

TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE CHICULOAPAN

DIVISION EN INGENIERIA EN ENERGÍAS RENOVABLES

TESIS

ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE PARA LA CAPTACIÓN DE CARBONO EDÁFICO POR MICORRIZAS EN MÉXICO

**ALUMNA: GONZALEZ PEREZ BETZABEHT
ABIGAIL.**

**DIRECTOR DE TESIS: DR. HERRERA ZUÑIGA
LEONARDO DAVID.**

Chicoloapan, Estado de México Julio 2019.

La presente Tesis para obtener el título en la ingeniería en Energías Renovables, titulada: **ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE PARA LA CAPTACIÓN DE CARBONO EDÁFICO POR MICORRIZAS EN MÉXICO**, en INIFAP periodo, octubre 2018 a enero 2019, realizada por la alumna: **González Pérez Betzabeht Abigail** bajo la dirección del asesor interno: **Dr. Herrera Zúñiga Leonardo David** ha sido aprobada y aceptada por el Cuerpo Académico del **Tecnológico de Estudios Superiores de Chicoloapan**, como requisito parcial para obtener el grado académico de **licenciatura** como:

Ingeniera en Energías Renovables

Director de tesis:

Dr. Herrera Zúñiga Leonardo David

Ing. David Sánchez Luna

Encargado de la Jefatura de la Carrera de
Ingeniería en Energías Renovables.

Mtro. Rodrigo Cepeda Fernández

Encargado de la subdirección Académica
del Tecnológico de Estudios Superiores de
Chicoloapan

Chicoloapan, Estado de México Lunes 1 de Julio 2019.

DEDICATORIA.

- A Dios que me ha bendecido y cuidado a lo largo de toda mi vida y me permitió culminar una etapa más en ella.
- A mi madre, una mujer que me ha acompañado en toda mi vida, dándome consejos para mejorar como persona, cuidándome y brindándome su amor y su apoyo incondicional mamá gracias!
- A mi hermana una mujer que me enseñó el valor de la vida y el no darme por vencida por ninguna circunstancia, aunque partiste a la presencia de Dios, agradezco por los años que estuviste a mi lado.
- A mi padre que a pesar de su ausencia en mi desarrollo tanto físico como intelectual siempre tuvo una palabra de aliento y me apoyo económicamente en todo momento papá gracias!
- A mi familia que con amor me acompaña en todas las etapas de mi vida gracias!
- A mis amigos y amigas que estuvieron en cada momento bueno o malo de mi vida gracias!
- A mis amigos y colegas gracias por tantas experiencias, aprendizajes, cuidados y cariño, fue divertido haber recorrido este camino con ustedes los quiero!

AGRADECIMIENTOS

- Agradezco Tecnológico de Estudios Superiores de Chicoloapan (TESCH) por todo el apoyo que me proporciono durante mi desempeño académico.
- Agradezco a Instituto Nacional de Investigadores Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) la oportunidad de trabajar dentro de sus instalaciones para desarrollar mi memoria de residencias profesionales, junto a la Dra. Irizar Garza Marta Blanca Guadalupe.

ÍNDICE

RESUMEN	2
INTRODUCCIÒN	2
ANTECEDENTES	3
SECUESTRO DE CARBONO.....	3
MICORRIZAS.....	3
EL USO DE MICORRIZAS EN MÉXICO.....	6
HIPÓTESIS.....	8
OBJETIVOS	8
OBJETIVO GENERAL	8
OBJETIVOS ESPECÌFICOS	8
METODOLOGIA.....	9
BUSQUEDA DE BIBLIOGRAFIA.....	9
SELECCIÓN DE BIBLIOGRAFIA	10
CLASIFICIÓN DE BIBLIOGRAFIA	10
RESULTADOS Y DISCUSIONES	11
USOS DE MICORRIZA	11
SECUESTRO DE CARBONO EN MÉXICO	14
SECUESTRO DE CARBONO EN EL MUNDO	15
GLOMALINA	16
CONCLUSIONES.....	20
REFERENCIAS BIBLIOGRÀFICAS.....	21

“Estudio del estado del arte para la captación de carbono edáfico”

González Pérez Betzabeht Abigail.

RESUMEN

Las actividades humanas emiten enormes cantidades de gas carbónico en la atmósfera, lo que incrementa el efecto invernadero y acelera el cambio climático. Cada año, el 30% de este gas carbónico es recuperado por las plantas gracias a la fotosíntesis. Después, cuando las plantas mueren y se descomponen, los organismos vivos del suelo, tales como las bacterias, hongos o gusanos, las transforman en materia orgánica. Esta materia orgánica rica en carbono, es esencial para la alimentación de los seres humanos porque retiene el agua, el nitrógeno y el fósforo, indispensables para el crecimiento de las plantas, los suelos mundiales contienen 2 a 3 veces más carbono que la atmósfera. Si este nivel de carbono aumentara en un 0,4%, o 4 ‰ por año, en los primeros 30-40 cm de suelo, el aumento anual de dióxido de carbono en la atmósfera se reduciría significativamente. El suelo agrícola puede desempeñar un papel determinante para la seguridad alimentaria y el cambio climático. Basándonos en documentación científica la inoculación de micorriza y glomalina en los diferentes tipos de cultivos es una opción favorable para el secuestro de carbono edáfico en los suelos agrícolas, ya que el aumento de carbono en los suelos contribuye tanto a estabilizar el clima como también a asegurar la seguridad alimentaria, es decir, a producir la cantidad de comida necesaria con calidad.

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se hizo un estudio de del estado del arte sobre la participación de las micorrizas en el secuestro de carbono edáfico.

Se ha estimado que los suelos son capaces de secuestrar alrededor de 20 Pg. en 25 años, más del 10 % de las emisiones antropogénicas. Por lo cual se trata de inocular la micorriza en el cultivo agrícola para logara una captura de carbono ya que la materia orgánica es la que genera CO² ya que la degradación de tierras no sólo disminuye los rendimientos de los cultivos sino que también reduce el almacenamiento de carbono en los ecosistemas agrícolas, y puede llevar a reducir la biodiversidad, por lo que es importante de identificar las sinergias importantes que se pueden encontrar en la categoría de secuestro del carbono entre las tres convenciones de las Naciones Unidas (CMNUCC, CCD y UNCBD).

Las actividades de secuestro de carbono han sido apoyadas por MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio) bajo el Protocolo de Kioto con enfoque en la a forestación y reforestación, vistas como los medios más eficaces fácilmente medibles para el secuestro de carbono en la biomasa encima del suelo y debajo de la superficie del suelo. En las negociaciones post-Kioto se están haciendo esfuerzos para prestar la atención al secuestro de carbono potencial en pastizales. Flores-Velázquez, R., Muñoz Ledo-Carranza, R., & Villalba-Valle, D. (2010).

Las micorrizas son un tipo de hongo que potencializan el crecimiento del cultivo, por la producción de glomalina se detectó que son capaces de secuestra una parte importante de carbono en el suelo edáfico, puesto que hay hectáreas inmensas que no remueven sus tierras ahí es donde existe la eficiencia mayor por parte de la endomicorriza, las hectáreas que remueven su tierra tiende a liberar más CO² equivalente a una gran parte de contaminación, ya que la materia orgánica es la que lo libera, al ser agregada para la nutrición de la tierra. (Báez-Pérez, A., González-Chávez, M. C., Echeverry-Barra, J. D., Prat, C., & Hidalgo-Moreno, C. 2010).

El botánico francés (Bernard 1990) resaltó su importancia al estudiar las orquídeas. Trappe (1994) define a las micorrizas en términos funcionales y estructurales, como “órganos de absorción dobles que se forman cuando los hongos simbioses viven dentro de los órganos de absorción sanos (raíces, rizomas o talos) de las plantas terrestres, acuáticas o epífitas”. En esta asociación, la planta le proporciona al hongo carbohidratos (azúcares, producto de su fotosíntesis) y un microhábitat para completar su ciclo de vida; mientras que el hongo, a su vez, le permite a la planta una mejor captación de agua y nutrientes minerales con baja disponibilidad en el suelo (principalmente fósforo), así como defensas contra patógenos. Ambos, hongo y planta, salen mutuamente beneficiados, por lo que la asociación se considera como un “mutualismo”.

ANTECEDENTES

SECUESTRO DE CARBONO.

Árboles en pie.

