

## EVIDENCIA ECOLÓGICA DE LA RELACIÓN DE *CROTON DRACO* VAR. *DRACO* SCHLTDL. & *CHAM.* CON HONGOS MICORRIZÓGENOS

VÍCTOR OLALDE PORTUGAL<sup>1</sup>, HERIBERTO MÉNDEZ CORTÉS<sup>2</sup>, ANA MARÍA DEL PILAR NAVARRO RODRÍGUEZ<sup>3\*</sup>,  
 ENRIQUE IBARRA LACLETTE<sup>4</sup> Y FELIZA RAMÓN FARIÁS<sup>3</sup>

<sup>1</sup> CINVESTAV Unidad Irapuato, Departamento de Biotecnología y Bioquímica, Laboratorio de Bioquímica ecológica, Irapuato, Guanajuato, México.

<sup>2</sup> Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Agronomía y Veterinaria Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México.

<sup>3</sup> Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Córdoba, Veracruz, México.

<sup>4</sup> Instituto de Ecología AC, Xalapa, Veracruz, México.

\*Autor de correspondencia: [annavarro@uv.mx](mailto:annavarro@uv.mx)

### Resumen

**Antecedentes:** Existen reportes de que los Hongos Micorrizógenos Arbusculares (HMA) incrementan la producción de metabolitos secundarios en plantas medicinales. El género *Croton* ha sido poco estudiado en este aspecto. *C. draco* es una especie etnomedicinal, conocer la relación y naturaleza de los HMA, puede contribuir a obtener plantas en cultivo con mayor calidad y cantidad de metabolitos secundarios.

**Preguntas:** ¿Las raíces de *C. draco* pueden ser colonizadas por HMA? ¿Qué especies de HMA se encuentran en la rizósfera de *C. draco*? ¿La diversidad de especies de HMA varía dependiendo del ambiente?

**Sitios de estudio y periodo de investigación:** El estudio se hizo en tres localidades del estado de Veracruz, en el año 2019.

**Métodos:** Raíces terciarias de árboles adultos se procesaron y observaron al microscopio compuesto buscando esporas, hifas y arbusculos de HMA. La diversidad y densidad esporas en la rizósfera de *C. draco*, se determinó en muestras de suelo, comparando tres sitios de estudio. Los datos se normalizaron y se hicieron pruebas paramétricas.

**Resultados:** Se observaron esporas, hifas y arbusculos en las raíces de *C. draco*. La abundancia de esporas y diversidad de HMA fue diferente entre los sitios evaluados. Con base en la morfología de las esporas se reconocieron 14 taxones, de los cuales, solo dos están presentes en los tres sitios.

**Conclusión:** *C. draco* presentó en sus raíces estructuras propias de los HMA. Basado en los resultados concluimos que las condiciones ambientales influyen en la abundancia de esporas y en la diversidad de especies de HMA.

**Palabras clave:** *Acaulospora*, colonización, *Glomus*, HMA, “sangregado”.

### Abstract

**Background:** There are reports that Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) increase the production of secondary metabolites in medicinal plants. The *Croton* genus has not been widely studied in this aspect. *C. draco* is an ethnomedicinal species, knowing the relationship and nature of AMF can contribute to obtaining plants in crops with a good quality and quantity of secondary metabolites.

**Questions:** Can the roots of *C. draco* be colonized by AMF? What type of AMF species can be found in the rhizosphere of *C. draco*? Could the diversity of AMF species vary depending on the environment?

**Study sites and dates:** The study was carried out in three locations in the state of Veracruz, in 2019.

**Methods:** Tertiary roots of adult trees were processed and observed under a compound microscope looking for AMF spores, hyphae and arbuscules. The diversity and density of spores in the rhizosphere of *C. draco* was determined in soil samples, comparing the two sites. Data were normalized and parametric tests were performed.

**Results:** Spores, hyphae and arbuscules were observed on the roots of *C. draco*. The abundance of spores and AMF diversity was different between the evaluated sites. Based on the morphology of the spores, fourteen taxa were recognized, and among them, only two were found in the three sites.

**Conclusions:** *C. draco* showed structures typical of AMF in its roots. Based on these results we can say that environmental conditions influence the abundance of spores and the diversity of AMF species.

**Key words:** AMF, *Acaulospora*, colonization, *Glomus*, sangregado.

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution License CCBY-NC (4.0) internacional.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



Para la República Mexicana, se han registrado alrededor de 5,000 especies de plantas con usos medicinales, de las cuales muy pocas han sido cultivadas, tratándose principalmente de especies herbáceas y muchas de ellas exóticas (Juárez-Rosete *et al.* 2013). En el caso de árboles con uso medicinal, se presenta una situación similar, la materia prima que se utiliza en la medicina tradicional o como remedio herbolario, proviene en su mayor parte, de recolección o de huertos familiares y los pocos cultivos que existen es debido, principalmente, a que son especies frutales, como la guayaba (*Psidium guajava*), guanábana (*Annona muricata*) y aguacate (*Persea americana*), o condimentarias como la canela (*Cinnamomum verum*) y el uso medicinal es secundario (Chil-Núñez *et al.* 2019, Román Miranda *et al.* 2016, T Valera-Montero *et al.* 2018). El hecho de recolectar material silvestre representa serios problemas, que van desde la muerte del árbol por descortezamiento, extinción local o regional de especies por sobre-colecta de estructuras reproductoras, alteración en las interacciones intraespecíficas y alteración de la estructura del sitio (Juárez-Rosete *et al.* 2013); por otra parte, la materia prima obtenida de esta manera, conlleva también riesgos para los consumidores, por ejemplo: la identidad taxonómica puede ser confundida, materiales vegetales contaminados con pesticidas, metales pesados o agentes infecciosos, colectas de diferente procedencia, entre otros, de modo que no se asegura la calidad de los productos naturales. Estas desventajas pueden evitarse si las plantas son cultivadas bajo condiciones que pueden ser controladas y con buenas prácticas agrícolas (Soria & Ramos 2015, Martín 2017). *Croton draco* Schltdl. & Cham. (Euphorbiaceae) es un recurso etnomedicinal importante, ya que es ampliamente utilizado por médicos tradicionales, los que le atribuyen un gran número de propiedades medicinales en los países donde naturalmente habita (Tabla 1). Siendo México el país que más usos etnobotánicos registra para la especie.

*Croton draco* es una especie arbórea con amplia distribución en zonas tropicales y sub-tropicales del continente americano, se distribuye desde el nivel del mar hasta los 1,700 m, en una amplia gama de nichos ecológicos, lo que representa su capacidad de adaptación a las diferentes condiciones ambientales, como el tipo de suelo y el clima. Una característica es la presencia de látex, que emana principalmente de la corteza del tallo y la raíz cuando son dañadas. Este líquido es viscoso y del color y consistencia de la sangre, por lo que se le conoce popularmente como “sangregado” y “llora sangre” (Farías *et al.* 2009).

La especie ha recibido poca atención desde el punto de vista científico, se han realizado principalmente, estudios sobre fitoquímica del látex, de hojas y corteza, así como de la actividad biológica (Hernández & Delgado 1992, Castro *et al.* 1999, Murillo *et al.* 2001, Puebla *et al.* 2004, Tsacheva *et al.* 2004, Gupta *et al.* 2008 y Salatino *et al.* 2007).

De *C. draco* se ocupan las hojas, la corteza y principalmente el látex. La especie es rica y diversa en metabolitos secundarios, donde los compuestos mayoritarios son el alcaloide taspina y los compuestos fenólicos, a los que principalmente se les atribuyen la actividad biológica que refiere la medicina tradicional (Castro *et al.* 1999, Tsacheva *et al.* 2004, Alamillo 2017), variando su concentración en función del ambiente y de características fenológicas de la planta (Farías *et al.* 2009). Diversas investigaciones han reportado la relación que existe entre las plantas y las condiciones ambientales en donde crecen, como el suelo y los microorganismos presentes, entre ellos, los Hongos Micorrizógenos Arbusculares (HMA), los que se consideran factores determinantes en la producción de metabolitos secundarios (Pedraza *et al.* 2010, Santos *et al.* 2020).

