



Paisaje agrícola en la provincia de Chimborazo



INSTITUTO
GEOGRÁFICO
MILITAR

SUELOS DEL ECUADOR CLASIFICACIÓN, USO Y MANEJO.

Editores:
José Espinosa
Julio Moreno
Gustavo Bernal

2022

SUELOS DEL ECUADOR

CLASIFICACIÓN, USO Y MANEJO

Editores

José Espinosa, Consultor: jepinosa@fragaria.com.ec

Julio Moreno, Instituto Geográfico Militar: vjmi76.jm@gmail.com

Gustavo Bernal, Consultor: gusrbg@yahoo.com



**INSTITUTO
GEOGRÁFICO
MILITAR**

2022

Catalogación en publicación IGM. Gestión Geográfica

Nombres: Espinosa Marroquín, José Antonio Elías, editor / Moreno Izquierdo, Víctor Julio, editor / Bernal Gómez, Gustavo Ramón, editor /

Título: Suelos del Ecuador: Clasificación, Uso y Manejo. José Espinosa, Julio Moreno, Gustavo Bernal (editores).

Descripción: Primera edición. / Quito: Instituto Geográfico Militar, 2022.

Identificación: ISBN 978-9942-22-557-3

Temas: Visión General de los Suelos de Ecuador / Suelos de la Costa / Suelos de la Sierra / Suelos del Oriente / Suelos de las Islas Galápagos / Uso del Suelo en Ecuador / Erosión del Suelo en Ecuador / Características de los Suelos en Ecuador y su Manejo / Microorganismos Benéficos en Suelos de Ecosistemas Naturales y Agroecosistemas del Ecuador.

Clasificación: Sector Público Gubernamental (978-9942-22)

La presente obra fue posible gracias al auspicio del Instituto Geográfico Militar (IGM). El libro es el resultado de la información generada, entre los años 2009 y 2017, por diversos proyectos de inversión que el Estado ecuatoriano estimó eran prioritarios, como, por ejemplo, los proyectos “Generación de Geoinformación para la Gestión y Valoración de Tierras de la Cuenca Baja del Río Guayas” y “Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional”, los cuales se trabajaron a escala semidetallada.

Primera edición: 11 de abril, 2022.

©Instituto Geográfico Militar (IGM)

Av. Seniergues E4-676 y Gral. Telmo Paz y Miño, El Dorado.

Quito-Ecuador

ISBN 978-9942-22-557-3

Diseño de portada y Diagramación: Danny Lincango

Impresión: IGM

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.

La versión digital está disponible gratuitamente en el Geoportal del IGM:

<https://www.geoportalmgm.gob.ec/portal/index.php/estudios-geograficos/>

Como citar este libro:

Espinosa, J., J. Moreno y G. Bernal (eds). 2022. Suelos del Ecuador: Clasificación, Uso y Manejo. Instituto Geográfico Militar (IGM). Quito, Ecuador.

Como citar capítulos de este libro (ejemplo capítulo 4):

Sánchez, D., J. Merlo, R. Haro, M. Acosta y G. Bernal. 2022. Suelos del Oriente. En: J. Espinosa, J. Moreno y G. Bernal (eds). Suelos del Ecuador. Instituto Geográfico Militar (IGM). Quito, Ecuador.

MICROORGANISMOS BENÉFICOS — EN SUELOS DE ECOSISTEMAS NATURALES — Y AGROECOSISTEMAS DEL ECUADOR

María Eugenia Ávila Salem, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Central del Ecuador:
mavila@uce.edu.ec

Narcisa Urgiles Gómez, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional de Loja: narcisa.urgiles@unl.edu.ec

Paul Loján Armijos, Departamento de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Técnica Particular de Loja: pdlojan@utpl.edu.ec

Salomé Araujo Abad, Instituto de Investigación, Desarrollo e Innovación en Biotecnología Sanitaria de Elche (IDiBE), Universidad Miguel Hernández, Alicante, España: lourdes.araujo@goumh.umh.es