Predeciblemente, en bosques primarios, la densidad de árboles vivos debía ser mayor. Que el huerto casero supere al bosque secundario se justifica por la presencia de árboles cultivados de gran fuste y baja densidad, con relación a la gran densidad y pobre fuste, característica de los bosques de regeneración. En los demás tratamientos hay proporcionalidad entre la densidad arbórea y los volúmenes de carbono secuestrado. Nótese el caso de la silvopastura, donde la inclusión de árboles en baja densidad basta para incrementar considerablemente la proporción de carbono retenido.

Árboles caídos muertos.

Su primacía en bosques primarios es consecuencia de su intensa dinámica de regeneración, no debe descartarse la intervención que se interprete como deforestación. En los demás tratamientos, la acumulación es función del diseño estructural del SAF a excepción de café+sombra que supera al bosque secundario y que en teoría debiera invertirse. Se justifica ello en la dinámica temporal de los bosques correspondiente a la secuenciación RTQ y su ausencia en las plantaciones, donde simplemente los restos de la roza persisten.

Arbustos y hierbas.

Justifica la superioridad de los tratamientos pastura y silvopastura, por sus cualidades intrínsecas. La diferencia a favor de pasturas, de casi 40 %, se atribuye al componente arbóreo, pero no se justifica totalmente. En los demás tratamientos el carbono herbáceo es menor por la alta densidad del dosel y el laboreo.

Hojarasca.

La sucesión es función del grado de cobertura arbórea, pues como es evidente, la provisión de hojarasca es proporcional al aporte de biomasa foliar. (Callo Concha, D., Krishnamurthy, L., & Alegre, J. 2002).

MICORRIZAS.

Las micorrizas son asociaciones simbióticas mutualistas de diversos tipos que se establecen entre ciertos hongos del suelo y las raíces de una planta. De entre estas asociaciones destacan por su ubicuidad las endomicorrizas o micorrizas arbusculares, aparentemente las más comunes en la naturaleza, ya que ocurren en la mayoría de los suelos y en el 90% de las familias de plantas de la tierra. La ubicación taxonómica del hongo sendomicorrízicos ha evolucionado recientemente a partir de consideraciones basadas en la revisión de esporas fósiles, las relaciones entre las diferentes categorías

de los hongos actuales, su morfología y su comportamiento fisiológico. La importancia de las endomicorrizas ha aumentado en la última década debido a numerosos reportes de efectos benéficos sobre las plantas, que van desde incrementos en la absorción de nutrimentos en el suelo, su influencia sobre las relaciones hídricas y la protección contra agentes patógenos, hasta el importante papel ecológico que estas asociaciones parecen jugar en la sucesión de especies en las comunidades vegetales naturales. (Gómez, L. I. A., Portugal, V. O., Arriaga, M. R., & Alonso, R. C. (2007).

Debido a los efectos negativos que han causado los fertilizantes químicos en el deterioro del medio ambiente, se trabaja, desde hace algunas décadas, en la introducción de alternativas de fertilización en el manejo de los cultivos. La micorrización es una de las técnicas biológicas empleadas en muchos de ellos; sin embargo, en los pastos aún no se ha logrado extenderla ampliamente en la producción y los estudios han estado dirigidos a algunas leguminosas y muy pocas gramíneas. Las micorrizas permiten una aplicación exitosa mediante el recubrimiento de las semillas. Por otra parte, las relaciones micorrízicas pueden ser la clave para disminuir la cantidad de fertilizantes (especialmente fosfatos) que debe aplicarse para obtener buenos rendimientos; en los suelos con altos contenidos de P la inoculación con micorriza incrementa el crecimiento y el establecimiento temprano de los cultivos. Las plantas desarrollan una calidad biológica superior, en cuanto a mayor altura, vigor y área foliar, y se incrementan los rendimientos (entre 15 y 50%). Protege las raíces contra ciertos hongos patógenos. Además, el biofertilizante permite ahorrar hasta un 50% del volumen de los productos químicos necesarios, lo que favorece la reducción de los insumos y de los costos, e influye en el ejercicio de una agricultura sostenible y ecológicamente más sana. (Noda, Y. 2009).

Hongos formadores de MVA

Las micorrizas son asociaciones entre la mayoría de las plantas existentes y los hongos benéficos, que incrementan el volumen de la raíz y, por tanto, permiten una mayor exploración de la rizosfera. Son considerados los componentes más activos de los órganos de absorción de los nutrientes de la planta, la que a su vez provee al hongo simbionte de nutrientes orgánicos y de un nicho protector (Corredor, 2008).

La mayoría de las plantas terrestres establecen en sus raíces al menos uno de los tres tipos de asociaciones micorrízicas; de ellas, la del tipo arbuscular es la simbiosis más extendida sobre el Planeta, no solo por el número de plantas hospederas que son capaces de colonizar, sino también por su amplia distribución geográfica (Rivas, 1997).

Su nombre está asociado con estructuras especializadas denominadas arbusculos, que se forman en las células corticales de la raíz como resultado de la interacción planta-hongo. Estas estructuras

constituyen el punto de intercambio de metabolitos entre los dos participantes de la simbiosis (Ayling et al., 1997; Bago et al., 1998).

La simbiosis micorrízica aumenta de forma marcada la absorción de nutrientes como el nitrógeno, el potasio, el calcio, el zinc, el magnesio y especialmente el fósforo; mejora el transporte y la absorción de agua en el vegetal, así como la resistencia de la planta huésped a la sequía (Merryweather y Fitter, 1996; Alkaraki y Clark, 1998; Rivas, 1997 y Alkaraki, 1998). Además, contrarresta el ataque de patógenos, ya sea por la ocupación previa del espacio de las raicillas o por la estimulación de los mecanismos de defensa bioquímica, y contribuye a la formación de agregados del suelo (Dassi et al., 1998; Cuenca et al., 1998).

Hasta hace pocos años, el uso de hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA) se encontraba restringido a aquellos cultivos que necesitan de una fase inicial de establecimiento y crecimiento antes de quedar definitivamente establecidos en el campo, tales como los semilleros de hortalizas, los viveros en frutales y la fase de adaptación en vitroplantas. En esos casos, los volúmenes de inóculos eran aceptables; sin embargo; no se recomendaban para los cultivos de siembra directa aun cuando los efectos eran positivos (Blanco y Salas, 1997; Fernández et al., 1997).

Los dos tipos más comunes y más conocidos son las ectomicorrizas y las endomicorrizas (Ferrera y Pérez, 1995). Cada tipo se distingue sobre la base de la relación de las hifas del hongo con las células radicales del hospedero (Popoff, 2008).

Ferrera y Pérez (1995) plantean que en las ectomicorrizas el micelio invade la raíz sin entrar en el interior de las células; en el caso de las endomicorrizas el micelio invade la raíz, inicialmente es intercelular, pero luego penetra en el interior de las células radicales, desde la rizodermis hasta las células corticales. Dichos autores señalan que este tipo de micorrizas es muy frecuente y están extendidas en todo el Planeta. Se distribuyen, además, en la mayoría de los árboles de las zonas tropicales y algunos árboles de bosques templados. La mayoría de las plantas arbóreas y herbáceas poseen este tipo de asociación, al igual que la mayoría de las plantas cultivadas (aproximadamente el 80%). Las endomicorrizas son particularmente importantes en los trópicos, donde los suelos tienden a retener los fosfatos. Estos hongos inferiores que forman endomicorrizas vesículo arbusculares pertenecen a un solo grupo, las Glomales (Zygomycetes), con seis géneros y muchas especies distribuidas en todos los continentes; son estrictamente simbióticos y no pueden ser cultivados en cultivo puro, o sea en ausencia de su hospedero, contrariamente a los hongos ectomicorrícicos. (<http://www.simbiotica.org/fungi.htm> , 2019).

Los arbusculos de las endomicorrizas son estructuras altamente ramificadas, típicamente intracelulares, que se localizan en las células cercanas al cilindro vascular, y su función es la

transferencia de nutrimentos desde el suelo hasta el huésped; las vesículas son protuberancias que quedan revestidas por la membrana plasmática. Las hifas, por otra parte, se extienden varios centímetros por fuera de la raíz, incrementando la cantidad de nutrientes absorbidos (<http://www.simbiotica.org/fungi.htm> , 2019). En este sentido, las hifas no están septadas, es decir, ausentes de tabiques que separan las células y las asociaciones hongo/hospedante no son muy específicas. Muchas gramíneas las presentan: Andropogon, Bromus, Festuca, Panicum, Poa, Saccharum, Sorghum, Sporobolus, Stipa y Zea mays. El intercambio entre el hongo y el hospedante tiene lugar en los arbuscúlos, que se llenan de gránulos de fosfatos.