Hasta ahora no se conocen cultivos de *C. draco*, lo que sería necesario para producir materia prima de calidad y en cantidad suficiente para el aprovechamiento de esta especie con potencial biotecnológico. Debido a esta necesidad, se estableció una parcela experimental de *C. draco* en el municipio de Tezonapa, Veracruz, México, en la cual, para tener éxito, es necesario conocer las relaciones ecológicas de la especie. Cultivar una especie que es completamente silvestre, requiere de un vasto conocimiento, tanto de la biología de la planta como de sus interacciones simbióticas con otros microorganismos. De estas relaciones simbióticas, los HMA tienen una función preponderante, como ha quedado evidenciado en diversos estudios, en donde las plantas sintetizan mayores cantidades de metabolitos secundarios de importancia medicinal (Chen & Guo 2005, Ghosh & Verma 2015).

Reconocer la presencia de HMA asociados a la rizosfera de *C. draco*, dará la pauta para investigar su influencia en la producción de los metabolitos secundarios de interés para la industria y aplicar técnicas de inoculación de micorrizógenos para el cultivo agronómico.

**Tabla 1.** Usos etnobotánicos registrados en la literatura para *C. draco* (Ramón 2009).

Uso	Referencia	País
Medicinal: heridas, inflamación e infecciones.	Tsacheva <i>et al.</i> 2004	Brasil
Medicinal: heridas, malestares estomacales, inflamación, hipertensión y cáncer.	Murillo <i>et al.</i> 2001	Colombia
Medicinal: acné, fiebre, cicatrizante de úlceras y anti-hemorrágico. Otros usos: fuente de taninos, barniz y para lavar loza.	Castro <i>et al.</i> 1999, González 2006	Costa Rica
Medicinal: inflamación, gripe, tos, diarrea, cicatrizante de úlceras, herpes y como germicida después de la extracción de dientes.	Murillo <i>et al.</i> 2001, Guevara & Chiriboga 2006	Ecuador
Medicinal: astringente, disminuir la fiebre, anti-hemorrágico, heridas.	Standley & Steyermark 1958	Guatemala
Medicinal: para disminuir la fiebre, astringente, fortalecer los dientes subluxados, infecciones, pie de atleta, cicatrizante, granos, heridas, tuberculosis, diarrea, cólera, anti-rehumático, tumores, tos, cicatrizante de úlceras, herpes, anti-séptico para la extracción de dientes, dolor de muelas. Otros usos: colorante, para alimentar larvas del insecto laca ( <i>Taccardia lacca</i> ), maderable, árbol de sombra, cerca viva, lindero, leña, barniz, planta melífera, horcones para la construcción de casas y como estacas.	Salatino <i>et al.</i> 2007 García & García 2008 Gupta <i>et al.</i> 2008, CONAFOR 2009	México
Medicinal: gripe, tos, diarrea, cicatrizante de úlceras, herpes y como germicida después de la extracción de dientes, fertilidad, secreción vaginal, acné, diabetes.	Murillo <i>et al.</i> 2001	Perú
Medicinal: heridas, inflamación e infecciones.	Tsacheva <i>et al.</i> 2004	Venezuela

De acuerdo con Brundrett & Tedersoo (2018), alrededor del 70 % de las plantas establecen relaciones simbióticas con HMA, registraron múltiples beneficios, tanto para las plantas como para el suelo y la biota que en el habita. Dentro de los principales aportes están: mayor absorción de agua, favorecen la nutrición mineral (Ca, Z, Mg, K, P), ayudan en el crecimiento y morfología de las raíces, mayor producción de biomasa, mayor tolerancia a factores estresantes, actúan como antagonistas de patógenos del suelo, mantienen la diversidad vegetal y favorecen la formación de agregados mejorando la estabilidad del suelo (Jeffries *et al.* 2003, Morel *et al.* 2009, Noda 2009, Bagyaraj & Stürmer 2012, Rojas-Alvarado & Doss 2014).

En la naturaleza, existen plantas que producen alcaloides como un mecanismo de protección o defensa, y lo hacen constitutivamente o en respuesta a plagas, enfermedades o estímulos externos (Rivero *et al.* 2021); en algunas plantas de uso medicinal, la presencia de uno o más alcaloides se han relacionado con diferentes funciones biológicas, tales como analgésicos, estimulación cardiaca, relajación del músculo liso y antineoplásicos, entre otras (Hussein & El-Anssary 2019). Se sabe también que, en plantas medicinales, los HMA asociados a ellas, promueven la síntesis de metabolitos secundarios tales como alcaloides y terpenoides de interés farmacológico (Kaur & Suseela 2020); por

ejemplo, *Hypericum perforatum* es una especie que produce hypericina y pseudohypericina, metabolitos secundarios con propiedades antivirales, antiretrovirales, antibacteriales, antidepresivas y antitumoral (Zubek *et al.* 2012), en un experimento llevado a cabo por Lazzara *et al.* (2017) cultivaron plantas junto con una mezcla de nueve diferentes HMA, y como resultado observaron un incremento en estos dos compuestos. En otro reporte, Zeng *et al.* (2013), refieren alrededor de 50 especies medicinales que incrementan la producción de compuestos fenólicos y alcaloides en presencia de HMA; mientras que (Andrade *et al.* 2013), relacionaron a los hongos micorrizógenos con el contenido de vinblastina, vincristina, catarantina, ajmalicina y serpentina en *Cataranthus roseus* y nicotina, anabasina y nornicotina en *Nicotiana tabacum*, así como la expresión diferencial de genes de algunas enzimas involucradas en las rutas biosintéticas de los mismos, en hojas y raíces, cuando inocularon *Rhizoglyphus intraradices*, observando también que la colonización fue altamente efectiva, demostrando que la inoculación de hongos micorrizógenos en las dos especies, influye tanto en la síntesis como en la acumulación, dependiendo de la especie y del órgano de la planta. Otros metabolitos también pueden producirse en mayores cantidades cuando la planta está asociada a HMA, tal es el caso del ácido rosmarínico y el ácido litospérmico en *Melissa officinalis* y en *Origanum mejorana* que al ser inoculadas con una mezcla comercial de HMA incrementaron estos metabolitos hasta en 1.5 veces con respecto a las plantas control, además del incremento en la producción de flores y biomasa (Engel *et al.* 2016).