RESUMEN

Los microorganismos de los ecosistemas naturales y agroecosistemas se caracterizan por la alta diversidad y por su rol fundamental en el equilibrio ecológico y la salud del suelo. La acidificación y la salinización promovida por la excesiva aplicación de insumos químicos, así como la labranza continua, la compactación y la erosión cambian las características físico-químicas del suelo generando un impacto negativo en las comunidades de microorganismos que lo habitan. Cada especie vegetal convive en estrecha asociación con una comunidad específica de microorganismos tanto mutualistas, simbiotes, comensales y patógenos denominada microbioma. Una alta biodiversidad de microorganismos asegura la calidad del suelo y mejora el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos. En este ambiente dinámico los microorganismos benéficos son importantes para el mantenimiento de la vida en los ecosistemas. Se han identificado varios grupos de microorganismos benéficos en los suelos de Ecuador, como las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV) que ejercen su acción a través de mecanismos directos como la producción de fitohormonas, sideróforos, enzimas y ácidos orgánicos, o por mecanismos indirectos como la activación de instrumentos de defensa ante el ataque de patógenos. Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son otro grupo de microorganismos benéficos que desarrollan una relación simbiótica con las raíces de las plantas para generar un aumento significativo de la superficie radicular debido a la producción de abundantes hifas que ayudan a las plantas a sobrevivir en condiciones relativamente adversas como sequía, deficiencia de nutrientes y pobres características físico-químicas del suelo. Por otro lado, es importante también mencionar a los hongos del género *Trichoderma* que actúan como agentes biológicos para el control de enfermedades ocasionadas por patógenos radiculares. La investigación conducida en los últimos años en Ecuador, ha permitido identificar y caracterizar los microorganismos benéficos del suelo en algunos sistemas agrícolas y forestales. Este capítulo discute lo más relevante de estos trabajos de investigación.

ABSTRACT

Microorganisms from undisturbed ecosystems and agroecosystems of tropical regions are characterized by a high diversity and have a fundamental role in the ecological balance and soil health. Acidification and salinization promoted by excessive application of agricultural inputs, as well as continuous soil tillage, compaction, and erosion, change the soil physical-chemical characteristics and have a negative impact on soil microorganism communities. Each plant species coexists in a tight association with a specific community of mutualists, commensal, symbiotic and pathogenic microorganisms called the microbiome. A high microorganism biodiversity ensures soil quality and improves crop performance and health. In this dynamic environment, beneficial microorganisms are important to maintain ecosystem life. Several groups of beneficial microorganisms have been identified in Ecuadorian soils, like the plant growth promoting bacteria (PGPR) through direct mechanisms such as the production of phytohormones, siderophores, enzymes, and organic acids, or through indirect mechanisms such as activation of defense instruments against pathogen attacks. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are another group of beneficial microorganisms that develop a symbiotic relationship with plant roots generating a significative increment in root surface due to the production of abundant hyphae which help plant to resist adverse conditions such as drought, nutrient deficiencies, and poor soil characteristics. On the other hand, the presence of antagonistic fungi like the *Trichoderma* spp. is also important in their role as biological controllers against diseases caused by soil pathogens. Research conducted recently in Ecuador allowed the identification and characterization of soil beneficial microorganisms in diverse agricultural and forest systems. This chapter discusses the most relevant information regarding research work.

9.1. Introducción

El suelo es un sistema complejo donde ocurren múltiples procesos físicos, químicos y biológicos generando una alta heterogeneidad de condiciones. En este ambiente dinámico, los microorganismos, en especial los microorganismos benéficos, tienen importantes roles en el mantenimiento de la vida en los ecosistemas. Los microorganismos del suelo participan en múltiples procesos como la formación de agregados, aireación, transformación de la materia orgánica, ciclaje de nutrientes, nutrición vegetal, crecimiento y desarrollo de las plantas. Además, contribuyen en la sanidad vegetal (control de plagas y enfermedades), en la regulación del clima y la humedad del suelo, ayudan en la biorremediación de suelos contaminados con metales pesados y muchos de ellos son utilizados como materia prima para la elaboración de productos farmacéuticos. Se considera que los microorganismos benéficos están entre los más importantes proveedores de servicios ecosistémicos (Brady and Weil, 2008; Saccá, *et al.*, 2017).