EL USO DE MICORRIZAS EN MÉXICO.

Principales líneas de investigación micorrícica en México

Las principales líneas de investigación sobre micorrizas que se desarrollan en nuestro país, presentan los siguientes enfoques:

Agronomía	Efecto de la micorrización en plantas de importancia económica, alimentaria y cultural.
Ecología	Dinámica de las poblaciones de HM e importancia de la micorriza en el crecimiento de especies silvestres y en la dinámica de las comunidades vegetales y ecosistemas.
Taxonomía y Sistemática	Inventario de la diversidad de HM en México y especificidad que pudiera haber con determinadas especies vegetales.
Biología Molecular	Herramienta para el conocimiento de la sistemática y la ecología de los HM. Y de las micorrizas para determinar las relaciones filogenéticas de los HM y las evolutivas con las plantas.
Bioteología y Ciencias Genómicas	Manejo genómico de las cepas de los HM en beneficio del ser humano, por ejemplo, en agronomía, en la producción de metabolitos secundarios antineoplásicos y en la restauración de ecosistemas naturales
Ciencias Ambientales	Biorremediación, restauración, rehabilitación o reasignación de ecosistemas deteriorados.

Los trabajos sobre micorrizas están publicados en libros y en revistas nacionales e internacionales, y muchos de estos trabajos han sido presentados en Simposios Nacionales organizados por la Sociedad Mexicana de la Simbiosis Micorrícica, A.C. (SOMESIMI) desde su fundación en el 2004.

Estos simposios se han organizado cada dos años en diferentes ciudades del país con el apoyo de distintas instituciones mexicanas de educación superior. (Camargo_Ricalde, S. L., ARIAS, N. M. M., MERA, C. J. D. L. R., & ARIAS, S. A. M. (2012)

Glomalina y secuestro de carbono en tepetates cultivados

Los tepetates son tobas volcánicas endurecidas que afloran en la superficie debido a procesos erosivos; algunos de éstos pueden habilitarse para la agricultura y con ello tienen potencial para secuestrar carbono (C). Este elemento se acumula en los frágiles agregados que se forman en su estructura física

Después de cultivarse, pero se desconoce el mecanismo por el cual es secuestrado en la fracción mineral en estos sustratos volcánicos. Se presume que la actividad biológica contribuye a la estabilización del C orgánico (COS), específicamente la de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA). Se ha postulado que la glomalina (una glicoproteína producida por los HMA) influye en ambos procesos. Con base en entrevistas a productores de la cuenca del río Texcoco, se seleccionaron 83 parcelas con 10 a 20 años de cultivo, y se definieron 10 clases de manejo agronómico (I al X). Como referencia se usaron cuatro suelos Faeozem de la región agrupada en dos clases de manejo. Otras 21 parcelas de tepetate tenían de 4 a más de 100 años de cultivo. Se recolectaron muestras de tepetate (0-20 cm) y se determinó el COS, la glomalina y el CG (carbono de la glomalina). La relación entre el COS y las últimas variables fue estrecha ($R > 0.91$). El manejo agronómico influyó significativamente en la acumulación del COS, la glomalina y el CG. En función de la máxima concentración de COS observada, se calculó que los tepetates habilitados para la producción agrícola después de dos décadas de cultivo, y un manejo agronómico con constante incorporación de residuos orgánicos, tienen capacidad para almacenar aproximadamente 90 t ha⁻¹ de C en los primeros 20 cm de profundidad, con una aportación de 15 % de C estabilizado, proveniente de la glomalina. La acumulación del CG en función del tiempo siguió una tendencia logarítmica. La glomalina almacena C en subunidades de proteína y carbohidratos, que contiene 30 a 40 % de C orgánico, y funciona como cementante, aglutinando fuertemente las partículas de la fracción mineral del suelo y proporcionando estabilidad a los agregados (Franzluebbers et al., 2000; Weller, 2002)

HIPÓTESIS

El estudio del secuestro carbono edáfico atreves del uso de micorriza es un campo de oportunidad para investigadores mexicanos.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Analizar el estado del arte para el secuestro de carbono edáfico, mediante micorrizas usadas en México.

OBJETIVOS ESPECÌFICOS

- ✓ Aprender la manipulación mediante buscadores especializados de corte científico.
- ✓ Determinar el uso de micorrizas para el secuestro de carbono edáfico en México.

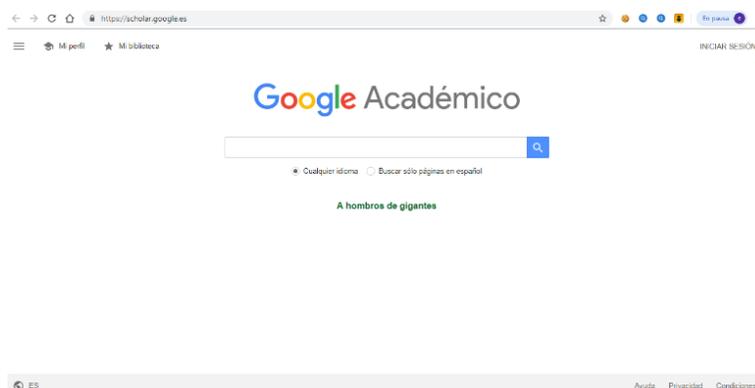
METODOLOGIA



BUSQUEDA DE BIBLIOGRAFIA.

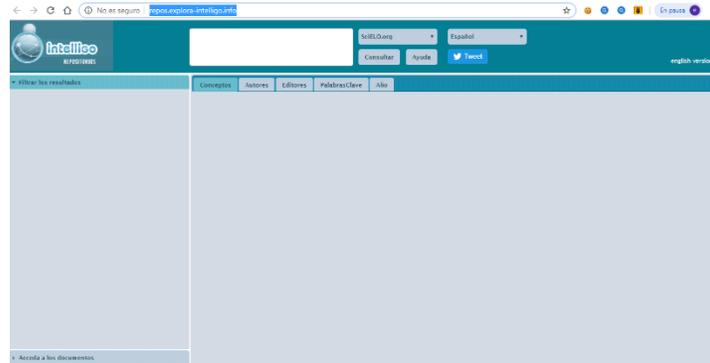
Se realizó una búsqueda minuciosa de los temas de interés para este trabajo en 3 buscadores de nivel científicos que son:

GOOGLE ACADEMICO



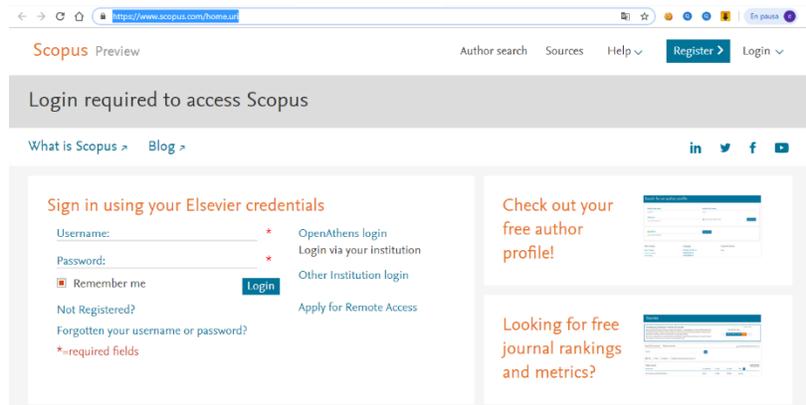
<https://scholar.google.es/>

INTELLIGO



<http://repositorio-intelligo.info/>

SCOPUS



<https://www.scopus.com/home.uri>

SELECCIÓN DE BIBLIOGRAFIA

Después de adquirir la bibliografía de los diferentes temas, la seleccionamos con forme a la fecha de publicación y tema, para tener un orden de información y tener un panorama más amplio desde lo más antiguo hasta lo más actual.

