-430. *In*: A. L. Page (ed.). *Methods of soil analysis. Chemical and microbiological properties*. Agronomy 9 part 2. American Society of Agronomy. Madison, WI, USA.
- Pezzani, F., C. Montaña, and R. Guevara. 2006. Associations between arbuscular mycorrhizal fungi and grasses in the successional context of a two-phase mosaic in the Chihuahuan Desert. *Mycorrhiza* 16: 285-295.
- Sánchez-Colín, M. J. 2005. *Micorrizas. Aspectos generales*. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. México, D. F.
- Santos, J. C., R. D. Finlay, and A. Tehler. 2006. Molecular analysis of arbuscular mycorrhizal fungi colonizing a semi-natural grassland along a fertilisation gradient. *New Phytol.* 172: 159-168.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2013. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Edición 2012. México, D. F.
- Sosa, M., J. L. Galarza, T. Lebgue, R. Soto y S. Puga. 2006. Clasificación de las comunidades vegetales en la región árida del estado de Chihuahua. *Ecol. Aplic.* 5: 53-59.
- Tapia-Goné, J., R. Ferrera-Cerrato, L. Varela-Fregoso, J. C. Rodríguez-Ortiz, J. Lara-Mireles, J. C. Soria-Colunga, H. Cuellar-Torres, M. A. Tiscareño-Irichaeta y R. Cisneros-Almazán. 2008. Caracterización e identificación morfológica de hongos formadores de micorriza arbuscular, en cinco suelos salinos del estado de San Luis Potosí, México. *Rev. Mex. Mic.* 26: 1-7.
- Tapia-Torres, Y. y Y. F. García-Oliva. 2013. La disponibilidad del fósforo es producto de la actividad bacteriana en el suelo en ecosistemas oligotróficos: una revisión crítica. *Terra Latinoamericana* 31: 231-242.
- Trejo, D., R. Zulueta y L. Lara. 2008. Manual de prácticas para el estudio de la simbiosis micorrizógena arbuscular. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México.
- Uhlmann, E., C. Görke, A. Petersen, and F. Oberwinkler. 2004. Arbuscular mycorrhizae from semiarid regions of Namibia. *Can. J. Bot.* 82: 645-653. doi: 10.1139/b04-039.
- Valentine, A. J. and A. Kleinert. 2007. Respiratory responses of arbuscular mycorrhizal roots to short-term alleviation of P deficiency. *Mycorrhiza* 17: 137-143.
- Wilson, T. B. and T. L. Thompson. 2005. Soil nutrient distributions of mesquite-dominated desert grasslands: Change in time and space. *Geoderma* 126: 301-315. doi: 10.1016/j.geoderma.2004.10.002.

Análisis proximal y de composición mineral de cuatro especies de hongos ectomicorrízicos silvestres de la Sierra Tarahumara de Chihuahua.

Liliana de Jesús Gómez Flores¹, Nina del Rocío Martínez-Ruiz¹, Irma Delia Enriquez-Anchondo¹, Fortunato Garza-Ocañas², Jesus Alejandro Najera Medellín¹ Miroslava Quiñónez-Martínez¹

1 Instituto de Ciencias Biomédicas (ICB); Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ).
Av. Benjamín Franklin no. 4650, Zona PRONAF, 32310 Cd Juárez, Chih. *E-mail: mquinone@uacj.mx

2 Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, Carretera Nacional No. 85 km 145.
67700 Linares, Nuevo León, México.

RESUMEN

En Chihuahua se han registrado cerca de 500 especies de hongos macromicetos, de los cuales 73 son consideradas comestibles a nivel mundial. Con la finalidad de determinar el contenido nutricional y mineral se colectaron en campo carpóforos de *Astraeus hygrometricus*, *Laccaria laccata*, *Amanita caesarea* y *Pisolithus tinctorius* en dos zonas del municipio de Bocoyna, Chihuahua. A estos se les realizó un análisis proximal para determinar el porcentaje de humedad, proteínas, grasas totales, cenizas y carbohidratos totales, así mismo se realizó un análisis de composición mineral para determinar el porcentaje de nitrógeno total (N₂) (técnica Micro-Kjedhal), fósforo (P) (mezcla digestora triácida, vanadato y clorimetría), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn) y zinc (Zn) (mezcla digestora triácida y espectrofotometría de absorción atómica). Los resultados muestran que *P. tinctorius* es la especie con mayor contenido de minerales, *A. hygrometricus* en contenido de carbohidratos, *A. caesarea* en contenido de grasas y *L. laccata* en proteínas. De los 10 distintos minerales que fueron determinados, *A. caesarea* parece presentar el contenido más elevado en N₂, P, K y Zn, mientras que *A. hygrometricus* tiene los valores más altos de Ca y Mn. *L. laccata* por su parte muestra los contenidos más altos en Mg, Na y Cu. Finalmente *P. tinctorius* resultó con los valores más altos en Fe. En general, la composición proximal y mineral de estos hongos se encuentra dentro del rango establecido para hongos comestibles por lo que son una buena alternativa alimenticia para los habitantes de la zona.

Palabras clave: Hongos ectomicorrízicos, Análisis proximal, Composición mineral, Sierra Tarahumara.

Proximate analysis and mineral composition of four species of wild ectomycorrhizal fungi of the Sierra Tarahumara de Chihuahua.

ABSTRACT

In Chihuahua there have been register 500 species of macromycetes mushrooms, of which 73 are considered edible worldwide. The objective of this study was to determine the proximate and mineral composition of four edible ectomycorrhizal fungi species of the Sierra Tarahumara in Chihuahua. Carpophores of *Astraeus hygrometricus*, *Laccaria laccata*, *Amanita caesarea* and *Pisolithus tinctorius* were collected in two areas of the municipality of Bocoyna, Chihuahua. A proximal analysis was done to determine the percentage of humidity, ash, carbohydrates, proteins and total fats, as well as an mineral analysis to quantify the percentage of total nitrogen (Nt)

(Micro-Kjedhal technique), phosphorus (P) (triacid digester mixture, vanadate and chlorimetry), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), sodium (Na), copper (Cu), iron (Fe), manganese (Mn) and zinc (Zn) (triacid digester mixture and atomic absorption spectrophotometry). The results show that *P. tinctorius* is the species with the highest content of minerals, *A. hygrometricus* in carbohydrate content, *A. caesarea* in fat content and *L. laccata* in protein. Of the 10 different minerals evaluated, *A. caesarea* has the highest content in Nt, P, K and Zn, while *A. hygrometricus* has the highest values of Ca and Mn. *L. laccata* shows the highest contents in Mg, Na and Cu. Finally, *P. tinctorius* was found with the highest values in Fe. In general, the proximal and mineral results of these fungi is within the established range for edible fungi, so these fungi are a good alternative food for the inhabitants of the area.

Keywords: Ectomycorrhizal fungi, Proximate analysis, Mineral composition, Sierra Tarahumara.