Por otro lado, también es reconocida la relación entre los microorganismos y la rizósfera en la dinámica de los procesos en el suelo. La rizósfera se define como la estrecha zona del suelo que rodea el sistema radicular de las plantas y que está influenciada por las secreciones de las raíces y los microorganismos asociados (Pieterse, *et al.*, 2014). La comunidad de la rizósfera consiste en una microbiota principalmente compuesta por bacterias, actinomicetos y hongos que forman comunidades únicas que tienen considerable potencial para establecer asociaciones simbióticas con las raíces de las plantas cumpliendo un rol esencial en los procesos biogeoquímicos y en los de la materia orgánica del suelo. Además, la rizósfera también incluye micro y mesofauna de protozoos, nemátodos, insectos y ácaros que contribuyen significativamente con el catabolismo de sustancias nocivas en la rizósfera. Las comunidades de la rizósfera son muy complejas y su composición varía entre las diferentes especies vegetales y los diferentes microambientes en una dinámica que permite mantener la salud del suelo y de la planta (Rout and Southworth, 2013).

Entre los microorganismos más prometedores en la agricultura moderna (particularmente en el mantenimiento de la fertilidad y recuperación de suelos degradados) se encuentra un grupo diverso de bacterias conocidas en conjunto como rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV) y el grupo de hongos micorrízicos arbusculares (HMA). Ambos grupos son conocidos por sus efectos como estimuladores del crecimiento y de la salud de las plantas (Desai, *et al.*, 2016; Urgiles-Gómez, *et al.*, 2021). Estas particularidades hacen que tanto las BPCV como los HMA sean considerados herramientas biotecnológicas que en algunos casos son aprovechadas para la conservación de ecosistemas, producción agrícola y silvícola, restauración de suelos degradados y propagación de comunidades vegetales (De Beenhouwer, *et al.*, 2015; Schüßler, *et al.*, 2016; Babushkina, *et al.*, 2017).

La reconocida importancia de los microorganismos benéficos para promover un manejo sostenible del suelo ha promovido la investigación en el campo agrícola y forestal que ha generado la información que se discute a continuación.

9.2. Diversidad microbiana de suelos en Ecuador

9.2.1. Bacterias promotoras del crecimiento vegetal

El dominio Bacteria es el más diverso entre los organismos que habitan nuestro planeta (Coleman, *et al.*, 2021). Algunas estimaciones recientes sugieren que la diversidad mundial de los reinos Bacteria y Archaea podría albergar entre 2.2 y 4.3 millones de especies distribuidas en todo el mundo (Louca, *et al.*, 2019). Las bacterias cumplen diversos roles en el funcionamiento de los ecosistemas debido a su extensa diversidad filogenética y metabólica (Madigan, *et al.*, 2008).

Aunque las relaciones filogenéticas del reino Bacteria aún no están del todo esclarecidas, el desarrollo de métodos más robustos de análisis ha permitido resolver algunas interrogantes respecto a su evolución (Louca, *et al.*, 2019). Tradicionalmente, la gran mayoría de los estudios respecto a la diversidad bacteriana se