CLASIFICIÓN DE BIBLIOGRAFIA

Al tener un panorama claro de información podemos pasar a clasificar la bibliografía, en especializada y clasificada para poder tomar los diferentes fragmentos de cada una de ella para el desarrollo de este trabajo.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

USOS DE MICORRIZA

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son organismos del suelo que viven simbióticamente con la mayoría de plantas. Ellos les aportan beneficios, dándoles ventajas con respecto a las plantas no micorrizadas, como por ejemplo facilitándole a la planta la toma de nutrientes de baja disponibilidad o de poca movilidad en el suelo, evitando la acción de microorganismo patógenos en la raíz, aumentando la tolerancia de la planta a condiciones de stress abiótico en el suelo, entre otros beneficios. El establecimiento de la simbiosis entre el hongo y la planta lleva a una secuencia de etapas de reconocimiento causando cambios tanto morfológicos como fisiológicos en los dos organismos que interactúan. Como herramienta biotecnológica el uso de estos microorganismos es de gran importancia, por lo que se requiere conocer acerca del efecto que las condiciones físico-químicas del suelo causan en ellos, para lograr un mejor beneficio en la agricultura. Se puede hablar de especificidad entre HMA y hospederos debido a la respuesta de los HMA a las condiciones edáficas del suelo y a otras características, como el metabolismo de las plantas, la arquitectura de la raíz y las estrategias ecológicas de los hongos. El uso de HMA en la agricultura contribuye a mejorar el nivel nutricional de la planta, sin embargo, la condición de monocultivo en los agroecosistemas, puede estar causando una disminución en la diversidad de HMA y como consecuencia, estos microorganismos podrían estar brindando un efecto, aunque benéfico, limitado a los hospederos. Berdugo, S. E. B. (2009).}

Las micorrizas con manto fúngico, a su vez, se han clasificado en:

- a) Ectomicorrizas,
- b) Micorriza arbutoide
- c) Micorriza monotrofoide.

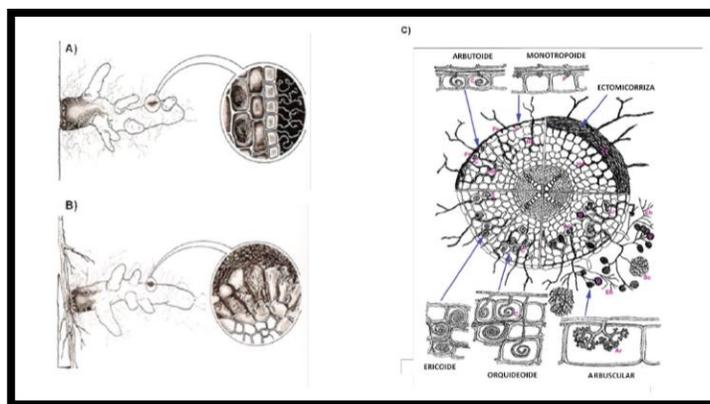


Figura 1. Colonización de raíces por hongos micorrizógenos: manto fúngico (tomado de Agarwal y Sah, 2009).

En la naturaleza, cada tipo de micorriza se presenta en un ecosistema y ambiente edáfico particulares y, en ocasiones, con familias de plantas específicas.

Así, la micorriza ericoide predomina en suelos localizados en altas latitudes y elevadas altitudes, de clima frío, en plantas de la familia Ericaceae; las especies ectomicorrizógenas predominan en ecosistemas forestales con gran acumulación de materia orgánica, ubicados en latitudes y altitudes intermedias, de clima templado-frío, principalmente con gimnospermas (figura 2), y la micorriza arbuscular (figura 3) prevalece en comunidades de clima cálido seco, cálido húmedo y templado-frío, dominadas por herbáceas y leñosas, en suelos minerales de bajas latitudes (Smith y Read, 1998).

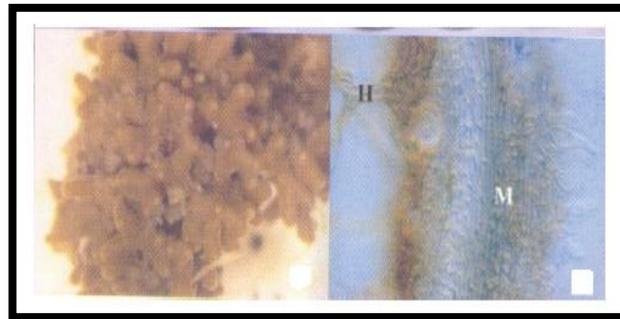


Figura 2. (Tomado de Estrada-Torres A. y Santiago-Martínez M.G, 2003).

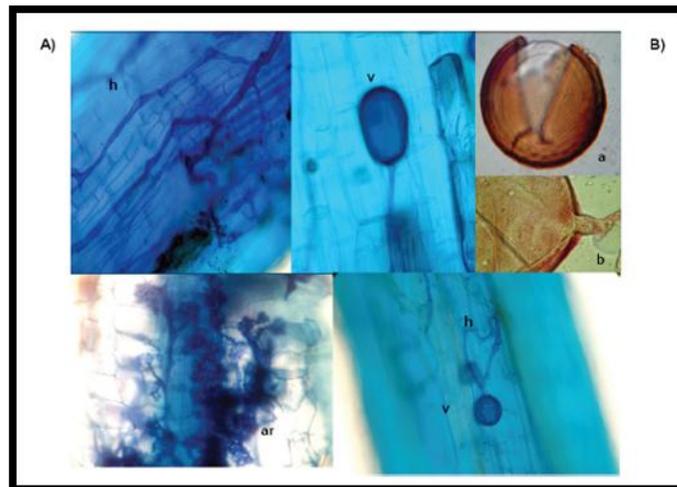


Figura 3. (Smith y Read, 1998).

IMPORTANCIA DE LAS MICORRIZAS ARBUSCULARES (MA) PARA UN USO SOSTENIBLE DEL SUELO EN LA AMAZONIA COLOMBIANA.

La Amazonia colombiana es una fuente de diversidad que se ha visto afectada por cultivos comerciales insostenibles que afectan la actividad de la microbiota del suelo y, por ende, el crecimiento de las especies vegetales. La limitación de fósforo y nutrientes en el suelo debe ser compensada por el sistema radicular de las plantas y potenciada por la presencia de las micorrizas arbusculares que aumentan su nivel de movilización. Las micorrizas se encuentran ampliamente distribuidas en el suelo amazónico y su relación sinérgica con otros microorganismos favorece la absorción de nutrientes en las plantas. Asimismo, pueden ser de gran potencial en la agricultura sostenible como fertilizantes orgánicos; aunque, se reconoce que falta investigar más acerca de las comunidades nativas de hongos formadores de micorrizas, el potencial micorrízico del suelo y sus niveles nutricionales. Garzón, L. P. (2016).

ASOCIACIONES MICROBIANAS Y SU RELACIÓN CON LOS HONGOS FORMADORES DE MICORRIZAS (HFMA)

Los suelos de la Amazonia son pobres tanto en materia orgánica como en nutrientes, ya que la capa orgánica es delgada y poco descompuesta por lo que se presenta poca humificación del suelo (Cardona, 2000).

Adicionalmente, los nutrientes se encuentran en la capa de la hojarasca y en el dentritus, en donde las plantas los obtienen a partir de las raíces alimentadoras y los hongos micorrízicos (Peña-Venegas et al., 2006).

Se estima que entre el 10 y 50% de las bacterias presentes en la rizósfera tienen la capacidad de solubilizar fosfatos de calcio, dentro de las cuales se encuentran las especies de *Pseudomonas*, *Mycobacterium*, *Micrococcus*, *Arthrobacter* y *Flavobacterium* (Peña-Venegas y Cardona, 2010). Algunos estudios en suelos del sur de la Amazonia colombiana (Cabrera, 2000; Useche et al., 2004) determinaron que el 5,5% de las bacterias y el 3,2% de los hongos (especialmente de las especies *Penicillium*, *Aspergillus*, *Scytalidium* y *Paecilomyces*) tienen capacidad solubilizadora de fosfatos de calcio en Ultisoles y Oxisoles.

Otros microorganismos son capaces de solubilizar compuestos insolubles de fósforo con hierro (estregita), calcio en dos de sus formas (fosfato tricálcico o fosfato ortocálcico) y aluminio (variscita) (Useche et al., 2004). No obstante, Cabrera (2000) concluyó que el aporte que realizan algunos microorganismos al stock de fósforo del suelo es bajo, y las fuentes más abundantes como la materia orgánica son las menos sensibles a la actividad de las enzimas microbianas.

LAS MICORRIZAS COMO HERRAMIENTA PARA UNA AGRICULTURA SOSTENIBLE.