Vargas-Vázquez *et al.* 2021, llevaron a cabo un amplio estudio en la familia Euphorbiaceae, y refieren que, de 400 individuos revisados correspondientes a 74 taxones, 12 de ellos pertenecientes al género *Croton*, todos presentaron en sus raíces estructuras propias de HMA, hifas cenocíticas, arbusculos y vesículas, lo que denota una alta afinidad de las especies con las micorrizas. Meza (1999), reconoció por primera vez, la presencia de estructuras de HMA, como arbusculos, vesículas e hifas en las raíces de *C. lechleri*, tanto en plántulas como en individuos adultos, e hizo observaciones sobre cómo la colonización se daba en mayor proporción en suelos arcillosos, con lomeríos, poca humedad y buenas condiciones aeróbicas. Sin embargo, el porcentaje de raíces colonizadas fue muy variable, desde 20 hasta 80 %. En un estudio realizado en dunas costeras de Venezuela, Alarcón & Cuenca (2005) investigaron el grado de colonización de HMA en *C. rhamnifolius* y *C. punctatus*, encontrando diferencias entre las dos especies en cuanto a la presencia y diámetro de hifas, vesículas y arbusculos y la preferencia por terrenos inclinados; lo que sugiere que el genotipo puede influir en la relación hongo/planta/suelo. Ramos-Montaña *et al.* (2010), analizaron algunas especies del arbolado urbano en Bogotá, Colombia, considerando la abundancia de especies micorrizadas y su relación con el estado de sanidad del suelo. Entre las especies estudiadas, mencionan a *C. bogotensis* y observaron que la micorrización fue favorecida por el ambiente seco y que todas las especies micorrizadas contribuían a mantener una mayor sanidad, al presentar los árboles menor porcentaje de clorosis y un mejor control contra la herbivoría. Estas observaciones permiten plantear la hipótesis de que *C. draco* es una especie que se asocia con HMA y que esta relación se ve afectada por las condiciones ambientales, por lo que se espera una presencia diferencial en las especies y en el número de esporas por sitio estudiado. Para dar respuesta a la hipótesis, plantearon los siguientes objetivos; reconocer la presencia, densidad y diversidad de esporas de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) en la rizosfera de *Croton draco* var. *draco* e identificar las estructuras propias de estos hongos en las raíces de esta especie en tres sitios con condiciones ambientales distintas.

## Materiales y métodos

**Determinación taxonómica de la especie arbórea.** Para *C. draco* se reconocen tres variedades que son: *C. draco* var. *draco*, *C. draco* var. *panamensis* y *C. draco* var. *triumphetoides* (Martínez 1996) por lo que, para confirmar la especie y variedad de los individuos de las localidades de estudio, se prepararon ejemplares de respaldo por triplicado y se depositaron en el herbario XAL del Instituto de Ecología A. C. en Xalapa, Veracruz bajo los números de colecta FRF-301 al FRF-310. Se revisaron ejemplares de referencia depositados en el herbario (XAL) y se utilizó la clave taxonómica de Martínez (1996).

La investigación se realizó en dos localidades, “El Palmar” municipio de Tezonapa y *Xonotla, municipio de Comapa, ubicadas* de la zona centro del estado de Veracruz. Estos sitios se eligieron debido a que las condiciones

ambientales presentan diferencias ambientales substanciales y aunque muestran cierto grado de perturbación, aún conservan gran parte de la cobertura vegetal con las especies propias del tipo de vegetación (CONAFOR 2009) (Cuadro 2). Dentro de la localidad de Tezonapa se consideraron dos sitios, uno que se denominó Tezonapa nativo, que sería el sitio con vegetación original con ligera perturbación y el otro que llamamos Tezonapa plantación, sitio vecino al de Tezonapa nativo. En el sitio Tezonapa nativo, se eliminó hace algunos años la cobertura vegetal y en el 2016, se plantaron 100 árboles pequeños de *C. draco* obtenidos por injerto de yemas procedentes de un solo árbol maduro con características promisorias en la producción de metabolitos secundarios, y se injertaron en patrones obtenidos a partir de plantas silvestres.

De los tres sitios se tomaron muestras de suelo y se enviaron a la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Veracruzana en Peñuela, Amatlán de los Reyes, Ver., para el análisis fisicoquímico. Las muestras de suelo se obtuvieron de la zona adyacente a las raíces de tres árboles, tres muestras por árbol, en total nueve muestras por sitio estudiado (Tabla 2).

**Tabla 2.** Condiciones ambientales de los sitios estudiados.

Condición	Tezonapa		Xonotla
<b>Ubicación</b>	18° 32' N y 96° 47' W		19° 10' N y 96° 54' W
<b>Vegetación</b>	<b>Tezonapa nativo</b> (Bosque Tropical Perennifolio)	<b>Tezonapa plantación</b> (Derivado de Bosque Tropical Perennifolio)	Bosque Tropical Subcaducifolio
<b>Algunas especies vegetales asociadas</b>	<i>Cedrela odorata</i> , <i>Cecropia obtusifolia</i> , <i>Bernoullia flammula</i> , <i>Bursera simarouba</i> , <i>Cordia alliodora</i> , <i>Lonchocarpus</i> sp. Diversas leguminosas <i>Chamaedorea tepejilote</i> , <i>Cnidioscolus multilobus</i>	<i>Gmelina arborea</i> , diversas malezas (pastos principalmente)	<i>Trema micrantha</i> , <i>Liquidambar styraciflua</i> , <i>Sarauia scabrida</i> , <i>Bursera simarouba</i> , <i>Quercus</i> sp.
<b>Altitud</b>	170 m snm	170 m snm	1200 m snm
<b>Precipitación</b>	2885 mm	2885 mm	1850 mm
<b>Temperatura media anual</b>	24.4 °C	24.4 °C	18 °C
<b>Clima</b>	Cálido húmedo	Cálido húmedo	Templado húmedo
<b>Tipo de suelo</b>	Arcilloso	Arcilloso	Franco-arcillo-arenoso
<b>pH del suelo</b>	4.70 (1:2 en agua) Fuertemente ácido	5.10 (1:2 en agua) Fuertemente ácido	5.10 (1:2 en agua) Fuertemente ácido
<b>Materia orgánica</b>	2.86 % Moderadamente alto	1.87 % Moderadamente alto	4.17 % Muy alto
<b>N inorgánico</b>	26.2 % Moderadamente alto	9.3 % Mediano	18.1 % Mediano
<b>Fósforo-Bray</b>	0.44 ppm Muy bajo	21.2 ppm Alto	0.02 ppm Muy bajo
<b>K</b>	15.9 ppm Muy bajo	167.5 ppm Alto	3.82 ppm Muy bajo
<b>Ca</b>	85.5 ppm Muy bajo	156 ppm Moderadamente Bajo	627 ppm Bajo
<b>Mg</b>	45.1 ppm Bajo	138 ppm Bajo	198 ppm Moderadamente bajo

*Densidad de esporas.* Una parte de las muestras de suelo que se utilizaron para el análisis fisicoquímico se utilizó para determinar la densidad de esporas. 50 g de cada muestra se secaron en una estufa a 45 °C y posteriormente se aplicó el método de tamizado y decantación en húmedo propuesto por Gerdemann & Nicolson (1963) y la metodología de Daniels & Skipper (1982) para la centrifugación en gradiente por sacarosa. Los datos del número de esporas fueron transformados logarítmicamente ( $\log x+1$ ), con los supuestos de normalidad de datos debido a que seguían una distribución tipo Poisson. Para el análisis de diferencias entre los sitios, se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis ( $P \leq 0.05$ ). Estos análisis se realizaron con el paquete estadístico Minitab Inc 15 (Minitab 2007).

*Diversidad de HMA.* Se hicieron preparaciones semi-permanentes en laminillas de vidrio, con alcohol polivinílico-lacto-glicerol "PVLG" (Morton *et al.* 1993) y reactivo de Melzer (Koske & Tessier 1983); con la ayuda de un microscopio compuesto (Zeiss, Axio Scope. A1) se observaron las estructuras morfológicas de las esporas y se registraron de acuerdo con lo propuesto por Walker (1983) y Morton (1988). Las especies de HMA se identificaron empleando las referencias de la colección internacional de cultivos de hongos micorrizógenos arbusculares y vesiculares ([invam.caf.wvu.edu](http://invam.caf.wvu.edu), el manual de identificación de hongos micorrizógenos-arbusculares (Schenck & Pérez 1990), las descripciones de especies depositadas en el Departamento de Patología de Plantas de la Universidad de Agricultura en Szczecin, Polonia (Blaszkowski 2003) y las publicaciones originales de las especies (Becker & Gerdemann 1977, Trappe 1977, Nicolson & Schenck 1979, Walker & Trappe 1981, Schenck & Smith 1982, Schenck *et al.* 1984, Koske *et al.* 1986, Sieverding & Toro 1987, Blaszkowski *et al.* 1999). Finalmente, la nomenclatura taxonómica que se utilizó fue la propuesta por Redecker *et al.* (2013) y Schüßler (2022). Para analizar las relaciones de dependencia e independencia entre los sitios y las especies de HMA, se realizó un análisis de correspondencia simple con el paquete estadístico Minitab (2007).