basaron en análisis dependientes de técnicas de cultivo en laboratorio, pero los avances de las herramientas moleculares sugieren que menos del 1 % de las bacterias se pueden cultivar en estas condiciones (González y Fierro, 2009). Actualmente, con el desarrollo de técnicas más avanzadas como la metagenómica, es posible analizar con más detalle la gran diversidad de bacterias presentes en el suelo. Sin embargo, gran parte de los estudios de diversidad de las bacterias del suelo se han realizado en países europeos y en Estados Unidos, existiendo muy poca información sobre la diversidad bacteriana de países tropicales, aunque se ha sugerido que la mayor parte de las especies bacterianas tienen distribución global (Louca, *et al.*, 2019). En Ecuador hay escasa información acerca de la diversidad bacteriana y la mayor parte de trabajos publicados se basan en el estudio de comunidades asociadas a cultivos de interés comercial y que por tanto podrían tener potencial biotecnológico. Dentro de este grupo se encuentran las BPCV. Se considera que el desarrollo de tecnologías que incluyan el uso de estas bacterias sería importante para promover la producción a cargo de pequeños productores del Ecuador (Yarzabal and Chica, 2021).

Las BPCV son un grupo polifilético de bacterias cuya característica común es su capacidad de promover el crecimiento de las plantas a través de mecanismos directos: producción de fitohormonas, solubilización de fósforo (P), producción de sideróforos y de la enzima ACC desaminasa (1-aminociclopropane-1-carboxylate deaminase), o a través de mecanismos indirectos como antagonismo con microorganismos patógenos, activación de los mecanismos de defensa vegetal ante el ataque de patógenos, etc. Algunos géneros de bacterias BPCV de gran utilidad para los cultivos son: *Actinobacteria*, *Arthrobacter*, *Azoarcus*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Caulobacter*, *Chromobacterium*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Flavobacterium*, *Klebsiella*, *Micrococcous*, *Pantoea*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Serratia*, *Streptomyces* (Ahemad and Kibret, 2014).

En el marco del proyecto VALORAM (Valorizing Andean Microbial Diversity Through Sustainable Intensification of Potato-Based Farming Systems), financiado por la Comunidad Europea en 2009, se realizó el aislamiento, identificación y evaluación de algunas BPCV asociadas al cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en cuatro localidades de tres provincias del sur de Ecuador: Cañar, Azuay y Loja (**Figura 9.1**).

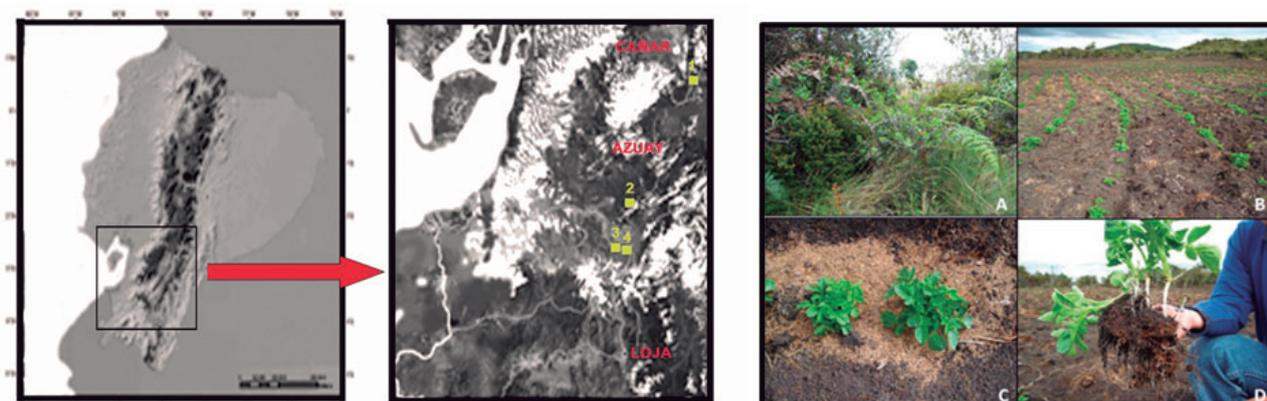


Figura 9.1. Localidades de muestreo en el Sur del Ecuador para el aislamiento de BPCV asociadas al cultivo de papa.