En la Amazonia colombiana se ha ido adoptando la práctica de monocultivo en la población colona e indígena por la presencia de la empresa privada y de ciertas políticas estatales, lo que ha llevado a un agotamiento de los suelos y a la creación de pastizales orientados a la cría de animales (Varea et al., 1995). Asimismo, en la agricultura amazónica la aclimatación, la adaptación y la multiplicación de los cultivos en diversas condiciones agroecológicas, se han convertido en las mayores limitantes para la producción sostenible y eficiente (Noda, 2009).

Debido a lo anterior, es necesario dar paso a prácticas sustentables como la agricultura orgánica en donde los hongos formadores de micorrizas están siendo considerados como una herramienta de gran potencial (Moreira, Siqueira y Brussard, 2006). El alto costo de insumos agrícolas sumado a la creciente demanda de tecnologías menos agresivas para el ambiente, han incidido en la búsqueda de un manejo ecológico de los HFMA como una práctica que permita el desarrollo de sistemas agrícolas más eficientes (Cardona, Peña-Venegas y Arcos, 2008; Melo, Ribeiro y Sagin, 2010).

Su utilización puede darse a través del trabajo con especies nativas que, luego de determinarse su asociación con una especie vegetal de interés, pueden ser estimuladas para potenciar el crecimiento vegetal (Klironomos, 2003). Para obtener esporas de hongos formadores de micorrizas, se pueden emplear cultivos trampa usando una combinación de suelo rizosférico y piezas de raíces, los cuales son usados para crecer plantas hospederas (Molina, Medina y Restrepo, 2006). De esta manera, se consiguen esporas más saludables y más fácilmente identificables, ya que las que se obtienen en campo pueden estar parasitadas o disponibles en menor cantidad (Lopes et al., 2009).

En este sentido, existen estudios (León, 2006; Castro, 2009) que han evaluado la abundancia de HFMA asociados a plantas específicas, con el fin de determinar su grado de afinidad e incidencia. Es importante resaltar que, por las características del ecosistema amazónico, el uso sostenible del suelo para cultivos debe tener como base una aproximación de la estructura y dinámica de la vegetación natural (Correa et al., 2010), por lo que estas investigaciones sirven como punto de partida para determinar la potencialidad de las micorrizas en el desarrollo de proyectos de agricultura sostenible.

SECUESTRO DE CARBONO EN MÉXICO

Ante este escenario, los sistemas agrosilvopastoriles representan una importante alternativa, al obtener alta producción de biomasa y maximizar el fenómeno de la fotosíntesis; y, por lo tanto, la capacidad de almacenar el carbono del aire en medios estables. Y ello se convierte en una alternativa práctica y real para la regulación ambiental; y es, precisamente en la franja tropical, donde se encuentran las mayores ventajas naturales para desarrollar esta línea de restauración ambiental (Molina y Uribe, 2005; Ruiz et al., 2008).

Los sistemas agrosilvopastoriles son una modalidad de los sistemas agroforestales que pueden permitir a los productores el pago por servicios ambientales, además de múltiples servicios ecológicos y sociales (Sepúlveda e Ibrahim, 2009). El secuestro de carbono, la restauración del suelo y la conservación de la biodiversidad, son algunos importantes servicios ambientales que se han considerado en diversos programas en América Latina (Alonso, 2011).

La cantidad de C+ fijado en sistemas agrosilvopastoriles depende de múltiples interacciones entre los componentes árbol, pasto, suelo y animal (Shibu, 2009). Así, el monitoreo del secuestro de carbono es una herramienta fundamental en los proyectos de mitigación, lo cual se logra al realizar el balance de biomasa con los recursos disponibles (MacDiken, 1997).

La incorporación de árboles leguminosos forrajeros en sistemas de plantación, como el de coco, permite aumentar la biodiversidad e implementar sistemas silvopastoriles con efectos benéficos en las zonas costeras. Por ejemplo, el establecimiento de arbóreas de uso múltiple (como el género *Leucaena*), pueden lograr el secuestro de carbono, especialmente si es establecida en altas densidades y con estabilidad en el tiempo (Hernández et al., 2008; Anguiano et al., 2012). Además, las gramíneas tienen un gran potencial para fijar carbono; tal es el caso del pasto Cuba CT-115, ya que al utilizar la ruta fotosintética C4, tiene mayor capacidad de integrar el gas en la materia orgánica de las plantas, lo cual contribuye positivamente a mitigar el calentamiento global (Fisher et al., 1994).

SECUESTRO DE CARBONO EN EL MUNDO

Las sabanas del estado Amazonas en Venezuela presentan fuertes restricciones para el desarrollo agrícola intensivo como consecuencia de la predominancia de suelos arenosos ácidos, altamente meteorizados, por ende, de baja fertilidad química natural y drenaje excesivamente rápido que favorece el lavado de nutrimentos y la escasa retención del agua disponible en el suelo. La deforestación y el establecimiento de la agricultura en ecosistemas boscosos aledaños, con suelos de mejor calidad, ha sido una alternativa para incrementar la producción agrícola en la zona. Sin embargo, la pérdida de los mecanismos de conservación de los suelos con periodos de barbechos muy cortos (2-3 años) ha inducido una sobre explotación de estas áreas boscosas, acelerados procesos de erosión, lenta recuperación de los ecosistemas intervenidos y pérdida de la biodiversidad, todo lo cual merma la fertilidad química y la actividad biológica de los agroecosistemas establecidos en el bosque lluvioso tropical (Woomer et al., 1994; López Hernández y Ojeda, 1997; López-Hernández et al., 1997).

En estos suelos predominan los sesquióxidos de hierro y aluminio y otros minerales secundarios con cargas dependientes del pH (Blancaneaux et al., 1977; García, 1994). Luego, pH inferiores al punto isoeléctrico (pH₀), generalmente ácidos, inducen una densidad de carga positiva en las arcillas de carga variable; por el contrario, por encima del pH₀ dichos coloides presentan capacidad de intercambio catiónico al exhibir una superficie electronegativa que se opone al fácil lavado de las bases cambiables.

En consecuencia, un fomento agronómico que permita inducir in situ incrementos perdurables del carbono orgánico del suelo (C), que además estimule la actividad biológica, el metabolismo del suelo y retenga mayor humedad es factor clave para el manejo agroecológico de estos suelos arenosos de sabanas.

GLOMALINA

Inicialmente, se pensó que el aglutinante que le proporcionaba estabilidad a los agregados era producido por bacterias que crecían en la materia orgánica, las cuales proporcionan polisacáridos cementantes como una protección ante la desecación. Posteriormente, aparece otro componente abundante de la materia orgánica, que es producido por los HMA, y se ha ligado a la estabilidad de los agregados del suelo, la glomalina. (Rillig, M. C. y Steinberg, P. D. 2002; Preger, A. C.; Rillig, M. C.; John, A. R.; Du Preez, C. y Amelung, I. W.C. L, 2007.)

Esta también se usa para cuantificar la actividad de los HMA en los suelos (Lovelock, C.; Wright, S. y Nichol, K. 2004) y tiene la potencialidad de servir como biomarcador específico para la rápida detección de los HMA (. Rosier, C. L.; Hoye, A. T. y Rillig, M. C.2006).

La glomalina es persistente y está generalmente asociada al humus insoluble o la fracción mineral, después de ser tratado el suelo con hidróxido de sodio (Coraracu, F.; Barea, J. M.; Figueroa, D. y Roldán, A. 2002). No se conocen muchos detalles sobre las propiedades moleculares de la glomalina, pero se sabe que la proteína contiene hierro (Rillig, M. C.; Wright, S. F.; Nichols, K. A.; Schmidt, W. F. y Torn, M. S., 2001.) y parece tener oligosacáridos con nitrógeno enlazado (Wright, S. F.; Upadhyaya, A. y Buyer, J. S. 1998; Schindler, F. V.; Mercer, E. J. y Rice, J. A. 2007), es insoluble y posiblemente hidrofóbica en su estado nativo (Wright, S.; Nichols, K.; Jawson, L.; Mackenna, L. y Almendras, A. 2001; Wright, S. F. y Upadhyaya, A, 1996.)