INTRODUCCIÓN

Desde hace tiempo los bosques han sido vistos únicamente como fuente de producción de madera, sin embargo, tienen la capacidad de ofrecer otros recursos que ayudan a mejorar el desarrollo económico de sus comunidades, por ejemplo, la producción y recolección de hongos comestibles (Gysling-Caselli *et al.*, 2005).

Los hongos son uno de los grupos taxonómicos más diversos. En México se encuentra el 10% de especies de hongos comestibles del mundo, de los cuales del 46 al 50% son micorrízicos (Villareal, 1996; Pérez-Moreno *et al.*, 2010). Los hongos ectomicorrízicos (HEM) son un recurso natural renovable que, además de contribuir al buen desarrollo de las plantas (ayudando en la captación eficiente de nutrientes y agua del suelo) generan ingresos económicos debido a su venta, además de servir como alimento para las comunidades locales (Gysling-Caselli *et al.*, 2005; García *et al.*, 2006; Chávez *et al.*, 2009; Ortiz, 2012; Domínguez *et al.*, 2013; Quiñonez-Martínez *et al.*, 2015). La recolección de hongos para consumo se ha realizado desde la antigüedad debido a su sabor, textura, a su alto contenido nutricional y propiedades medicinales (Boa, 2004; Gysling-Caselli *et al.*, 2005). Estudios como los de Martínez-Carrera *et al.* (2012) y Naranjo *et al.* (2013) han demostrado que los hongos comestibles son una buena fuente de proteínas, vitaminas, minerales,

carbohidratos y fibra, además de contener un bajo contenido de grasas y colesterol. En Chihuahua a pesar de la gran diversidad de hongos comestibles que existen en las comunidades del bosque, son muy pocas las especies que son aprovechadas por los pobladores. En el 2014 se realizó un estudio etnobiológico sobre el uso y conocimiento de los hongos comestibles por los pobladores de la Sierra Tarahumara de Chihuahua, los resultados mostraron que existen alrededor de 450 especies de hongos macromicetos, de los cuales 73 son considerados ~~como~~ comestibles, sin embargo, solo 16 especies son aprovechadas para consumo, siendo *Amanita caesarea* y *Laccaria laccata* algunas de las más consumidas (Quiñonez-Martínez *et al.*, 2014). En la Sierra se encuentran también especies como: *Pisolithus tinctorius* y *Astraeus hygrometricus*, que no se encuentran dentro las especies comestibles en México, sin embargo, poseen alto valor económico en otras partes del mundo como Australia y Asia donde son consumidos en estadios juveniles (FAO, 2005; Fangfuk *et al.*, 2010).

Guzmán (2008) y Pérez-Moreno (2012) mencionan que el contenido nutricional de los hongos silvestres comestibles varía de acuerdo con la especie, su grado de desarrollo, así como de la región en la que crecen, época del año y tipo de suelo. Por ello, el objetivo del presente estudio fue determinar la composición proximal y análisis mineral de cuatro especies de hongos ectomicorrízicos comestibles de la Sierra Tarahumara de Chihuahua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colecta de cuerpos esporocarpos

La obtención de los cuerpos fructíferos fúngicos se realizó con un permiso de colecta emitido por la SEMARNAT (2016). La recolección se realizó durante la época de lluvias en los meses de agosto y septiembre del 2016 y 2017, en las localidades de Creel (27° 45' 04'' N 107° 38' 02'' W)

y San Juanito (28° 00' 52'' N 107° 35' 39'' W) pertenecientes al municipio de Bocoyna en el estado de Chihuahua. Este municipio se localiza en la parte más alta de la Sierra Tarahumara a una altura de 2 800 msnm, con temperaturas máximas promedio de 31.1° C y mínimas de -17.8° C (INAFED, 2012).

Se realizó una primera identificación en campo de las especies de interés para el estudio, correspondientes a *P. tinctorius*, *A. hygrometricus*, *A. caesarea* y *L. laccata*, usando guías especializadas (Laessoe, 1998; Pacioni, 1981). Posteriormente se trasladaron al laboratorio de Ciencias de los Alimentos en el Instituto de Ciencias Biomédicas (ICB) de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ) para la determinación de nutrientes.

Preparación de las muestras

Una vez en el laboratorio, 80 g de carpóforos por cada especie fueron colocados en bolsas plásticas manteniéndose en congelación a -20 °C hasta su análisis. Las muestras por separado de *P. tinctorius*, *A. hygrometricus* y *A. caesarea* fueron molidas y homogeneizadas en un procesador de alimentos (Nutribulet®), posteriormente se colocaron en frascos de vidrio y se mantuvieron en congelación a -20 °C. Debido a las características de los carpóforos, *L. laccata* fue pulverizada directamente en un mortero hasta obtener un polvo fino y homogéneo. Todas las pruebas se realizaron por triplicado.

Determinación de humedad

El contenido de humedad se determinó por el método de secado en estufa (NMX-F-083-1986) basado en la pérdida de peso por evaporación de agua. Para ello se pesaron cápsulas vacías de porcelana en una balanza analítica hasta obtener un peso constante, posteriormente se colocaron 10 g de la muestra y se pesaron de nuevo (cápsula vacía + muestra), después se colocaron en la estufa a 105° C durante 8 h, pasado este tiempo las cápsulas se colocaron en desecadores (30 min)

hasta que alcanzaron la temperatura ambiente (25° C), finalmente se registró el peso de la cápsula más la muestra seca. Para la determinación del porcentaje de humedad se utilizó la siguiente ecuación.

$$\% \text{ Humedad} = \left(\frac{P - P1}{P2} \right) * 100$$

Donde: P= peso de la cápsula más la muestra húmeda en gramos, P1= peso de la cápsula más la muestra seca en gramos y P2= peso en gramos de la muestra.

Determinación de cenizas totales.

El contenido de minerales de los hongos se determinó mediante el método de calcinación en mufla (NMX-F-066-S-1978) en donde la materia orgánica de las muestras se calcina quedando solo los residuos inorgánicos. Para este análisis se registró el peso de crisoles de porcelana a temperatura constante. Posteriormente se colocaron 2 g de cada una de las muestras y se carbonizaron lentamente hasta que dejaron de desprender humo, después los crisoles se colocaron en una mufla a 550° C durante 8 h e inmediatamente después puestos en desecadores hasta que alcanzaron la temperatura ambiente, para después ser pesados en una balanza analítica. El porcentaje de cenizas se determinó en base a la siguiente ecuación.

$$\% \text{ Cenizas} = \left(\frac{P - p}{M} \right) * 100$$

Donde: P= peso en gramos del crisol con las cenizas, p= peso en gramos del crisol vacío y M= peso de la muestra en gramos.

Determinación de grasas.