Se identificaron las siguientes cepas bacterianas con posible potencial biotecnológico: R47065, R47131, R49538, R49540, R49541 y R49597 debido a su comportamiento antagonista frente a *Rhizoctonia solani* y *Phytophthora infestans*, dos de las enfermedades más importantes en el cultivo de la papa y, además, por su capacidad para producir AIA (ácido indolacético) y solubilizar P del suelo (**Cuadro 9.1**). Estas cepas se utilizaron posteriormente en un experimento a nivel de campo en donde la cepa R47065 (*Bacillus* sp.) demostró un efecto positivo para promover el desarrollo y producción del cultivo (Velivelli, *et al.*, 2015).

Uno de los grupos de BPCV más estudiado en Ecuador es el de rizobios asociados al fréjol (*Phaseolus vulgaris*). La diversidad de especies noduladoras del fréjol en Ecuador sugiere que probablemente el país sea uno de los centros de diversificación de este cultivo (Debouck, *et al.*, 1993; Bernal and Graham, 2001; Torres-Gutiérrez, *et al.*, 2017). Entre 1986 y 1989 se aislaron cepas de rizobios que fueron aisladas de

suelos de varias localidades de la Sierra ecuatoriana, encontrándose después que la mayor parte de las cepas corresponde a tres nuevos linajes agrupados dentro del clado *Rhizobium* (*R. phaseoli*, *R. etli* y *R. leguminosarum*) (Ribeiro, *et al.*, 2013). El aislamiento de las cepas fue una de las primeras actividades del Proyecto Bean Cowpea CRSP, liderado por el Dr. Peter Graham, en el cual colaboró un grupo importante de investigadores ecuatorianos (Bernal, 2022). Una réplica de estas cepas forma parte del banco germoplásmico del Laboratorio de Rizobiología del Departamento de Suelos de la Universidad de Minnesota. Posteriormente, Ribeiro, *et al.* (2015) reportaron la presencia de una nueva especie en Ecuador: *Rhizobium ecuadorensis*. Torres-Gutiérrez, *et al.* (2017), por su parte, amplificaron el gen 16S rRNA identificando nueve especies de rizobios asociados a este cultivo en el sur del Ecuador: *Rhizobium tropici*, *R. etli*, *R. etli* *bv.* *Mimosae*, *R. leguminosarum*, *R. leguminosarum* *bv.* *Viciae* COL6, *R. mesoamericanum* NAM1, *R. undicola* y dos especies no identificadas dentro de este género. Estudios sobre la diversidad de rizobios asociados a la leguminosa de bosque seco *Clitoria brachystegia* lograron determinar la identidad de algunas especies de rizobios asociados a sus raíces: *Rhizobium multihospitium*, *R. miluonense*, *R. viscosum*, *R. larrymoorei*. Esta información podría utilizarse en planes de conservación de esta leguminosa (Soto-Valenzuela, *et al.*, 2021).

El INIAP, a través del Proyecto denominado “Selección de cepas de *Rhizobium* adaptadas a condiciones de campo y su uso como inoculantes de leguminosas de la Sierra y Costa Ecuatoriana” (PROMSA IQ-CV-081), incrementó el banco germoplásmico de cepas de rizobios liofilizadas, seleccionando las mejores en términos de fijación biológica de nitrógeno atmosférico (N_2) para cultivos como fréjol (UMR 1478, UMR 1481 y UMR 1468), arveja (ECUA-I1, ECUA-Z2 y ECUA-P3), alfalfa (UMR 6008 y TAL 380), soya (CIAT 51, UMR6001, ECUS-001 y ECUS1-SJ) y maní (ECUM-L 102 y ECUM-P8-6). Los ensayos conducidos con estas cepas en invernadero y en campos ubicados en fincas de agricultores de la Sierra y Costa, dependiendo del cultivo, mostraron resultados estadísticamente similares a los obtenidos con la aplicación de fertilizante nitrogenado (urea) y superiores al testigo (sin cepa y sin nitrógeno). Las variables analizadas en invernadero y campo fueron peso seco de la raíz y del follaje de la planta y contenido de N en el follaje, además, en campo se incluyó el rendimiento final del cultivo (Bernal, 2004). Además, el proyecto evaluó la efectividad de diferentes sustratos como portadores de la bacteria para la producción de inoculantes determinando que la turba era la mejor alternativa para mantener viva la bacteria. Esta evaluación también incluyó la esterilización del soporte y su efecto en la sobrevivencia (post esterilización) de las cepas. El inoculante elaborado con las cepas para soya fue incorporado al paquete tecnológico del manejo del cultivo, la semilla comercializada por el INIAP se inoculaba antes de la entrega al agricultor, pero el irregular flujo de recursos económicos hizo que esta práctica sea abandonada. En el caso de las cepas seleccionadas para arveja, alfalfa, fréjol y maní, el laboratorio de Protección Vegetal de la Estación Santa Catalina, INIAP, empezó a distribuir las como inoculantes bajo pedido, sirviendo principalmente a comunidades de pequeños productores.