La glomalina es una sustancia proteica, insoluble en agua, que actúa como pegamento en su estado nativo y es producida por las hifas de los hongos, la cual se libera en el suelo mediante el proceso de descomposición de las hifas fúngicas (Driver, J. D.; Holben, W. E. y Rillig, M. C. 2005; Wright, S. F. 2000; Rillig, M. y Steinberg, P. 2003). Es por ello que puede actuar como agente cementante uniendo las partículas finas formando microagregados (51, 52)

Empleando cultivos in vitro de *Glomus intraradices*, se mostró que la glomalina no es en efecto secretada o pasivamente liberada por el micelio en crecimiento en grandes cantidades (Driver, J. D.; Holben, W. E. y Rillig, M. C., 2005), solo pequeñas porciones son secretadas, mientras que la mayor parte (>80 %) de la glomalina producida por el hongo es fuertemente retenida y firmemente incorporada a las paredes de las hifas y esporas, por lo que la vía principal de su deposición en el medio es a través del proceso de descomposición de la hifa (Purin, S. y Rillig, M. C. 2008)

También se ha determinado la localización celular de la glomalina en el micelio, usando microscopía inmunoelectrónica (Rosier, C. L.; Hoye, A. T. y Rillig, M. C. 2006). Ellos observaron que existía mayor concentración de esta proteína en las paredes de las hifas que en el citoplasma. Sus datos sobre la localización de la glomalina en la pared de la hifa fúngica son fuertemente sugestivos de funciones no citoplasmáticas y apuntan a la posibilidad de mediar interacciones con los ambientes bióticos y abióticos del suelo, tales como la defensa, palatabilidad, colonización de la superficie por microbios, así como las interacciones con la superficie del suelo: enrejado de hifas, interacción con nutrientes, etc.

La glomalina está contenida dentro de las paredes de las hifas y esporas, donde pudiera cumplir una función fisiológica en el curso de la vida del organismo (Driver, J. D.; Holben, W. E. y Rillig, M. C. 2005,). Esto no implica que la glomalina del suelo no tenga también efectos beneficiosos para los HMA (. Rillig, M. C. y Steinberg, P. D. 2002.), pero estos efectos pudieran ser menos directos comparados con el rol que tiene la glomalina como componente de la pared del micelio en la vida de este (Rosier, C. L.; Hoye, A. T. y Rillig, M. C., 2006).

BIBLIOGRAFIA ESPECIALIZADA

En la búsqueda de la bibliografía se realizó una comparativa de los diferentes temas publicados sobre el mismo tema como se muestra en las gráficas (1,2 y 3)



Grafica 1: años de publicación de artículos científicos del tema glomalina

<http://repos.explora-intelligo.info/>



Grafica 2: años de publicación de artículos científicos del tema micorriza

<http://repos.explora-intelligo.info/>

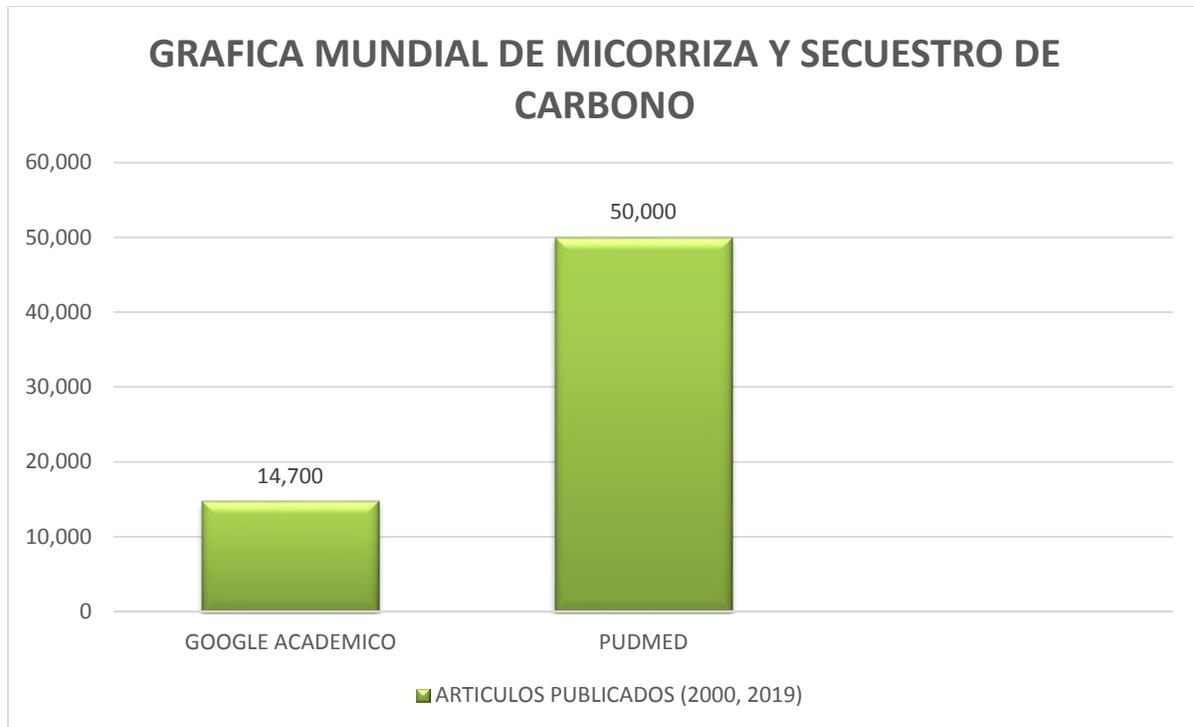


Grafica 3: años de publicación de artículos científicos del tema secuestro de carbón

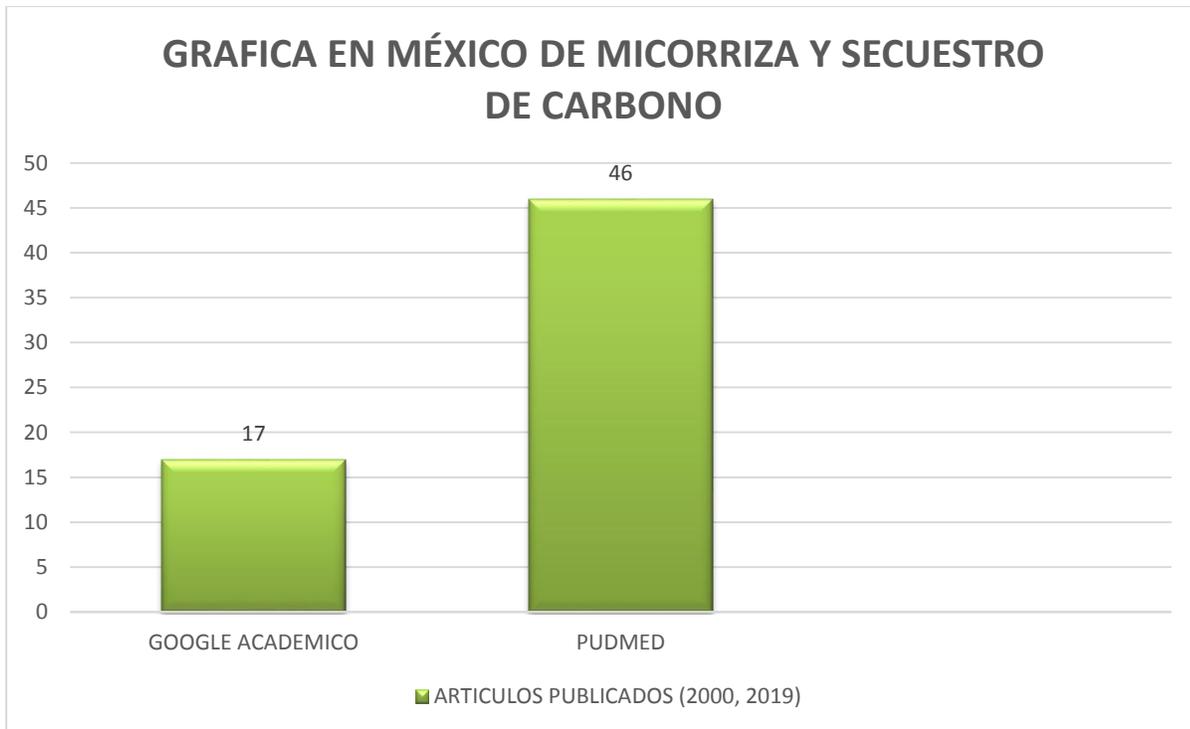
<http://repos.explora-intelligo.info/>

Del tema glomalina casi no se hablaba ni existen tantos artículos publicados como de la micorriza pero sin duda existe una variedad de artículos del tema de secuestro de carbono, a partir del año 1994, podemos observar que desde entonces ya se hablaba del tema, sin embargo la micorriza se publica a partir de 1999 más menos 5 años después donde comienza una serie de investigación ya más

especializada, para el 2004 que es cuando la glomalina hace presencia en el mundo de los artículos, se publicaron 8 artículos de micorriza en ese año y 50 de secuestro de carbono, pero a pesar de que la glomalina tiene un papel sumamente importante no existen tantos artículos publicados y por cada artículo que se publicaba de ello en un año de los demás temas se publicaban hasta 116 artículos de secuestro de carbono y 9 de micorriza como en el año 2009 y así conforme pasaban años nos damos cuenta de la escases de información que existe de diversos temas.