*Estructuras de HMA en raíces de C. draco var. draco.* Para confirmar que *C. draco var. draco* es una especie que está asociada a HMA, se colectaron raíces terciarias de árboles provenientes de las mismas localidades en estudio; éstas se lavaron con agua corriente y se cortaron en fragmentos de 1 cm. de longitud. Siguiendo la técnica de Phillips & Hayman (1970), las raíces se decoloraron en hidróxido de potasio (KOH) al 10 %, posteriormente, en una olla de presión se sometieron a 15 lb por 10 minutos (120° C); seguido de lavado con agua corriente, como siguiente paso, se les adicionó peróxido de hidrógeno alcalino ( $H_2O_2$ ), durante 60 minutos a temperatura ambiente. Se lavaron nuevamente con agua corriente y se les agregó ácido clorhídrico (HCl al 1 %) durante cuatro minutos. Se decantó el HCl, y se aplicó el colorante azul de Tripiano al 0.5 % durante 10 minutos a 15 lb (121 °C). Se eliminó el colorante y se lavaron las raíces con agua corriente para quitar el exceso de éste (Brundrett *et al.* 1996). Finalmente, se adicionó acetoglicerol y se montaron en portaobjetos. La observación se hizo con el microscopio óptico Leitz Laboulux-S con el objetivo de 40x, para reconocer hifas, vesículas y arbusculos.

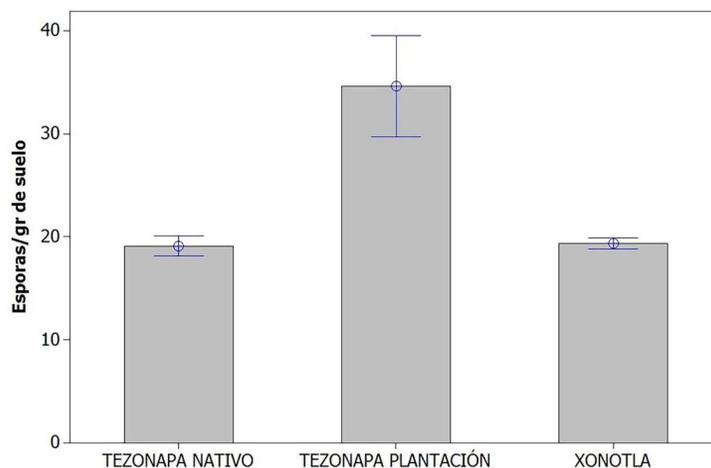
## Resultados

*Determinación taxonómica de la especie arbórea.* Se determinó que la variedad taxonómica de las poblaciones muestreadas corresponde a *Croton draco* Schltdl. & Cham. var. *draco*.

*Densidad de esporas en la rizosfera de C. draco var. draco.* En los tres sitios de estudio. La abundancia de esporas fue diferente entre los sitios evaluados ( $H = 11.37$ ;  $P = 0.003$ ), en donde el sitio denominado Tezonapa plantación presentó una mayor abundancia con respecto al sitio de Tezonapa nativo y Xonotla. Estos últimos no tuvieron diferencias significativas en el número de esporas ([Figura 1](#)).

*Diversidad de esporas de HMA.* En total se identificaron 15 taxones de HMA, de los cuales siete pertenecen al género *Acaulospora*, uno a *Diversispora*, dos a *Entrophospora*, dos a *Glomus*, una a *Septoglomus*, dos a *Rhizophagus* ([Tabla 3](#)).

Evidencia de micorrizas en *Croton draco* var. *draco*



**Figura 1.** Densidad de esporas en los tres sitios de estudio.

La presencia de las especies de HMA reconocidas en cada uno de los sitios estudiados fue diferente. En la [Tabla 4](#). Se presenta la distribución diferencial en función del sitio, confirmando en este caso, el efecto que el ambiente está ejerciendo en dicha distribución.

**Tabla 3.** Diversidad de HMA asociados a la rizosfera de *C. draco* var. *draco* en los tres sitios de estudio.

---

Glomeromycetes
Diversisporales
Acaulosporaceae
<i>Acaulospora cavernata</i> Blaszk.
<i>Acaulospora delicata</i> C. Walker, C.M. Pfeiffer & Bloss
<i>Acaulospora mellea</i> Spain & N.C. Schenck
<i>Acaulospora morrowiae</i> Spain & N.C. Schenck
<i>Acaulospora rehmi</i> Sieverd. & S. Toro
<i>Acaulospora scrobiculata</i> Trappe
<i>Acaulospora spinosa</i> C. Walker & Trappe
Diversisporaceae
<i>Diversispora spurca</i> (C.M. Pfeiff., C. Walker & Bloss) C. Walker & A. Schüßler
Glomerales
Entrophosporaceae
<i>Entrophospora clarioidea</i> (N.C. Schenck & G.S. Sm.) Blaszk., Niezgod, B.T. Goto & Magurno
<i>Entrophospora etunicata</i> (W.N. Becker & Gerd.) Blaszk., Niezgod, B.T. Goto & Magurno
Glomeraceae
<i>Glomus</i> sp. 1
<i>Glomus</i> sp. 2
<i>Septoglomus constrictum</i> (Trappe) Sieverd., G.A. Silva & Oehl
<i>Rhizoglomus clarum</i> (T.H. Nicolson & N.C. Schenck) C. Walker & A. Schüßler
<i>Rhizoglomus microaggregatum</i> (Koske, Gemma & P.D. Olexia) Sieverd., G.A. Silva & Oehl

---

**Tabla 4.** Presencia de especies de HMA en los tres sitios de estudio

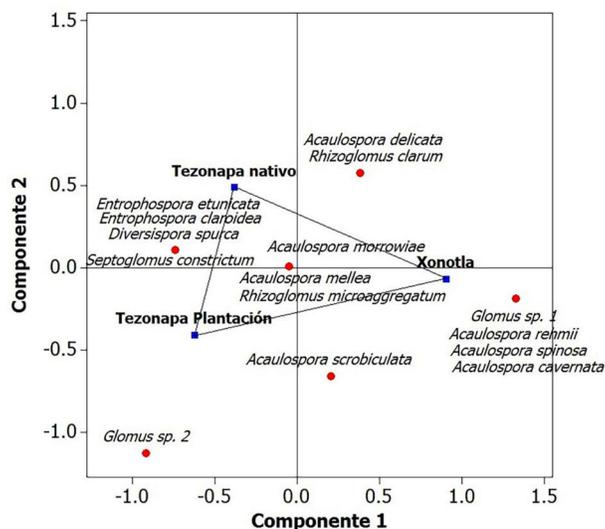
Especie de HMA	Tezonapa nativo	Tezonapa plantación	Xonotla
<i>Acaulospora spinosa</i>			X
<i>A. rehmi</i>			X
<i>A. cavernata</i>			X
<i>Glomus sp. 1</i>			X
<i>Glomus sp. 2</i>		X	
<i>A. scrobiculata</i>		X	X
<i>Septoglomus constrictum</i>		X	X
<i>Diversispora spurca</i>	X	X	
<i>Entrophospora claroidea</i>	X	X	
<i>Entrophospora etunicata</i>	X	X	
<i>A. delicata</i>	X		X
<i>A. morrowie</i>	X		X
<i>Rhizoglomus clarum</i>	X		X
<i>A. mellea</i>	X	X	X
<i>Rizoglomus microagregatum</i>	X	X	X