La materia grasa cruda o extracto etéreo libre se determinó mediante el método Soxhlet (AOAC, 2000), el cual se basa en la extracción del contenido graso por medio de disolventes orgánicos como el hexano. Para ello 0.5 g de cada una de las muestras de hongos fueron puestas en papel

filtro y colocadas en dedales de celulosa. Se utilizaron vasos de aluminio para la extracción del contenido lipídico, los cuales se mantuvieron a peso constante, para cada muestra se utilizó 40 mL de hexano (ACS, HYCEL®).

La extracción se realizó en cuatro etapas utilizando un equipo de extracción (Soxtec®, mod. 2043) programado a 265 °C. En la primera etapa, el solvente se llevó a punto de ebullición en contacto con la muestra por 40 minutos. Posteriormente y con la finalidad de eliminar la materia soluble restante, el hongo se enjuagó (por un tiempo de 1:20 min) con el solvente que se condensó durante el procedimiento; luego el solvente fue recuperado de la muestra, y finalmente la extracción de hexano restante en la muestra se realizó por evaporación a 105 °C durante 30 min. Una vez terminado el proceso, los vasos de aluminio se colocaron en desecadores hasta alcanzar temperatura ambiente, se registró el peso de los vasos más la grasa extraída. Para determinar el porcentaje de grasa se utilizó la siguiente ecuación.

$$\% \text{ Grasa} = \left(\frac{m2 - m1}{M} \right) * 100$$

Dónde: m2= peso en gramos de los vasos de extracción más la grasa obtenida, m1= peso en gramos de los vasos de extracción vacíos a peso constante y M= peso en gramos de la muestra.

Determinación de proteína.

La determinación de proteína se realizó de acuerdo con el método Kjeldahl (AOAC, 2000) con ligeras modificaciones. La técnica se basa en la destrucción oxidativa de la materia orgánica contenida en la muestra y la reducción del nitrógeno orgánico a amoníaco (NH₃) por ebullición del

ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado J.T. Baker, el amoníaco es retenido como bisulfato de amonio ((NH₄)HSO₄), el cual es determinado por destilación alcalina y titulación (FAO, 2018).

El análisis consistió de tres etapas: La primera fue de digestión, donde se colocó 0.5 g de la muestra en tubos para digestión Kjeldahl, a los que se le agregó mezcla digestora (CuSO₄·5H₂O 16.6%, Na₂SO₄ 83.4%) y 10 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄) J.T. Baker®; en la segunda etapa se trasladaron las muestras a matraces Erlenmeyer los cuales contenían 6 mL de ácido bórico J.T. Baker® al 4% y cuatro gotas del indicador Shiro Toshiro, posteriormente se llevó a un equipo de destilación rápida (Labconco®, mod. 65200) con hidróxido de sodio (NaOH) DEQ® al 50%; Por último, se tituló la muestra usando ácido clorhídrico (HCl) J.T. Baker® 0.1 N valorado y se registró el volumen de HCl gastado. En todas las muestras analizadas se contó con una muestra blanco. El factor de conversión usado fue 4.38 (León *et al.*, 1997). Para determinar la cantidad de proteínas se empleó la siguiente ecuación:

$$\%Proteina = \left(\frac{V * N(valorado) * 0.014 * 100}{M} \right) * 4.38$$

Dónde: V= volumen de ácido clorhídrico gastado en la titulación de la muestra menos el volumen de ácido clorhídrico gastado en el blanco, N= normalidad del ácido clorhídrico valorado, 0.014= masa equivalente del nitrógeno, M= peso de la muestra en gramos.

Determinación de carbohidratos.

Los carbohidratos totales se determinaron por el método de diferencia (AOAC, 2000) que consiste en restar al 100%, el resultado del porcentaje de humedad (H), ceniza (C), grasa (G) y proteínas (P), como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Carbohidratos totales} = 100 - \%H - \%C - \%G - \%P$$

Análisis de composición mineral.

Muestras de aproximadamente 6 g de cada hongo fueron enviadas al laboratorio de Análisis de suelo, planta y agua de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas en la Universidad Autónoma de Chihuahua, donde se les realizó un análisis foliar para determinar el porcentaje en composición de nitrógeno total (N₂), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y sodio (Na), así como la cantidad en partes por millón (ppm) de cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn) y zinc (Zn).

Para determinar el N₂ se utilizó la técnica Micro-Kjedahl. El porcentaje de P se determinó utilizando la técnica de mezcla digestora triácida, vanadato y clorimetría la cual se basa en la extracción de ese elemento de acuerdo con la metodología de Tiessen y Moir (1993), y la determinación se hace colorimétricamente de acuerdo con Murphy y Riley (1962). La cuantificación de K, Ca, Mg, Na, Cu, Fe, Mn, Zn se llevó a cabo con mezcla digestora triácida y espectrofotometría de absorción atómica (AOAC, 1990).

Diseño experimental y análisis estadístico.

Los resultados se analizaron y compararon utilizando el software SPSS versión 20 para determinar diferencias significativas entre las cantidades de carbohidratos, porcentajes de humedad, grasas totales y proteínas entre los cuatro hongos estudiados. Se realizaron pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk ($n \leq 30$) y de homogeneidad de varianzas de Levene ($p \geq 0.05$), posteriormente se realizó un análisis de varianza ANOVA ($p \leq 0.05$). y una prueba de comparación múltiple de medias de Duncan para estimar los resultados de mayor o menor nivel ($p \leq 0.05$). Los datos que no se ajustaron a una distribución normal y que no suponían varianzas iguales se analizaron a través de pruebas de t-Student para varianzas desiguales ($\alpha = 0.05$). Los resultados presentados corresponden a la media de tres repeticiones realizadas, excepto en el contenido de minerales donde solo fue muestra única.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Humedad

Al evaluar el contenido nutricional de los hongos, el factor vital siempre recae en el porcentaje de humedad ya que afecta directamente el contenido nutrimental de los hongos (Diez y Álvarez, 2001). La Figura 1 presenta los porcentajes de humedad promedio obtenidos.

Los resultados más bajos se alcanzaron en *P. tinctorius* y *A. hygrometricus* con 9.8 y 12.2% respectivamente, en cambio los valores más altos se obtuvieron en los hongos epigeos con forma de sombrero, principalmente en *A. caesarea* con 94.9%. Los resultados para *A. caesarea* concuerdan con los valores reportados por autores como Naranjo *et al.* (2013) y Quiñonez y Ocañas (2015) donde obtuvieron un porcentaje de humedad de 93.4 y 92.4%. Así mismo los valores obtenidos para *L. laccata*, coinciden a los reportados por Díaz (2009) y Jha y Tripathi (2012) los cuales se encontraban entre 92.1% y 87.8%. Estos valores tan altos de contenido de humedad son un indicio de que estos hongos no pueden ser conservados por largos periodos en estadio fresco (Jha y Tripathi, 2012; Roncero, 2015), esto es debido a que la alta cantidad de agua incrementa y sostiene el crecimiento bacteriano (Brock *et al.*, 1986).