En palma aceitera, la cobertura con pueraria (*Pueraria phaseoloides*) es parte importante del manejo del cultivo debido a que provee de cobertura que limita la erosión, reduce la temperatura del suelo, controla la competencia por malezas, estimula la micro y macro fauna y provee nitrógeno atmosférico (N_2) a las plantas. Para obtener mayor material vegetal para cobertura es importante la presencia de rizobios en el suelo. En general, la inoculación de la pueraria con cepas importadas de rizobio no es eficiente. La investigación conducida por Romero y Bernal (2008) permitió caracterizar las cepas nativas de rizobios asociada a la pueraria. Se aislaron siete cepas de crecimiento rápido y 43 de crecimiento lento en la zona de producción de Quinindé-San Lorenzo, probablemente de los géneros *Rhizobium* y *Bradyrhizobium*. Queda todavía por dilucidar la taxonomía de los rizobios nativos y evaluar la eficiencia de la inoculación con las cepas de crecimiento rápido en la fijación de N_2 .

Los pocos estudios en *Rhizobium* sp orientados al uso agronómico realizados en Ecuador deberían complementarse con estudios moleculares. Se podría caracterizar genotípicamente rizobios endémicos del país para conocer con mayor exactitud su diversidad y la utilización de estas cepas nativas en leguminosas hospederas lo que permitiría potenciar su capacidad de fijación de N_2 . Es fundamental que

estas bacterias puedan utilizarse con frecuencia junto con los HMA, como microorganismos benéficos y biotransportadores del suelo o biofertilizantes para los cultivos.

Es también importante evaluar las propiedades antagónicas de bacterias benéficas, especialmente en cultivos de alto valor y calidad como el cacao que Ecuador exporta al resto del mundo. En este sentido, Serrano, *et al.* (2021) pudieron identificar cepas de bacterias endófitas con capacidad para inhibir dos de los problemas fitosanitarios más importantes de este cultivo: *Moniliophthora roreri* y *Moniliophthora perniciosa*, los resultados obtenidos permitieron determinar 6 cepas (DS03, DS07, DS18, DS23, DS31, DS34 y DS50). A pesar de la identificación molecular de estas cepas, el análisis filogenético permitió inferir que las cepas pertenecen al complejo de *Bacillus subtilis*, específicamente al grupo operacional de *B. amyloliquefaciens*.

Cuadro 9.1. Características de biocontrol de *R. solani* y *P. infestans*, producción IAA, ACC y solubilización de fósforo de los aislamientos de bacterias obtenidos en cultivos de papa de cuatro localidades del sur del Ecuador (Cañar, Azuay y Loja).