De acuerdo con el análisis de correspondencia simple, se registraron especies de HMA asociadas a un solo sitio; cuatro con presencia únicamente en Xonotla: *Glomus sp.1*, *Acaulospora rehmi*, *Acaulospora spinosa* y *Acaulospora cavernata*; *Glomus sp. 2* encontramos solamente en Tezonapa plantación. Especies que se registraron en dos sitios: Tezonapa nativo y Tezonapa plantación comparten tres especies, *Diversispora spurca*, *Entrophospora claroidea* y *Entrophospora etunicata*; Tezonapa nativo con Xonotla comparten tres especies: *Acaulospora delicata*, *Acaulospora morrowie* y *Rizoglomus clarum*; Tezonapa plantación con Xonotla solamente comparten dos especies: *Acaulospora scrobiculata* y *Septoglomus constrictum*; y solamente dos especies se observaron en los tres sitios: *Acaulospora mellea* y *Rizoglomus microagregatum* (Figura 2) Estructuras de Hongos Micorrizógenos Arbusculares en raíces de *Croton draco* var. *draco*. En las raíces terciarias observadas de *C. draco* var. *draco* fue posible reconocer la presencia de hifas, vesículas y arbuscúlos como corresponde a los HMA (Figura 3 A, B, C). En la Figura 4 se ilustran esporas de algunas de las especies reportadas en el presente trabajo.

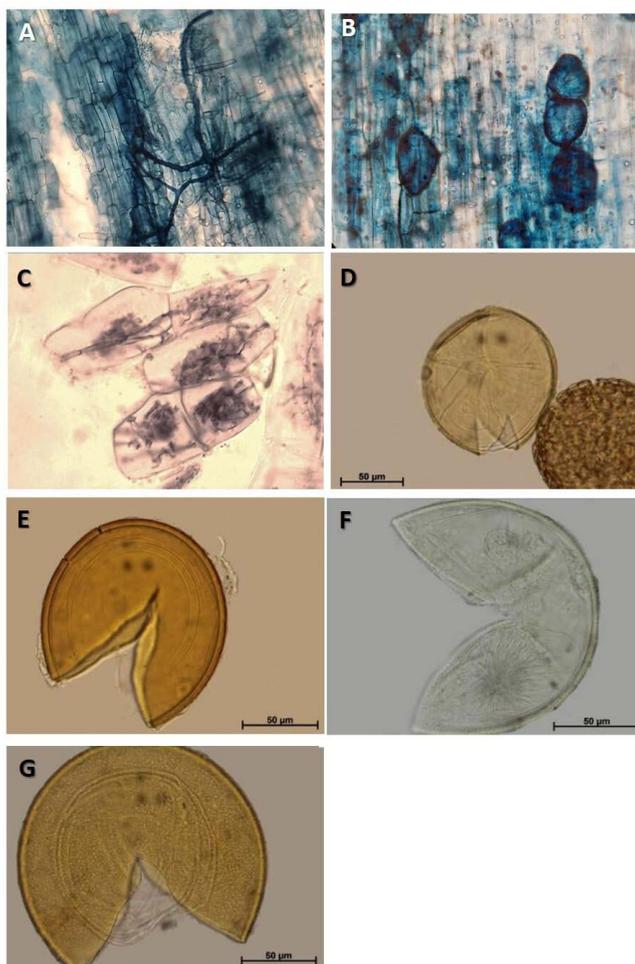
## Discusión

Como ya se ha reportado por diferentes autores, las plantas presentan en un alto porcentaje asociaciones de simbiosis con los HMA (Brachmann & Parniske 2006, Camargo-Ricalde *et al.* 2012), por eso no es de extrañar que en la familia Euphorbiaceae, con cerca de 80 especies estudiadas, se hayan observado estructuras propias de estos organismos en todas ellas. En el género *Croton* los estudios en este sentido son verdaderamente escasos, ya que de las cerca de 1300 especies que se conocen (Martínez 1996), apenas en una veintena de ellas se han investigado. Por otra parte, se ha documentado ampliamente el efecto que ejercen de los factores ambientales y la biota del suelo en la formación de micorrizas Sadhana (2014). Uno de estos factores puede ser la humedad relativa, como lo mencionan Pérez *et al.* 2012, quienes consideran que la densidad de esporas puede estar relacionada con ambientes más secos. Los resultados obtenidos en esta investigación son concordantes con este esquema, ya que el sitio que presentó una mayor densidad de esporas fue el de Tezonapa plantación, donde la cobertura original no existe, y *C. draco*, es la única especie arbórea presente, esto ocasiona que la temperatura del microclima sea más elevada y el agua no sea fácil-

Evidencia de micorrizas en *Croton draco* var. *draco*

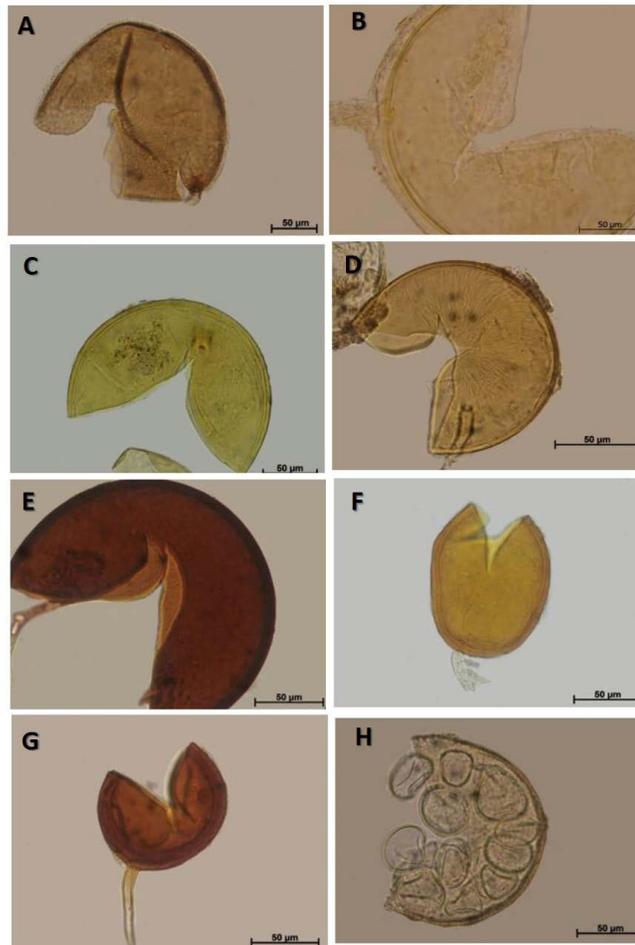


**Figura 2.** Análisis de correspondencia simple donde se muestra la distribución de las especies de HMA en los tres sitios de estudio (los puntos rojos (●) indican los grupos de especies por sitio y los puntos azules (●) encierrados en un triángulo las especies que se comparten por sitio).



**Figura 3.** Estructuras de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) asociados a la raíz de *Croton draco* var. *draco*. A) Hifas; B) Vesículas; C) Arbuscúlos. D) - G) Esporas de HMA asociadas a la rizósfera de *C. draco* var. *draco*: D) *Acaulospora delicata*; E) *A. mellea*; F) *A. scrobiculata*; G) *A. rehmsii*.

mente retenida, lo que provoca también una mayor erosión del suelo. De acuerdo con Lenoir *et al.* (2016) y Zangaro *et al.* (2013), estas condiciones favorecen la presencia de pastos y otras plantas propias de vegetación secundaria, y que las esporas al ser estructuras de resistencia pueden tolerar ciertas alteraciones ambientales, aumentando su densidad después de un disturbio (Vargas-Vázquez *et al.* 2021). Este mismo criterio explicaría la menor densidad de esporas en los sitios Tezonapa nativo y Xonotla, ya son ecosistemas con poco perturbados, con mayor humedad y diversidad vegetal. En esta investigación se encontró que la mayor diversidad de esporas de los HMA está en el sitio con mayor alteración que es Tezonapa plantación; lo que sugiere que la alteración del ecosistema está ejerciendo un efecto positivo en la densidad de las esporas. Sin embargo, hay que considerar que el muestreo se llevó a cabo en una sola época del año, con escasa humedad relativa, sería interesante investigar si este resultado se mantiene en cuando las condiciones ambientales de humedad y temperatura cambian.