El porcentaje de humedad obtenido para las especies de *A. hygrometricus* y *P. tinctorius* en el presente estudio no están dentro del rango caracterizado (80-90%) reportado en la literatura (Singh, 2010 y Biswass, 2010), lo cual puede dar indicios de que los carpóforos colectados se encontraban en estadios finales de su fenología. Estos resultados se traducen en un alto contenido en materia seca para ambas especies con un 87.7% de humedad para *A. hygrometricus* y 90.1% para *P. tinctorius*.

La cantidad de agua en los hongos esta relacionada con su tipo de desarrollo o fenología. Por ejemplo, los hongos epigeos como *A. caesarea* y *L. laccata* se desintegran en pocos días (Díaz *et al.*, 2018), debido a su rápido desarrollo toman y pierden agua muy rápidamente, en cambio los hongos hipogeos como *P. tinctorius* y *A. hygrometricus* en fase juvenil, tienen un desarrollo mucho más lento que puede durar semanas e incluso meses debido al bajo contenido de humedad en los carpóforos (REF).

Cenizas

Los hongos usualmente presentan alrededor del 5-12% de cenizas. Este contenido da una idea aproximada acerca del contenido mineral presente en sus cuerpos fructíferos (Pavel, 2009). El contenido de cenizas en todas las especies analizadas presenta diferencias significativas ($p \leq 0.05$) (Cuadro 1), *P. tinctorius* es el que tiene mayor contenido de minerales y *A. hygrometricus* el menor, sin embargo, ambos se encuentran dentro del rango del contenido de minerales de hongos silvestres comestibles (Pavel (2009).

A. hygrometricus presentó valores menores a los reportados por Sanmee *et al.* (2003) y Biswas *et al.*, (2017) quienes obtuvieron un valor de 20.9% y 27.6%, respectivamente. Sin embargo, fue mayor que el presentado por Singh (2010) con un valor de 2.5%. Un aspecto importante a resaltar es que el color de las cenizas obtenidas fue café rojizo, característica que no fue registrada en ninguna de las otras especies. *A. caesarea* obtuvo el mismo contenido de minerales que el reportado por Naranjo *et al.*, (2013), aunque menor por el reportado por Odoh *et al.* (2017) con un promedio de 23.44%. El hongo *L. laccata* presentó un contenido de cenizas (12.5%) similar al reportado por Jha y Tripathi (2012) con un promedio de 12.22% en contenido de este componente, por otra parte, fue menor a los reportados por Díaz (2009) y Egwim *et al.* (2011) con 29.23% y 33.60%, respectivamente. Al realizar una comparación con tres de los hongos cultivados más

consumidos en México como *Agaricus bisporus* (9.4%), *Lentinula edodes* (3.7%) y *Pleurotus ostreatus* (6.7%) (Ciappini *et al.*, 2004; Vega, 2012) se obtuvo que el contenido de minerales de los cuatro hongos ectomicorrízicos de la Sierra Tarahumara son mayores, esto podría deberse a la diversidad de sustratos que se utilizan en su cultivo y a que los HEM fueron recolectados en su ambiente natural de bosque templado, el cual se caracteriza por tener suelos profundos con altas cantidades de materia orgánica y ricos en nutrientes, que favorecen la infiltración y migración de minerales del suelo a los hongos (CONABIO, 2014). En general el contenido de minerales de tres de los cuatro HEM se encuentra dentro del rango establecido por Pavel (2009), este mismo autor menciona que la variabilidad en el contenido de minerales depende de la composición del suelo, así como la época y etapa de recolección del hongo.

Grasa total

El contenido de grasa de todas las especies fue significativamente diferente ($p \leq 0.05$) (Cuadro 1), siendo *A. hygrometricus* el hongo con el menor contenido lipídico (1.9%) y *A. caesarea* la de mayor (15.1%). Los resultados difieren con autores que evaluaron el contenido de grasas de las mismas especies de hongos ectomicorrízicos pero en diferentes regiones. Singh (2010) reportó valores similares (1.05%) para *A. hygrometricus*, aunque Sanmee *et al.* (2003) y Biswas *et al.* (2017) reportaron valores más altos (4.4% y 3.20%). Los datos mencionados anteriormente permiten una alta comparación ya que oscilan entre 1.28-4.4%, sin embargo, todos indican un nivel bajo de contenido graso.

Los valores de grasa determinados para *A. caesarea* (15.1%) fueron más altos en comparación con los reportados por Naranjo *et al.* (2013) y Odoh *et al.* (2017) los cuales reportaron valores que iban de 4.1% a 5.81% respectivamente. El hongo *L. laccata* presentó un porcentaje de grasas de 3.8%, el cual es similar a lo reportado por Jha y Tripathi (2012) (3.3%). Sin embargo, es mayor a

comparación con lo presentado por Díaz (2009) con 2.2%, aunque más bajo en comparación con Egwim *et al.* (2011) con 8.48%.

En general, el contenido de lípidos de los hongos se encuentra dentro del rango normal (2-6%) según lo establecido por Kalác (2009), a excepción de *A. caesarea*, lo cual podría deberse a que la cantidad de ácidos grasos en los hongos varía de acuerdo con la temperatura ambiental, durante la etapa de fructificación de los hongos y al sustrato en el que crecen (Pedneault *et al.*, 2007). En comparación a los otros nutrientes el porcentaje en el contenido de lípidos fue el menor, sin embargo, siguen siendo fuente de ácidos grasos esenciales como el ácido linoleico y linolénico (Ramírez, 2004).

Proteínas

Los resultados obtenidos para los cuatro hongos (Cuadro 1) se encuentran por debajo del rango establecido por Chang y Buswell (1996), el cual va de 19 a 35%, para hongos comestibles cultivados. *Astraeus hygrometricus* presentó un contenido de proteína de 1.6%, demasiado bajo en comparación con los valores reportados por otros autores para la misma especie, cuyos valores varían entre 14-16.47% (Sanmee *et al.*, 2003; Singh, 2010; Biswas, 2017).

No se encontraron diferencias significativas entre *P. tinctorius* y *A. caesarea* (14.4 y 14.8% respectivamente; $P \geq 0.05$), resultados que concuerdan con los reportados por Naranjo *et al.* (2013).

El valor más alto se obtuvo en *L. laccata* con 15.9%, el cual es menor al reportado por Jha y Tripathi (2012) (25.71%), aunque es mayor al presentado por Díaz (2009) quien obtuvo 4.44% para dicho hongo ectomicorrízico, Sin embargo, es similar al reportado por Egwim *et al.* (2011) quien cuantificó 14.03% en proteína cruda para este hongo. Los resultados pueden diferir por el factor de conversión comúnmente utilizado de 4.16 frente al valor de 4.38 empleado en el presente estudio.