Grafica 4: Búsqueda del tema micorriza y secuestro de carbono en buscadores científicos para una comparativa a nivel mundial.



Grafica 4: Búsqueda del tema micorriza y secuestro de carbono en buscadores científicos en México.

CONCLUSIONES

Se realizó un estudio del estado del arte el secuestro de carbono edáfico por medio de micorriza en México. El SC es un tema de suma importancia debido al cambio climático, puesto que el planeta se ve afectado por el alto índice de contaminación en el planeta, el SC lo llevan a cabo más en el medio forestal por medio de distintos árboles que se tienen, lo que en lo agrícola no se lleva a cabo, porque no se tiene un control como en el área forestal por eso se les complica más reflejar en números el secuestro de carbono, aunque se podría realizar un secuestro más controlado por medio de la micorriza ya que gracias a buscadores específicos pudimos darnos cuenta que esta la utilizan para potencializar el crecimiento del cultivo y se puede aprovechar también para el secuestro de carbono, la endomicorriza que es un tipo de micorriza que es la más idónea para esto porque al acompañarse con la glomalina son un par perfecto para lograr el SC, aunque no se habla mucho de la glomalina ya que solo existen 8 artículos publicados, pero es una proteína que ayuda al cultivo en varios aspectos benéficos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Flores-Velázquez, R., Muñoz Ledo-Carranza, R., & Villalba-Valle, D. (2010). Inventario de emisiones en 2005 de gases de efecto invernadero por el sector energético mexicano. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 11(1), 35-43.
- GARCÍA OLMEDO F., 1998. La tercera revolución verde. Plantas con luz propia. *Temas de Debate*, PP. 209.
- VAN VUUREN D.P., RINHI K., 2008. Do recent emission trends imply higher emissions forever? *Climatic Change* 91, 237-248.
- Aguilar, J. S., Castillo, E. M., & Guerrero, G. A. O. (2009). Procesos de certificación de proyectos de captura de gases de efecto invernadero (GEI) En los Mercados Internacionales de Carbono. *Gestión y Ambiente*, 12(3), 07-20.
- Macías, F. (2004). Recuperación de suelos degradados, reutilización de residuos y secuestro de carbono. Una alternativa integral de mejora de la calidad ambiental. *Recursos Rurais*, 1, 49-56.
- Camargo_Ricalde, S. L., ARIAS, N. M. M., MERA, C. J. D. L. R., & ARIAS, S. A. M. (2012). Micorrizas: Una gran unión debajo del suelo.
- Segura-Castruita, M. A., Sánchez-Guzmán, P., Ortiz-Solorio, C. A., & del Carmen Gutiérrez-Castorena, M. (2005). Carbono orgánico de los suelos de México. *Terra Latinoamericana*, 23(1), 21-28
- Báez-Pérez, A., González-Chávez, M. C., Etchevers-Barra, J. D., Prat, C., & Hidalgo-Moreno, C. (2010). Glomalina y secuestro de Carbono en tepetates cultivados. *Agrociencia*, 44(5), 517-529.
- Harris-Valle, C., Esqueda, M., Valenzuela-Soto, E. M., & Castellanos, A. E. (2009). Tolerancia al estrés hídrico en la interacción planta-hongo micorrízico arbuscular: metabolismo energético y fisiología. *Revista fitotecnia mexicana*, 32(4), 265-271.
- BORIE, F. R., RUBIO, R., MORALES, A., & CASTILLO, C. (2000). Relación entre densidad de hifas de hongos micorrizógenos arbusculares y producción de glomalina con las características físicas y químicas de suelos bajo cero labranza. *Revista chilena de historia natural*, 73(4), 749-756.
- Gustavo Curaqueo Fuentes, Edmundo Acevedo Hinojosa, Alex Seguel Fuentealba, Rosa Rubio Horlacher y Fernando Borie (2009) Hongos micorrícicos arbusculares y glomalina como agentes estabilizadores de carbono en un agroecosistema mediterráneo del centro de Chile bajo distintos sistemas de labranza. XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo 16 - 20 de noviembre, 2009 – Costa Rica <http://repos.explora-intelligo.info/> Consulta: marzo 2019
- Callo Concha, D., Krishnamurthy, L., & Alegre, J. (2002). Secuestro de carbono por sistemas agroforestales amazónicos. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 8(2).

Gómez, L. I. A., Portugal, V. O., Arriaga, M. R., & Alonso, R. C. (2007). Micorrizas arbusculares. CIENCIA ergo-sum, 14(3), 300-306.

Noda, Y. (2009). Las Micorrizas: Una alternativa de fertilización ecológica en los pastos. Pastos y Forrajes, 32(2), 1-1.

Corredor, Gloria A. Micorrizas arbusculares: Aplicación para el manejo sostenible de los agroecosistemas. <http://www.turipana.org.co/Micorrizas.html>. Consulta: marzo del 2019.

Rivas, G.G. 1997. Micorrizas: manejo integrado de plagas. Hoja Técnica. 20:1

Ayling, S.M. et al. 1997. Transport processes at the plant fungus interface in mycorrhizal associations physiological studies. Plant and Soil. 196:305

Dassi, B. et al. 1998. Do pathogenesis-related proteins play a role in bioprotection of mycorrhizal tomato roots towards Phytophthora parasitica?. Physiology and Molecular Plant Pathology. 52 (3):167

Blanco, F. & Salas, E. 1997. Micorrizas en la agricultura. Contexto mundial e investigaciones realizadas en Costa Rica. Agronomía Costarricense. 21 (1):55

Popoff, O.2008. Beinofungi: Micorrizas. <http://www.fai.unnc.edu.ar>. Consulta: marzo del 2019

Ferrera, R. & Pérez, J. 1995. Agromicrobiología, elemento útil en la agricultura sustentable. Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, México. p.48-49

Morfología de plantas vasculares. <http://www.simbiotica.org/fungi.html> . Consulta: marzo del 2019.

Camargo_Ricalde, S. L., ARIAS, N. M. M., MERA, C. J. D. L. R., & ARIAS, S. A. M. (2012). Micorrizas: Una gran unión debajo del suelo.

Franzluebbers, A. J., S. F. Wright, and J. A. Stuedemann. 2000. Soil aggregation and glomalin under pastures in the Southern Piedmont USA. Soil Sci. Soc. Am. J. 64:1018-1026.

Weller, K. 2002. Glomalin: hiding place for a third the world's stored soil carbon. Agric. Res. Magazine 50: 4-7.

Berdugo, S. E. B. (2009). El uso de hongos micorrízicos arbusculares como una alternativa para la agricultura. INGRESAR A LA REVISTA, 7(1), 123-132.

Cardona, G., Arcos, A. L. y Murcia, U. (2005). Abundancia de actinomicetes y micorrizas arbusculares en paisajes fragmentados de la Amazonia colombiana. Agronomía Colombiana, 23, 317-326.

Cardona, G., Peña-Venegas, C. P. y Arcos, A. (2008). Ocurrencia de hongos formadores de micorriza arbuscular asociados a ají (*Capsicum* sp.) en la Amazonia colombiana. *Agronomía Colombiana*, 26(3), 459-470.

Cabrera, T. (2000). Aporte al conocimiento de la microflora fúngica del suelo de la Amazonía Colombiana, con énfasis en tres grupos funcionales. Trabajo de grado, Biología. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Useche, Y. M., Valencia, H. y Pérez, H. (2004). Caracterización de bacterias y hongos solubilizadores de fosfato bajo tres usos de suelo en el sur del Trapecio Amazónico. *Acta Biológica Colombiana*, 9(2), 129-140.

Varea, A. M., Vargas, M. T., Barrezueta, L. y López, J. (1995). Bosques, Árboles y Comunidades Rurales - Fase II - Documento de Trabajo: La Radio y Procesos Participativos de Desarrollo Sostenible en la Región Amazónica. Washington: FAO.

Noda, Y. (2009). Las Micorrizas: Una alternativa de fertilización ecológica en los pastos.

Pastos y Forrajes, 32(2), 1-10.