**Figura 4.** Esporas de hongos endomicorrizógenos asociados a la rizósfera de *C. draco* var. *draco*. A) *Acaulospora spinosa*; B) *Rizogloium clarum*; C) *Entrophospora claroidea*; D) *Entrophospora etunicata*; E) *Septogloium constrictum*; F) *Glomus* sp. 1; g) *Glomus* sp. 2; H) *Rhizogloium microagregatum*.

La diversidad de las especies y el proceso químico para que las hifas penetren a las células de la raíz y se formen vesículas y arbuscúlos, es el resultado de la interacción de factores muy diversos, como pueden ser: el tipo de vegetación, en una selva se produce una mayor cantidad de materia orgánica, lo que provoca una mayor diversidad de HMA (Navarro 2003). El mismo autor indica que la diversidad de estos hongos es mayor en climas cálidos con suelos secos, altas tasas de renovación de materia orgánica y donde el fósforo es limitado. En Tezonapa nativo y Tezonapa plantación, se registraron ocho especies, mientras que en Xonotla se reconocieron once especies; es posible

que el mayor contenido de materia orgánica, buena humedad ambiental y del suelo, además de muy bajos niveles de P, K y Ca, sean los factores que estén favoreciendo esta diversidad.

*Acaulospora*, fue el género con mayor diversidad registrada con siete especies, presentes todas en el sitio Xonotla; mientras que de los géneros *Diversispora* y *Septoglomus* se encontró una sola especie. De acuerdo con Schüßler (2022), *Acaulospora* es el género abundante a nivel mundial y a nivel nacional (Polo-Marcial *et al.* 2021) después del género *Glomus*. Comparando los tres sitios se pueden apreciar diferencias importantes, donde *Acaulospora mellea* y *Rizoglosum microagregatum* fueron las únicas especies presentes en los tres sitios y de manera exclusiva *Glomus* sp. 2 en Tezonapa plantación, y *Glomus* sp. 1 en Xonotla. Con estos resultados no es posible aun, relacionar la presencia de los HMA con la producción de metabolitos secundarios; en un trabajo realizado por Ramón (2009), se cuantificó el alcaloide taspina y los compuestos fenólicos totales en estas mismas localidades (sin considerar Tezonapa plantación), donde la mayor producción de estos metabolitos fue en Tezonapa, evidenciando la influencia del ambiente, principalmente temperatura, humedad y suelo. Para *C. draco* var. *draco*, esta investigación representa el primer acercamiento sobre la relación de la especie con los HMA; donde se pudieron reconocer las estructuras típicas de los HMA: hifas cenocíticas, vesículas y arbusculos (Oehl *et al.* 2011), correspondientes al Phylum Mucoromycota y Clase Glomeromycetes, cuya distribución es cosmopolita y son simbioses obligados de organismos fotosintéticos (Stürmer *et al.* 2018). Estos resultados son relevantes debido a que no se conoce ningún cultivo establecido y para iniciarlo es fundamental conocer cuáles son las relaciones ecológicas de la especie. Hasta ahora no hay evidencias claras de que exista especificidad entre la especie colonizada y el hongo colonizador, ya que mientras algunos autores sugieren que debe existir alguna influencia en la relación planta - hongo (Alarcón & Cuenca 2005), otros consideran que no es tan determinante (Navarro 2003). Es importante hacer estudios más precisos para determinar cuáles son los HMA que colonizan las raíces de *C. draco* var. *draco*, si son específicos o no, si la variedad también influye y si los HMA efectivamente incrementan la producción de los metabolitos secundarios y entonces considerar este aspecto en el cultivo agronómico de *C. draco*, por lo que es necesario continuar con las investigaciones para tener un panorama más claro de las interacciones que se están dando en estos lugares entre *C. draco* var. *draco* - HMA y proponer estrategias agronómicas de cultivo sustentable que incluyan a los HMA.

## Literatura citada

- Alamillo VJ. 2017. *Evaluación del efecto antitumoral del extracto acuoso del látex de Croton draco* var. *draco* Cham. & Schltdl y *Croton lechleri* Muell. Arg. sobre líneas celulares derivadas de cáncer. MSc. Thesis. Universidad Veracruzana.
- Alarcón C, Cuenca G. 2005. Micorrizas arbusculares en dunas de arena costeras de la Península de Paraguaná, Venezuela. *Micorriza* **16**: 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00572-005-0005-x>
- Andrade SAL, Malik S, Sawaya A, Bottcher A, Mazzafera P. 2013. Association with arbuscular mycorrhizal fungi influences alkaloid synthesis and accumulation in *Catharanthus roseus* and *Nicotiana tabacum* plants. *Acta Physiologiae Plantarum* **35**: 867-880. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11738-012-1130-8>
- Bagyaraj J, Stürmer S. 2012. Hongos micorrizógenos arbusculares (HMA). In: Moreira F, Huising E, Bignell D. México: Instituto Nacional de Ecología: eds, *Manual de Biología de Suelos Tropicales*. pp. 217- 229. ISBN: 6077908312, 9786077908319.
- Becker WN, Gerdemann JW. 1977. *Glomus etunicatus* sp. nov. *Mycotaxon* **6**, 29-32. [http://www.zor.zut.edu.pl/Glomeromycota\\_2/Taxonomy.html](http://www.zor.zut.edu.pl/Glomeromycota_2/Taxonomy.html) (accessed august 26, 2023).
- Błaszczkowski J, Tadych M, Madej I, Adamska I, Czerniawska B, Iwaniuk A. 1999. *Acaulospora mellea* and *A. trappei*, fungi new for Poland. *Acta Mycologica* **34**: 41-50. DOI: <http://doi.org/10.5586/am.1999.002> (accessed october 15, 2023)
- Błaszczkowski J. 2003. *Arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota), Endogone, and Complexipes* species deposited in the Laboratory of Plant Protection. West Pomeranian University of Technology, Szczecin, Poland. University of Agriculture in Szczecin,