Kalác (2009), menciona que la distribución de proteínas en los carpóforos y el contenido durante el desarrollo de los mismos no es claro, la misma especie puede presentar diferentes contenidos de proteína de acuerdo al sustrato en el que se desarrolla, así mismo menciona, que el contenido de aminoácidos libres en los hongos es bajo, correspondiente al 1% de la materia seca, por lo que el contenido de aminoácidos libres para los HEM serían los siguientes: *P. tinctorius* (0.9%), *A. hygrometricus* (0.8%), *A. caesarea* (0.05%) y *L. laccata* (0.08%). Ravikrishnam *et al.* (2017) mencionan que los hongos son ricos en aminoácidos esenciales y que además los contienen en cantidades adecuadas a excepción del triptófano. Los hongos silvestres son mayor fuente de proteínas comparadas con hongos comerciales.

Carbohidratos totales

En la materia seca constituyente de los hongos, los carbohidratos están presentes en las mayores cantidades y forman la mayor parte de la composición nutrimental de los hongos, los cuales constituyen aproximadamente el 50-65%, aunque puede ser superior (Wani *et al.*, 2010).

El contenido de carbohidratos es variable en las cuatro especies estudiadas (Cuadro 1), siendo *A. hygrometricus* el de mayor contenido con 89.2%, superior a los valores reportados por Sanmee *et al.* (2003) (57.07%), Singh (2010) (30%) y Biswas *et al.* (2017) (64.33%). Odoh *et al.* (2017) reportó una composición en carbohidratos de 27.56% en *A. caesarea*, siendo un valor muy por debajo al determinado en el presente estudio (58%). Por otra parte, Naranjo *et al.* (2013) presentó valores similares para la misma especie (48.6%). Los valores obtenidos para *L. laccata* en el presente estudio son superiores a los reportados por Díaz (2009), Egwim *et al.* (2011) y Jha y Tripathi (2012), quienes obtuvieron valores de 57%, 8.17% y 58.5% respectivamente.

Los resultados obtenidos se deben a que los hongos poseen entre un 80 y 90% de quitina que es un polisacárido estructural que protege a las células en condiciones de estrés ambiental (Pontón,

2008), el contenido también varía según la fase de desarrollo y especie de hongo (Rodríguez *et al.*, 2017), además contienen también glucanos, glicoproteínas, mono y disacáridos como el manitol y la α -tetralosa que son los principales monosacáridos en los hongos (Díaz, 2009; Kalác *et al.*, 2009).

Análisis mineral

El contenido de los distintos minerales de estudio se muestra en el Cuadro 2. *Amanita caesarea* presenta aparentemente el contenido más elevado en nitrógeno total (N₂), fósforo (P), potasio (K) y zinc (Zn), mientras que *A. hygrometricus* tiene los valores más altos de calcio (Ca) y manganeso (Mn). *L. laccata* por su parte muestra los contenidos más altos en magnesio (Mg), sodio (Na) y cobre (Cu). Finalmente *P. tinctorius* resultó con los valores más altos en hierro (Fe).

Potasio, calcio, hierro, y manganeso son minerales de importancia nutrimental humana y se encontraron en una cantidad razonable, mientras que el magnesio y el sodio se encontraron en menor proporción. Estos valores son comparables con los reportados por Aletor (1995) y Egwim (2011) con hongos de carácter comestibles en Nigeria. El nitrógeno y el hierro parecen ser los minerales más abundantes en todas las especies en rangos de 1.098-3.261% y 157-397 ppm respectivamente. La preponderancia de estos minerales en estos hongos puede deberse a la absorción y acumulación de este elemento de su hábitat.

En general, los rangos de concentración de macroelementos encontrados en los hongos estudiados es similar a los reportados por estudios previos con hongos silvestres y algunos cultivados para K (0.2241-4.52%), P (0.12-1.06%), Ca (0.0034-0.53%), Na (0.0028-0.04%) y Mg (0.0058-0.18%) (Sanmee *et al.*, 2003; Moreno-Rojas *et al.*, 2004; Rudawaska & Leski, 2005; Kalác, 2009).

Los reportes publicados de Cu para hongos comestibles varían desde 3.8 ppm hasta 107 ppm (Sanmee *et al.*, 2003; Moreno-Rojas *et al.*, 2004; Ouzouni *et al.*, 2007; Isildak *et al.*, 2004; Soyлак *et al.*, 2004; Ayaz *et al.*, 2011). Los rangos encontrados en el presente estudio se ajustan a los

rangos reportados por los autores anteriormente citados. Los niveles de cobre medidos en este estudio no se consideran riesgosos para la salud al ser consumidos. La ingesta dietética recomendada para adultos es de 0.90 mg Cu/día (Ayaz *et al.*, 2011).

El contenido de hierro de las muestras de hongos reportadas en la literatura está en el rango de ocho a 3904 ppm (Sanmee *et al.*, 2003; Moreno-Rojas *et al.*, 2004; Ouzouni *et al.*, 2007; Isildak *et al.*, 2004; Soyлак *et al.*, 2004; Ayaz *et al.*, 2011). Los valores encontrados en el presente estudio se ajustan al rango normal reportado por los autores anteriormente citados. El nivel de Mn encontrado en estudios previos de hongos de crecimiento silvestre varió entre 1.2 - 329 ppm (Sanmee *et al.*, 2003; Moreno-Rojas *et al.*, 2004; Ouzouni *et al.*, 2007; Isildak *et al.*, 2004; Soyлак *et al.*, 2004; Ayaz *et al.*, 2011). El contenido de manganeso encontrado en los cuatro hongos estudiados se ajusta a los niveles encontrados previamente por otros autores. El rango de contenido de Zn reportado en la literatura para hongos comestibles es de 5.5-253 ppm (Sanmee *et al.*, 2003; Moreno-Rojas *et al.*, 2004; Ouzouni *et al.*, 2007; Isildak *et al.*, 2004; Soyлак *et al.*, 2004; Ayaz *et al.*, 2011). Se puede considerar que los hongos estudiados pertenecientes a la Sierra Tarahumara están dentro del rango normal y son una buena fuente de Zinc, sin embargo, de entre todos *A. caesarea* fue el hongo con el mayor aporte de este mineral (90 ppm), a comparación con los resultados presentados por Ayaz *et al.* (2011), cuyo valor máximo fue encontrado en *L. laccata* con una media de 241 ppm, muy por debajo de los reportados por nosotros para esta especie.

Las diferencias en los contenidos minerales de los hongos reportados tanto en el presente estudio como en las investigaciones citadas pueden atribuirse a los ecosistemas en los que se cultivaron, a factores ambientales como el clima, las condiciones de crecimiento y el contenido de nutrientes del suelo (Gast *et al.*, 1988; Moreno-Rojas *et al.*, 2004).

A partir de los resultados anteriores, es evidente que todos los hongos que se recolectaron de los dos sitios en el Municipio de Bocoyna perteneciente a la Sierra Tarahumara deberían considerarse fuentes importantes de muchos elementos esenciales (p. Ej., K, P, Ca, Mg) y de minerales traza (Fe, Cu, Zn, Mn, Co).