Moreira, F. M., Siqueira, J. O. y Brussard, L. (2006). Soil organism in tropical ecosystems: a key role for Brazil in the global quest for the conservation and the sustainable use of diversity. En Moreira, F. M., Siqueira, J. O. y Brussard, L. (Comps.), *Soil diversity in Amazonian and other Brazilian ecosystems* (pp. 1-13). Wallingford, UK: CAB International.

Arcos, A. (2004). Distribución de la asociación micorrízica en ecosistemas naturales e intervenidos. *Aspectos Ambientales para el Ordenamiento Territorial del Trapecio Amazónico*. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Melo, E., Ribeiro, E. M. y Sagin, O. J. (2010). Comunidades de hongos micorrízico arbusculares asociados ao amendoim forrageiro em pastagens consorciadas no Estado do Acre, Brasil. *Acta Amazónica*, 40(1), 13-22.

Klironomos, J. (2003). Variation in plant response to native and exotic arbuscular mycorrhizal fungi. *Ecology*, 84(9), 2292-2301.

Molina, M., Medina, M. y Restrepo, F. (2006). Evaluación de sustratos cultivos trampa bajo condiciones controladas para la obtención de hongos micorrízogenos de Aliso (*Alnus acuminata* H.B.K.). *Livestock Research for Rural Development*, 18(2), 1-12.

Lopes, P., Stürmer, S. L. y Siqueira, J. O. (2009). Occurrence and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in trap cultures from soils under different land use systems in the Amazon, Brazil. *Brazilian Journal of Microbiology*, 40(1), 111-121.

León, D. (2006). Evaluación y caracterización de micorrizas arbusculares asociadas a yuca (*Manihot esculenta* sp.) en dos regiones de la Amazonía colombiana. Trabajo de grado, Microbiología Agrícola y Veterinaria. Universidad Pontificia Javeriana, Bogotá, Colombia.

Castro, I. (2009). Análisis de la estructura y diversidad de las comunidades de hongos formadores de micorrizas asociados a plantas de interés ecológico en ambientes mediterráneos. Tesis Doctoral. Universidad de Granada, Granada, España.

Corrêa, R. S., de Oliveira, L. A., de Oliveira, A. N. y Moreira, F. W. (2010). Micorrizas arbusculares em sistemas agroflorestais na Amazônia. XXXIII Congresso brasileiro de ciência do solo, Minas Gerais, (Paper).

Garzón, L. P. (2016). Importancia de las micorrizas arbusculares (MA) para un uso sostenible del suelo en la amazonia colombiana. Revista Luna Azul, (42).

Molina, C. H. y Uribe, F. (2005). Experiencia de producción limpia de ganaderías en pastoreo. III Seminario Internacional sobre competitividad en carne y leche. Cali, Colombia. 157 pp

Ruiz, T. E.; Castillo, E.; Alonso, J. y Febles, G. (2008). Algunos factores que influyen en la producción de biomasa en sistemas silvopastoriles en el trópico. IV Reunión Nacional Sobre Sistemas Agro y Silvopastoriles. Colima, México. p. 347-361.

Sepúlveda, L.C. e Ibrahim, M. (2009). Políticas y sistemas de incentivos para el fomento y adopción de buenas prácticas agrícolas como una medida de adaptación al cambio climático en América Central. Serie técnica. Informe técnico No. 377. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 270pp.

Alonso, J. (2011). Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 45 (2):107-115.

Shibu, J. (2009). Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. Agroforest Systems. 76:10.

MacDiken, K. (1997). A Guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Arlington,VA, US,Winrock International. 87 pp

Hernández, A.; Marentes, F. L.; Vargas, D.; Ríos H. y Padrón, F. (2008). Características de los suelos y sus reservas de carbono en la finca la colmena de la Universidad de Cienfuegos, Cuba. Cultivos Tropicales. 29 (2): 27-34.

Anguiano, J. M.; Aguirre, J. y Palma, J. M. (2012). Establecimiento de *Leucaena leucocephala* con alta densidad de siembra bajo cocotero (*Cocos nucifera*). RCCA. 46(1):103-107.

Fisher, M. J.; Rao, I. M.; Ayarza, C. E.; Lascano, C. E.; Sanz, J. I.; Thomas, R. J. y Vera, R. R. (1994). Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas. Nature. 31:236-238.

Woomer, P.L., A. Martin, A. Albrecht, D.V.S. Resck y H. W. Scharpenseel. 1994. The importance and management of soil organic matter in the tropics. In: Woomer y Swift (eds.). The Biological Management of Tropical Soil Fertility. Wiley. Chichester, UK. pp. 47-80.

López-Hernández, D. y A. Ojeda. 1997. Alternativas en el manejo agroecológico de los suelos de las sabanas al norte de Suramérica. *Ecotropicos*. 9(2): 99-115.

López-Hernández, D., M.P. García-Guadilla, F. Torres, P. Chacón y M.G. Paoletti. 1997. Identification, characterization and preliminary evaluation of Venezuelan Amazonian production systems in Puerto Ayacucho savanna-forest ecotone. *Interciencia* 22: 307-314.

Blancaneaux, Ph., S. Hernández y J. Araujo. 1977. Estudio Edafológico Preliminar. Sector Puerto Ayacucho. MARNR, Serie Informes Científicos. Caracas. 120 p.

Rillig, M. C. y Steinberg, P. D. Glomalin production by an arbuscular mycorrhizal fungus: a mechanism of habitat modification. *Soil Biology & Biochemistry*, 2002, vol. 34, p. 1371-1374.

Preger, A. C.; Rillig, M. C.; John, A. R.; Du Preez, C. y Amelung, I. W.C. Losses of glomalin-related soil protein under prolonged arable cropping: A chronosequence study in sandy soils of the South African Highveld. *Soil Biology & Biochemistry*, 2007, vol. 39, p. 445-453.

. Lovelock, C.; Wright, S. y Nichol, K. Using glomalin as an indicator for arbuscular mycorrhizal hyphal growth: an example from a tropical rain forest soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 2004, vol. 36, p. 1009-1012.

. Rosier, C. L.; Hoyer, A. T. y Rillig, M. C. Glomalin-related soil protein: assessment of current detection and quantification tools (online). *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, vol. 38, p. 2205-2211.

Coraracu, F.; Barea, J. M.; Figueroa, D. y Roldán, A. Assessing the effectiveness of mycorrhizal inoculation and soil compost addition for enhancing reforestation with *Olea europaea* subsp. *Sylvestris* through changes in soil biological and physical parameter. *Applied Soil Ecology*, 2002, vol. 20, p. 107-118.

Rillig, M. C.; Wright, S. F.; Nichols, K. A.; Schmidt, W. F. y Torn, M. S. Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. *Plant and Soil*, 2001, vol. 233, p. 167-177.

Wright, S. F.; Upadhyaya, A. y Buyer, J. S. Comparison of N-linked oligosaccharides of glomalin from arbuscular mycorrhizal fungi and soils by capillary electrophoresis. *Soil Biology and Biochemistry*, 1998, vol. 30, p. 1853-1857.

Schindler, F. V.; Mercer, E. J. y Rice, J. A. Chemical characteristics of glomalin-related soil protein (GRSP) extracted from soils of varying organic matter content. *Soil Biology & Biochemistry*, 2007, vol. 39, p. 320-329.

Wright, S.; Nichols, K.; Jawson, L.; McKenna, L. y Almendras, A. Glomalin-manageable soil glue (on line). *Soil Science Society of America Special Publication Book*, 2001. Disponible: <http://www.nps.usda.gov/publication/htm> Consulta marzo 2019.

Driver, J. D.; Holben, W. E. y Rillig, M. C. Characterization of glomalin as a hyphal wall component of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biology & Biochemistry*, 2005, vol. 37, p. 101-106.

Wright, S. F. A fluorescent antibody assay for hyphae and glomalin from arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant Soil*, 2000, vol. 226, p. 171-177.

Rillig, M. y Steinberg, P. Differential decomposition of arbuscular mycorrhizal fungal hyphae and glomalin. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003, vol. 35, no. 1, p. 191-194.

Purin, S. y Rillig, M. C. Immunocytolocalization of glomalin in the mycelium of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*. *Soil Biology & Biochemistry*, 2008, vol. 40, p. 1000-1003.

Rosier, C. L.; Hoyer, A. T. y Rillig, M. C. Glomalin-related soil protein: assessment of current detection and quantification tools (on line). *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, vol. 38, p. 2205-2211