- Brachmann A, Parniske M. 2006. The most widespread symbiosis on Earth. *Plos Biology* 4: e239. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0040239>
- Brundrett M, Beegher N, Dell B, Groove T, Malajczuk N. 1996. Working with mycorrhizas in forestry and agriculture. Canberra: *Australian Center for International Agricultural Research* 32: 1-374 DOI: <https://doi.org/10.13140/2.1.4880.5444>
- Brundrett MC, Tedersoo L. 2018. Evolutionary history of mycorrhizal symbioses and global host plant diversity. *New Phytologist* 220:1108-1115. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.14976>
- Castro O, Gutiérrez JM, Barrios M, Castro I, Romero M, Umaña E. 1999. Neutralización del efecto hemorrágico inducido por veneno de *Bothrops asper* (Serpentes: Viperidae) por extractos de plantas tropicales. *Revista de Biología Tropical*. 47: 605-616. DOI: <https://doi.org/10.15517/rbt.v47i3.19215>
- Chen XM, Guo SX. 2005. Effects of four species of endophytic fungi on the growth and polysaccharide and alkaloid contents of *Dendrobium nobile*. *China Journal Chinese Materia Medica*. 30: 253-257
- CONAFOR [Comisión Nacional Forestal]. 2009. Vegetación de México. El rojo del bosque: Sangre de drago *Croton draco*. México Forestal. *Revista Electrónica de la Comisión Nacional Forestal* 108. (accessed october 17, 2023).
- Chil-Núñez I, Molina-Beltran S, Ortiz-Zamora L, Dutok CMS, Souto RPNI. 2019. Estado del arte de la especie *Persea Americana* Mill. (aguacate). *Amazonia Investiga*. 8:73-86.
- Daniels BA, Skipper HD. 1982. Methods for the recovery and quantitative estimation of propagules from soil. In: Schenck NC. ed. *Methods and Principles of Mycorrhiza Research*. Kansas, USA: American Society for Phytopathology, pp. 29-37.
- Engel R, Szabó K, Abrankó L, Rendes K, Füzy A, Takács T. 2016. Efecto de los hongos micorrícicos arbusculares sobre el crecimiento y el perfil polifenólico de mejorana, melisa y caléndula. *Revista de Química Agrícola y Alimentaria* 64: 3733-3742. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b00408>
- Farías F, Williamson J, Rodríguez S, Ángeles G, Portugal V. 2009. Bark anatomy in *Croton draco* var. *draco* (Euphorbiaceae). *American Journal of Botany* 96: 2155-2167. DOI: <https://doi.org/10.3732/ajb.0900035>
- Franco NJ. 2003. *Efectos beneficiosos de las micorrizas sobre las plantas*. BSc. Thesis, Universidad de Sevilla.
- Gerdemann JW, Nicolson TH. 1963. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society* 46: 235-244. [http://doi.org/10.1016/S0007-1536\(63\)80079-0](http://doi.org/10.1016/S0007-1536(63)80079-0)
- García IM, García CH. 2008. Etnobotánica del árbol “sangregado” *Croton draco* (Euphorbiaceae) en la Sierra de Santa Marta, México. *Universciencia* 15: 41-48
- Ghosh P, Verma NK. 2015. Vesicular arbuscular mycorrhizal (VAM) status of some Medicinal plants of Gar-Panchakot Hills in Purulia, West Bengal, India. *International Journal of Pure & Applied Bioscience* 3: 137-149. DOI: <https://doi.org/10.18782/2320-7051.2152>
- González J. 2006. Flora digital de la selva. Costa Rica: Organización para estudios tropicales. pp. 1-35.
- Gupta D, Bleakley B, Gupta RK. 2008. Dragon’s Blood: Botany, Chemistry and uses. *Journal of Ethnopharmacology* 115: 361-380. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2007.10.018>
- Guevara AA, Chiriboga X. 2006. Biological, Economic, Ecological and Legal Aspects of Harvesting Traditional Medicine in Ecuador. In: Zhang L, Demain AL, eds, *Natural products. Drug Discovery and Therapeutic Medicine*. Totowa, NJ: Humana Press: pp. 353-370 DOI: [https://doi.org/10.1007/978-1-59259-976-9\\_16](https://doi.org/10.1007/978-1-59259-976-9_16)
- Hernández J, Delgado G. 1992. Terpenoids from aerial parts of *Croton draco*. *Fitoterapia* 63: 377-37.
- Hussein RA, El-Ansary AA. 2019. “Plants Secondary Metabolites”: The Key Drivers of the Pharmacological Actions of Medicinal Plants. Herbal Medicine. *IntechOpen*. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.76139>
- Jeffries P, Gianinazzi S, Perotto S, Turnau K, Barea JM. 2003. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. *Biology and Fertility of Soils* 37: 1-16. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-002-0546-5>
- Juárez-Rosete C, Aguilar-Castillo J, Juárez-Rosete M, Bugarín-Montoya R, Juárez-López P, Cruz CE. 2013. Hierbas aromáticas y medicinales en México: Tradición e innovación. *Revista Bio Ciencias* 2: 119-129. DOI: <https://doi.org/10.15741/revbio.02.03.06>

- Kaur S, Suseela V. 2020. Unraveling arbuscular mycorrhiza-induced changes in plant primary and secondary metabolome. *Metabolites* **10**: 335. DOI: <https://doi.org/10.3390/metabo10080335>
- Koske RE, Gemma JN, Olexia PD. 1986. *Glomus microaggregatum*, a new species in the Endogonaceae. *Mycotaxon* **26**: 125-132.
- Koske RE, Tessier B. 1983. A convenient, permanent slide-mounting medium. *Newsletter Mycological Society of America*. **34**: 59.
- Lazzara S, Militello M, Carrubba A, Napoli E, Saia S. 2017. Arbuscular mycorrhizal fungi altered the hypericin, pseudohypericin, and hyperforin content in flowers of *Hypericum perforatum* grown under contrasting P availability in a highly organic substrate. *Mycorrhiza* **27**: 345-354. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00572-016-0756-6>
- Lenoir I, Fontaine J, Lounès-Hadj Sahraoui A. 2016. Arbuscular mycorrhizal fungal responses to abiotic stresses: a review. *Phytochemistry* **123**: 4-15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2016.01.002>
- Martín DMC. 2017. Análisis de contaminantes metálicos y minerales en plantas medicinales. Evaluación de riesgo para la salud humana. PhD Thesis. Universidad de Granada.
- Martínez GMJ. 1996. El género *Croton* (Euphorbiaceae) en Mesoamérica. MSc Thesis. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Meza E. 1999. *Desarrollando nuestra diversidad biocultural: "Sangre De Grado" y el reto de su producción sustentable en el Perú*. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos Fondo Editorial. ISBN-10: 997291030X, ISBN-13: 978-9972910302
- Minitab. 2007. Meet Minitab 15. Statistical Software. State College PA.
- Morel F, Hernández A, Borges Y, Marentes FL. 2009. La actividad de los hongos micorrízicos arbusculares en la estructura del suelo. *Cultivos Tropicales* **30**: 25-31.
- Morton JB. 1988. Taxonomy of VA mycorrhizal fungi: classification, nomenclature, and identification. *Mycotaxon* **32**: 267-324.
- Morton JB, Bentivenga SP, Wheeler WW. 1993. Germ plasm in the International Collection of Arbuscular and Vesicular-arbuscular Mycorrhizal Fungi (INVAM) and procedures for culture development, documentation, and storage. *Mycotaxon* **48**: 491-528.
- Murillo RM, Japukovic J, Rivera J, Castro VH. 2001. Diterpenes and other constituents from *Croton draco* (Euphorbiaceae). *Revista de Biología Tropical*. **49**: 259-264.
- Nicolson TH, Schenck NC. 1979. Endogonaceous mycorrhizal endophytes in Florida. *Mycologia* **71**: 178-198. DOI: <https://doi.org/10.1080/00275514.1979.12020997>
- Noda Y. 2009. Las micorrizas: Una alternativa de fertilización ecológica en los pastos. *Pastos y Forrajes*. **32**: 1-10.
- Oehl F, Sieverding E, Palenzuela J, Ineichen K, da Silva GA. 2011. Advances in Glomeromycota taxonomy and classification. *IMA Fungus* **2**: 191-199. DOI: <https://doi.org/10.5598/ima fungus.2011.02.02.10>
- Pedraza RO, Teixeira KRS, Fernández SA, García SI, Baca BE, Rosario B, Vera LD, Bonilla R. 2010. Microorganismos que mejoran el crecimiento de las plantas y la calidad de los suelos. *Revisión. Revista Corpoica-Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. **11**: 155-164.
- Pérez AC, Espitia F, Martínez E. 2012. Diversidad de micorrizas arbusculares en agroecosistemas de pastura del departamento de Sucre. *Revista Colombiana de Ciencia Animal* **4**: 333-343. DOI: <https://doi.org/10.24188/recia.v4.n2.2012.214>
- Phillips JM, Hayman DS. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transaction of the British Mycological Society* **55**: 158-161. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(70\)80110-3](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3)
- Polo-Marcial M, Lara-Pérez LA, Goto BT, Margarito-Vista X, Andrade-Torres A. 2021. Glomeromycota in Mexico, a country with very high richness. *Sydowia* **74**: 33-63. DOI: <https://doi.org/10.12905/0380.sydowia74-2021-0033>
- Puebla P, Guerrero MF, Correa SX. 2004. Flavonoides del género *Croton*. *Revista Colombiana De Ciencias Químico-farmacéuticas*. **33**: 77-85.