CONCLUSIONES

Los resultados en el análisis proximal mostraron que *P. tinctorius* es la especie con el mayor contenido de minerales, *A. hygrometricus* en contenido de carbohidratos, *A. caesarea* en contenido de grasas y *L. laccata* tuvo el mayor contenido de proteínas. En general la composición proximal de estos hongos se encuentra dentro del rango establecido para hongos comestibles por lo que los hongos ectomicorrízicos comestibles de la Sierra Tarahumara son una buena alternativa alimenticia para los habitantes de la zona, además son especies con alto potencial económico ya que *A. caesarea* es una de las especies más buscadas por su sabor. De los 10 diez distintos minerales que fueron determinados *A. caesarea* presenta el contenido más elevado en Nitrógeno total (Nt), Fosforo (P), Potasio (K) y Zinc (Zn), mientras que *A. hygrometricus* tiene los valores más altos de Calcio (Ca) y Manganeso (Mn). *L. laccata* por su parte muestra los contenidos más altos en Magnesio (Mg), Sodio (Na) y Cobre (Cu). Finalmente *P. tinctorius* resultó con los valores más altos en Hierro (Fe).

El contenido nutricional y mineral de estos hongos depende en gran medida de las condiciones físicas y químicas donde crecen y se desarrollan.

REFERENCIAS

Aletor V. A. (1995). Compositional studies on edible tropical species of mushrooms. *Food Chem.*, 54(3): 265-8.

- Association of Official Agricultural Chemists (AOAC). (1990). *Official Methods of Analysis*. 15^a ed., Washington D.C., USA.: Association Official Analytical Chemists.
- Association of Official Agricultural Chemists (AOAC). (2000). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemistry*, 17^a ed. Maryland, USA.: Association Official Analytical Chemists.
- Ayaz, F. A., H. Torun, A. Colak, E. Sesli, M. Milson & R. H. Glew. (2011). Macro and Microelement Contents of Fruiting Bodies of Wild-Edible Mushrooms Growing in the East Black Sea Region of Turkey. *Food and Nutrition Sciences*, 2: 53-59.
- Biswas G., S. Chatterjee, S. Sarkar & K. Acharya. (2010). Evaluation of Antioxidant and Nitric Oxide Synthase Activation Properties of *Astraeus hygrometricus* (Pers) Morg. *Int. J. of Biomed. Pharm. Sci.*, 4(1): 21-6.
- Boa, E. (2004) *Los hongos silvestres comestibles. Perspectiva global de su uso e importancia para la población*. Roma, Italia: FAO.
- Brock O. T., K. Thomas, M. Brock & M. W. David. (1986). *Basic Microbiology with Applications*. Antibiotics and other chemotherapeutic agents. 3^a ed. Michigan, USA.: Prentice-Hall
- Chang, S.T. & J. A. Buswell. (1996). Mushroom nutraceuticals. *World J Microbiol Biotechnol* 12(5): 473–476.
- Chávez, G., V. Gómez-Reyes & M. Gómez-Peralta (2009). Riqueza de macromicetes del Parque Nacional Barranca del Cupatitzio, Michoacán, México. *Rev. Ciencia Forestal en México*, 34(105): 73-97.
- Ciappini, M., M. Gatti & M. Zamora. (2004). *Pleurotus Ostreatus*, una opción en el menú: estudio sobre las gírgolas en la dieta diaria. *Invenio: Revista de Investigación Académica*, 12: 127-132.

- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2014). *La Biodiversidad en Chihuahua: Estudio de Estado*. Ciudad de México, México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Díaz, K.; G. Morales, A. Radilla & P. VonBertrab. (2018). Identificación, caracterización y conservación de hongos silvestres mexicanos. *Investigación y desarrollo en ciencia y tecnología de alimentos*. 3: 501-507.
- Díaz, M. (2009). *Determinación de la composición proximal, fenoles totales y capacidad antioxidante de hongos silvestres comestibles de Chihuahua, México* (Tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. México.
- Diez, V. A. & A. Alvarez. (2001). Compositional and Nutritional studies on two wild edible mushrooms from North West Spain. *Food Chem*,75(4):417-42.
- Domínguez-Romero, D., J. Arzaluz-Reyes, C. Valdés-Valdés & N. Romero-Popoca. (2015). Uso y manejo de hongos silvestres en cinco comunidades del municipio de Ocoyoacac, Estado de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 18 (2), 133-143.
- Egwim, E. C., R. C. Elem & R. U. Egwuche. (2011). Proximate composition, phytochemical screening and antioxidant activity of ten selected wild edible Nigerian mushrooms. *Am. J. Food. Nutr*, 1(2): 89-94.
- García, L., J. Pérez, A. Aldrete, V. Cetina-Alcala & H. Vaquera-Huerta. (2006). Caracterización del hongo silvestre ectomicorrízico *Pisolithus tinctorius* (Pers.) Coker et Couch en cultivo y en simbiosis con eucalipto y pino. *Agrociencia*, 40: 665-676.
- Gast, C. H., E. Jansen, J. Bierling & L. Haanstra. (1988) Heavy Metals in Mushrooms and Their Relationship with Soil Characteristics. *Chromosphere*, 17 (4): 789-799.

- Guzmán, G. (2008). Análisis de los estudios sobre los macromycetes de México. *Revista mexicana de micología*, 28: 7-15..
- Gysling-Caselli, J., J. J. Aguirre-Alvarado, K. Casanova del Rio & P. Chung-Guin-po. (2005). *Estudio de mercado: Hongos silvestres comestibles*. Concepción, Chile: Instituto Forestal.
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED). (2012). *Catálogo de Programas Federales*. Recuperado en 24 de septiembre de 2018, de: http://www.inafed.gob.mx/es/inafed/inafedd_Catalogo_de_Programas_Federales_2012
- Isildak, O., I. Turkekul, M. Elmastaş & M. Tuzen. (2003). Analysis of Heavy Metals in Some Wild-Grown Edible Mushrooms from the Middle Black Sea Region, Turkey. *Food Chemistry*, 86: 547-552. doi:10.1016/j.foodchem.2003.09.007.
- Jha, S. K. & N. N. Tripathi. (2012). Comparative nutritional potential of three dominant edible and medicinal macrofungi of Kathmandu valley, Nepal. *Am. J. Pharm. Tech. Res.*, 2 (3): 1036-1042.
- Kalač, P. (2009). Chemical composition and nutritional value of European species of wild growing mushrooms: A review. *Food chemistry*, 113(1): 9-16.
- Laessoe, T. (1998). *Hongos: Manual de identificación*. Barcelona, España: Omega
- León, M., I. Silva & M. López. (1997). Proximate Chemical Composition, Free Amino Acid Contents, and Free Fatty Acid contents of Some Wild Edible Mushrooms from Queretaro Mexico. *Food Chem.* 45 (2): 4329-4332.
- Martínez-Carrera, D., P. Morales, M. Sobal, M. Bonilla, W. Martínez & Y. Mayett. (2012). Los hongos comestibles, funcionales y medicinales: su contribución al desarrollo de las cadenas agroalimentarias y la seguridad alimentaria en México. En A. Menchaca-Rocha

- (Presidencia). *Memorias Reunión General de la Academia Mexicana de Ciencias: Ciencia y Humanismo (Agrociencias)*. Academia Mexicana de Ciencias, México DF.
- Moreno-Rojas, R., M. A. Diaz-Valverde, B. M. Arroyo, T. J. Gonzalez & C. J. B. Capote. (2004). Mineral Content of Gurumelo (*Amanita ponderosa*). *Food Chemistry*, 85 (3): 325-330. doi:10.1016/S0308-8146(03)00264-4.
- Murphy, J. & J. P. Riley. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 27: 31-36.
- Naranjo, N., S. Andrade, J. Herrera, J. Ávila, N. Almaraz & N. Gurrola. (2013). Análisis Proximal de seis especies de hongos Silvestres comestibles en la región de el Salto, Pueblo Nuevo, Durango. Recuperado en septiembre 24, 2018, disponible en: https://smbb.mx/congresos%20smbb/veracruz01/TRABAJOS/AREA_XIII/CXIII-60.pdf
- Secretaría de Comercio y Fomento Nacional. (1961). *Norma Oficial Mexicana NMX-F-066-S-1978: Determinación de cenizas en alimentos*. Recuperado en Septiembre 24, 2018, disponible en: <https://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-066-S1978.PDF>.
- Diario Oficial de la Federación. (1986). *Norma Oficial Mexicana NMX-F-083-1986: Alimentos. Determinación de humedad en productos alimenticios*. Recuperado en Septiembre 24, 2018, disponible en: <https://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-0831986.PDF>.
- Odoh, R., D. I. Ugwuja & S. Udegbumam. (2017). Proximate composition and mineral profiles of selected edible mushroom consumed in northern part of Nigeria. *Academia Journal of Scientific Research*, 5(9): 349-364.

- Organización De Las Naciones Unidas Para La Agricultura y La Alimentación (FAO). (2018). *Métodos de análisis para la determinación de nitrógeno y constituyentes nitrogenados en alimentos*. Recuperado en Septiembre 24, 2018, de: <http://www.fao.org/docrep/010/ah833s/AH833S17.htm>.
- Ortiz, R. (2012). *Hongos ectomicorrizicos*. Coahuila, México: Univ. Autónoma Agraria Antonio Narro. División de agronomía. Depto. Forestal.
- Ouzouni, P. K., D. Petridis, W. D. Koller & K. A. Riganakos. (2009). Nutritional Value and Metal Content of Wild Edible Mushrooms Collected from West Macedonia and Epirus, Greece. *Food Chemistry*, 115 (4): 1575-1580. doi:10.1016/j.foodchem.2009.02.014.
- Pacioni, G., (1981). *Simon & Schuster's Guide to Mushrooms*. Nueva York, USA.: Simon & Schuster Inc.
- Pavel, K. (2009). Chemical composition and nutritional value of European Species of Wild growing mushrooms: A review. *Food Chem.* 113(1): 9-16.
- Pedneault, K., P. Angers, A. Gasselin & R. Tweddell. (2007). Fatty acid profiles of polar and non-polar lipids of *Pleurotus ostreatus* and *P. cornucopiae* var. *citrino-pileatus* grown at different temperatures. *Mycological Research*. 111: 1128-1234.
- Pérez- Moreno, J. (2012). Los hongos comestibles ectomicorrízicos y su biotecnología. En: Sánchez, J. & Mata, G. (Ed). *Hongos comestibles y medicinales en Iberoamérica: Investigación y desarrollo en un entorno multicultural* (pp. 19-28). Chiapas, México: El colegio de la frontera sur.
- Pérez-Moreno J., A. Lorenzana-Fernández, V. Carrasco-Hernández & A. Yescas-Pérez. (2010). *Los hongos comestibles silvestres del parque nacional Izta-Popo, Zoquiapan y anexos*. Texcoco, México: Colegio de Posgraduados, SEMARNAT y CONACyT.

- Pérez-Moreno, J., M. Martínez-Reyes, A. Yescas-Pérez, A. Delgado & B. Xoconostle-Cázares. (2008). Wild Mushroom Markets in Central Mexico and a Case Study at Ozumba. *Economic Botany*, 62(3): 425-436. DOI: 10.1007/s12231-008-9043-6.
- Pontón, J. (2008). La pared celular de los hongos y el mecanismo de acción de la anidulafungina. *Rev Iberoam Micol*, 25:78-82.
- Quiñónez-Martínez, M., F. Ruan-Soto, E. Aguilar-Moreno, F. Garza-Ocañas, T. Lebgue-Keleng, A. Lavín-Murcio & I. Enríquez-Anchondo. (2014). Knowledge and use of edible mushrooms in two municipalities of the Sierra Tarahumara, Chihuahua, Mexico. *Journal of ethnobiology and ethnomedicine*. DOI: 10.67.10.1186/1746-4269-10-67.
- Quiñónez, M. & Garza-Ocañas, F. (2015). *Hongos silvestres comestibles de las Sierra Tarahumara de Chihuahua*. Cd. Juárez, México: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
- Ramírez, P. (2004). El ácido linoleico conjugado y su importancia en la dieta. *Agrofaz: publicación semestral de investigación científica*, 4(1): 519-528.
- Ravikrishnan, V., G. Sanjeev & R. Madaiah. (2017). Compositional and nutritional studies on two wild mushrooms from Western Ghat forests of Karnataka, India. *International Food Research Journal*, 24 (2): 679- 684.
- Rodríguez, S., M. Arone, J. Calzadillo, I. Rodríguez y M. Díaz. (2017). Determinación de biomasa fúngica y su utilidad en procesos biotecnológicos. *Afinidad*, 74 (577): 60-67.
- Romero, N. (1997). Métodos de determinación de nitrógeno y constituyentes nitrogenados en alimentos. En: Morón C., I. Zacarías & S. de Pablo. (Eds.). *Producción y Manejo de Datos de Composición Química de Alimentos en Nutrición*. Santiago de Chile, Chile: FAO.
- Roncero, R. (2015). *Propiedades nutricionales y saludables de los hongos*. La Rioja, España: Centro Tecnológico de Investigación del Champiñón de la Rioja (CTICH).