- Ramón F. 2009. Variaciones en la anatomía de la corteza y en la producción de metabolitos secundarios, de dos poblaciones de *Croton draco* Schlttdl. & Cham. en el estado de Veracruz México, PhD Thesis, CINVESTAV-IPN.
- Ramos-Montaña C, Posada RH, Ronderos MA, Penagos GA. 2010. Relación entre la asociación micorrícica con el estado sanitario en el arbolado urbano de Bogotá DC., Colombia. *Acta Biológica Colombiana* **15**: 245-258.
- Redecker D, Schüßler A, Stockinger H, Stürmer SL, Morton JB, Walker C. 2013. An evidence-based consensus for the classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota). *Mycorrhiza* **23**: 515-531. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00572-013-0486-y>
- Rojas-Alvarado ACA, Doss RG. 2014. Carbono, bosques y micorrizas: una “negación de investigación imperativa”. *Brenesia* **81-82**: 91-95.
- Román Miranda ML, Mora Santacruz A, González Cueva GA. 2016. Sistemas Agroforestales con especies de importancia maderable y no maderables, en el trópico seco de México. *Avances en Investigación Agropecuaria* **20**: 53-72. (accessed October 14, 2023).
- Sadhana B. 2014. Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) as a biofertilizer-a review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* **3**: 384-400.
- Salatino A, Faria ML, Negri G. 2007. Traditional uses, Chemistry and Pharmacology of *Croton* species (Euphorbiaceae). *Journal of the Brazilian Chemical Society* **18**: 11-33. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-50532007000100002>
- Santos EL, Ferreira MR, Soares LAL, Sampaio EVSB, Silva WAV, Silva FA. 2020. *Acaulospora longula* increases the content of phenolic compounds and antioxidant activity in fruits of *Libidibia ferrea*. *Open Microbiology Journal* **14**: 132-139. DOI: <https://doi.org/10.2174/1874285802014010132>
- Schenck NC, Pérez Y. 1990. *Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi* (Vol. 286). Gainesville: Synergistic Publications. ISBN: 9780962598036, 0962598038
- Schenck NC, Smith GS. 1982. Additional new and unreported species of mycorrhizal fungi (Endogonaceae) from Florida. *Mycologia* **74**: 77-92. <https://doi.org/10.2307/3792631>
- Schenck NC, Spain JL, Sieverding E, Howeler RH. 1984. Additional new and unreported vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (Endogonaceae) from Colombia. *Mycologia* **74**: 77-92. DOI: <https://doi.org/10.1080/00275514.1984.12023899>
- Schüßler A. 2022. Glomeromycota phylogeny: Phylogeny and taxonomy of Glomeromycota (arbuscular mycorrhizal (AM) and related fungi. Darmstadt, Germany. <http://www.amf-phylogeny.com> (accessed September 19, 2023)
- Sieverding E, Toro ST. 1987. *Acaulospora denticulata* sp. nov. and *Acaulospora rehmii* sp. nov. (Endogonaceae) with ornamented spore walls. *Angew. Botanoik* **61**: 217-223.
- Soria N, Ramos P. 2015. Uso de plantas medicinales en la atención primaria de Salud en Paraguay: algunas consideraciones para su uso seguro y eficaz. *Memorias del Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Salud*. **13**: 8-17. [https://doi.org/10.18004/Mem.iics/1812-9528/2015.013\(02\)08-017](https://doi.org/10.18004/Mem.iics/1812-9528/2015.013(02)08-017)
- Standley PC, Steyermark JA. 1958. Euphorbiaceae. In: *Flora of Guatemala*. Fieldiana Botany **24**: 25-170.
- Stürmer SL, Bever JD, Morton JB. 2018. Biogeography of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota): a phylogenetic perspective on species distribution patterns. *Mycorrhiza* **28**: 587-603. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00572-018-0864-6>
- Trappe JW. 1977. Three new Endogonaceae: *Glomus constrictus*, *Sclerocystis clavisporea*, and *Acaulospora scrobiculata*. *Mycotaxon* **6**: 359-366.
- Tsacheva I, Rostan J, Iossifova T, Vogler B, Odjakova M, Navas H, Kostova I, Kojouharova M, Kraus W. 2004. Complement inhibiting properties of dragon's blood from *Croton draco*. *Verlag der Zeitschrift für Naturforschung* **59c**: 528-532. DOI: <https://doi.org/10.1515/znc-2004-7-814>
- Valera-Montero LL, Enríquez-Nava S, Silos-Espino H, Padilla-Ramírez JS, Perales-Segobia C, Flores-Benitez S. 2018. Propiedades físico-químicas de guabilla (*Psidium guineense*), Arrayán (*Psidium sartorianum*) y guayaba (*Psidium guajaba*). **9**: 1099-1108 DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i6.1576>
- Vargas-Vázquez VA, Sánchez-Rangel NI, Hernández-Cuevas LV, Guevara-Guerrero G. 2021. Riqueza de especies

- de hongos micorrízicos asociados a plantas de la familia Euphorbiaceae en el Área Natural Protegida Altas Cumbres, Tamaulipas, México. *Ciencia UAT* **16**: 6-19. DOI: <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v16i1.1527>
- Walker C. 1983. Taxonomic concepts in the Endogonaceae; spore wall characteristics in species descriptions. *Mycotaxon* **18**:443-455. <https://www.researchgate.net/publication/312985973>
- Walker C, Trappe JM. 1981. *Acaulospora spinosa* sp. nov. with a key to the species of *Acaulospora*. *Mycotaxon* **12**: 515-521.
- Zangaro W, Rostirola LV, de Souza PB, de Almeida Alves R, Lescano LEAM, Rondina ABL, Nogueira, MA, Carrenho R. 2013. Root colonization and spore abundance of arbuscular mycorrhizal fungi in distinct successional stages from an Atlantic rainforest biome in southern Brazil. *Mycorrhiza* **23**: 221-233. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00572-012-0464-9>
- Zeng Y, Guo LP, Chen BD, Hao ZP, Wang JY, Huang LQ, Chen ML. 2013. Arbuscular mycorrhizal symbiosis and active ingredients of medicinal plants: current research status and prospective. *Mycorrhiza* **23**: 253-265. DOI: <http://doi.org/10.1007/s00572-013-0484-0>
- Zubek S, S, Mielcarek Turnau K. 2012. Hypericin and pseudohypericin concentrations of a valuable medicinal plant *Hypericum perforatum* L. are enhanced by arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycorrhiza* **22**: 149-156. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00572-011-0391-1>

---

**Editor de sección:** Enrique Jurado

**Contribuciones de los autores:** VOP, procesamiento de muestras, análisis estadístico, análisis de los resultados; HMC, procesamiento de muestras y Análisis e integración de los resultados; AMDPNR, trabajo de campo y Análisis e integración de los resultados; EIL, trabajo de campo y Análisis e integración de los resultados; FRF, trabajo de campo y procesamiento de muestras.

**Entidades Financiadoras:** CINVESTAV Unidad Irapuato, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Universidad Veracruzana e Instituto de Ecología, Xalapa, Veracruz.

**Conflictos de Interés:** Los autores declaramos que no existe ningún conflicto de intereses económicos o personales, en la información, presentación de datos y resultados de este artículo.