- Rudawska, M. & T. Leski. (2005). Macro and Microelement Contents in Fruiting Bodies of Wild Mushrooms from the Notecka Forest in West-Central Poland. *Food Chemistry*, 92 (3): 499-506. doi:10.1016/j.foodchem.2004.08.017.
- Sanmee, R., B. Dell, P. Lumyong, K. Izumor & S. Lumyong. (2003). Nutritive value of popular wild edible Mushrooms from northern Thailand. *Food Chemistry*, 82: 527-532
- Singh N. (2010). Edible Potential of Wild Mushroom *Astraeus hygrometricus* (Pers) Morg. *Nature Environment and Pollution Technology*, 9(3): 597-600.
- Soylak, M., S. Saracoğlu, M. Tuzen & D. Mendil. (2005). Determination of Trace Metals in Mushroom Samples from Kayseri, Turkey. *Food Chemistry*, 92 (4): 649-652. doi:10.1016/j.foodchem.2004.08.032.
- Tiessen, H. & J. O. Moir. (1993). Characterization of available P by sequential extraction. En: Carter, M. R. (Ed.). *Soil Sampling and Methods of Analysis* (pp. 75-86). Florida, USA.: Taylor & Francis Group, LLC.
- Vega, A. y H. Fncó. (2012). Análisis de cenizas y minerales de hongos comestibles *Pleurotus* spp., cultivados sobre paja de arroz (*Oryza sativa*), tuza y rastrojo de maíz (*Zea mayz*). *Tecnológico*, 8(2), 15-23.
- Villareal, L. (1996). *Los hongos silvestres: componentes de la biodiversidad y alternativa para la sustentabilidad de los bosques templados. Informe final*. Edo. De México, México: Instituto de Recursos Genéticos y Productividad. Colegio de Postgraduados de Ciencias Agrícolas.
- Wani B. A., R. H. Bodha & A. H. Wani. (2010). Nutritional and medicinal importance of mushrooms. *J Med Plant Res.*, 4(24): 2598-604.

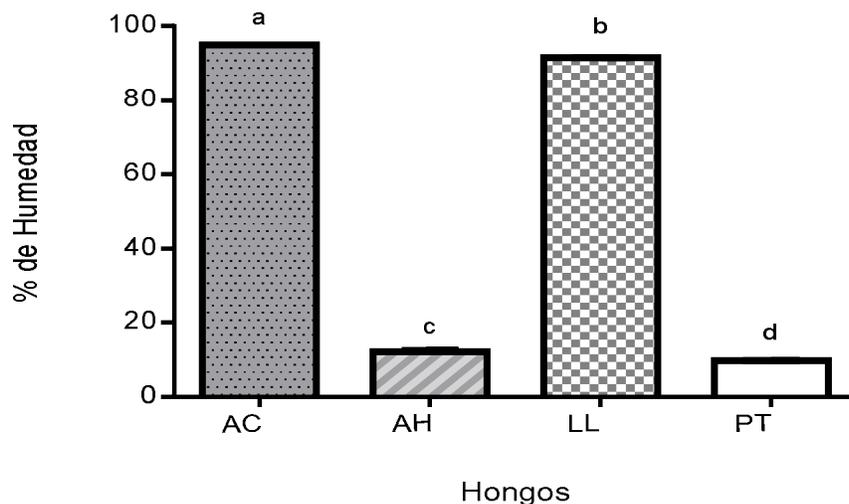


Figura 1. Contenido de humedad de las cuatro especies de hongos ectomicorrícicos. Valores medios \pm DE. AC: *A. caesarea*; AH: *A. hygrometricus*; LL: *L. laccata* y PT: *P. tinctorius*. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Cuadro 1. Análisis proximal de los hongos ectomicorrícicos.

	<i>P. tinctorius</i> (%)	<i>A. hygrometricus</i> (%)	<i>A. caesarea</i> (%)	<i>L. laccata</i> (%)
Proteína	14.4 \pm 0.12 ^b	1.6 \pm 0.00 ^c	14.8 \pm 0.64 ^b	15.9 \pm 0.06 ^a
Cenizas	14.3 \pm 0.47 ^a	7.3 \pm 0.04 ^d	12 \pm 0.05 ^d	12.5 \pm 0.12 ^b
Grasas totales	2.1 \pm 0.01 ^c	1.9 \pm 0.01 ^d	15.1 \pm 0.11 ^a	3.8 \pm 0.16 ^b
Carbohidratos totales	69.1 \pm 0.47 ^b	89.2 \pm 0.04 ^a	58.0 \pm 0.58 ^d	67.8 \pm 0.22 ^c

Valores de la media \pm DE. Las letras indican diferencias significativas de acuerdo con Duncan ($p \leq 0.05$). Datos reportado en base seca.

Cuadro 2. Contenido mineral (%/ppm) de cuatro especies comestibles de la Sierra Tarahumara

Hongo/Mineral	<i>Laccaria laccata</i>	<i>Amanita caesarea</i>	<i>Astraeus hygrometricus</i>	<i>Pisulithus tinctorius</i>

N ₂ (%)	2.97	3.16	1.09	3.26
P (%)	0.29	0.41	0.15	0.06
K (%)	2.87	2.98	0.87	1.53
Ca (%)	1.34	1.31	2.67	1.13
Mg (%)	0.26	0.22	0.16	0.17
Na (%)	0.045	0.04	0.01	0.02
Cu (ppm)	24.50	16.50	4.00	3.50
Fe (ppm)	327.00	157.00	344.00	397.00
Mn (ppm)	114.00	48.50	250.00	133.00
Zn (ppm)	74.00	90.00	57.00	45.50



Ciudad Juárez, Chih., a 30 de enero de 2019

**DRA. MIROSLAVA QUIÑONEZ MARTÍNEZ,
DOCENTE-INVESTIGADOR DEL ICB-UACJ.
PRESENTE.-**

Por medio del presente, reciba un cordial saludo y a la vez me permito felicitarle ampliamente por su dedicación y entrega a su proyecto de **"Producción de plantas nativas y exóticas micorrizadas con hongos de importancia comestible y medicinal, con fines de reforestación en Ciudad Juárez"** del cual se obtuvieron árboles de pino afgano micorrizados.

Es de suma importancia los proyectos de este tipo ya que el árbol se ve favorecido en una mayor capacidad de captación de agua y nutrientes del suelo y a su vez un mejor aprovechamiento para el crecimiento. Por lo que le manifiesto el compromiso e interés de la Dirección de Ecología, para coadyuvar a la conservación de Nuestro Medio Ambiente al recibir 177 plántulas aproximadamente de estos pinos micorrizados.

Cabe hacer mención que estos pinos serán ubicados en el vivero de la Dirección de Parques y Jardines para el buen cuidado, así mismo le informo que iniciaremos una campaña de reforestación los cuales utilizaremos en una manera responsable y adecuada. Sin más por el momento y agradeciendo de antemano sus atenciones, quedo de usted

ATENTAMENTE

"2019, Año Internacional de las Lenguas Indígenas"



HEROICA
**CIUDAD
JUÁREZ**
GOBIERNO MUNICIPAL 2013-2018


**M.V.Z. MARGARITA EDITH PEÑA PÉREZ
DIRECTORA DE ECOLOGÍA**

**DIRECCIÓN DE
ECOLOGÍA**

c.c.p. archivo,
nchih.