Código del aislamiento	Identificación	Ecología	¹ Supresión de <i>R. solani</i> (%)	¹ Supresión de <i>P. infestans</i> (%)	² IAA	³ ACC	³ Solubilización de P
R47065	<i>Paenibacillus</i> sp.	Rizósfera	38.5	25.3	74.8	40	3
R47131	<i>Paenibacillus</i> sp.	Rizósfera	57.8	40.4	-	20	2
R49538	<i>Bacillus simplex</i>	Endófito	4.8	78.7	97.6	60	1
R49539	<i>Paenibacillus</i> sp.	Endófito	6.0	14.1	-	60	1
R49540	<i>Pasteuriaceae bacterium</i>	Endófito	8.4	55.0	-	100	0
R49541	<i>Paenibacillus</i> sp.	Endófito	6.0	19.9	-	60	2
R49597	<i>Bacillus simplex</i>	Endófito	9.6	86.7	-	30	0
FZB24*WG	<i>Bacillus subtilis</i>	Rizósfera	21.3	65.1	26.9	100	1

¹ Se calculó el porcentaje de biocontrol con la fórmula: $(C1-C2 / C1) \times 100$, donde C1 = crecimiento fúngico total del control y C2 = crecimiento fúngico medido en presencia de rizobacterias. Media de cinco repeticiones.

² IAA = Producción de ácido indol-3-acético (mg mL⁻¹). Media de tres repeticiones.

³ ACC = Actividad del 1-aminociclopropano-1-carboxilato desaminasa [nmol (α-cetobutirato) mg⁻¹ h⁻¹]. Media de tres repeticiones.

⁴ Solubilización de fosfato (PO₄). Los aislamientos se clasificaron en una escala de 0 a 5 según el diámetro del halo de la siguiente manera: 0 = sin actividad, 1 = 1-5 mm, 2 = 6-10 mm, 3 = 11-15 mm, 4 = 16-20 mm, 5 = > 20 mm. Medias de cuatro repeticiones.

9.2.2. Hongos formadores de micorrizas arbusculares

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) pertenecen al grupo de los *Glomeromycota* (Schüßler, *et al.*, 2001), cuya presencia data de hace 400 millones de años (Redecker, *et al.*, 2000). El nombre arbuscular proviene de la capacidad de estos hongos para formar en el interior de las raíces ramificaciones dicotómicas repetidas de las hifas denominadas arbuscúlos que asemejan a un árbol en miniatura. Cuando los HMA están en relación simbiótica con las raíces de las plantas se produce un aumento significativo de la superficie radicular debido a la producción de hifas que se extienden desde el interior de la raíz hacia el suelo, condición que ayuda a las plantas a crecer y sobrevivir en condiciones adversas como el estrés por sequía, deficiencia de nutrientes y malas características físico-químicas del suelo (Smith and Read, 2010; Mohammadi, *et al.*, 2011). Es importante ampliar la investigación de los HMA debido a que éstos se encuentran asociados con más del 80 % de las plantas terrestres protegiendo su sistema radicular contra el ataque de fitopatógenos e incrementando la absorción de agua y nutrientes por la planta hospedera (Bertolini, *et al.*, 2018).

9.2.2.1. Micorrizas asociadas a suelos volcánicos de Ecuador

Un estudio a largo plazo para evaluar los cambios en las características físicas, químicas y biológicas de suelos volcánicos bajo labranza de conservación (siembra directa) se encuentra desarrollándose en el Centro Docente Experimental La Tola (CADET) de la Universidad Central del Ecuador (Figura 9.2). La primera fase del estudio demostró que la labranza de conservación y la rotación de cultivos (cereales andinos y leguminosas) mejoró la calidad del suelo debido al incremento del contenido de materia orgánica, actividad biológica, agregados estables, porosidad y humedad en comparación con la labranza convencional. Además, se determinó que existe un notable incremento de la biodiversidad de HMA en el suelo (Ávila-Salem, *et al.*, 2020; Montesdeoca, *et al.*, 2020). Estos estudios caracterizaron e identificaron morfológicamente por primera vez la diversidad de HMA en este tipo de suelos, encontrando especies como *Gigaspora margarita*, *Rhizoglyphus sinuosus*, *Diversispora celata*, *Glomus ambisporium*, *Acaulospora alpina*, y *A. scrobiculata*, *Pacispora robiginia*, *Scutellospora calospora*,

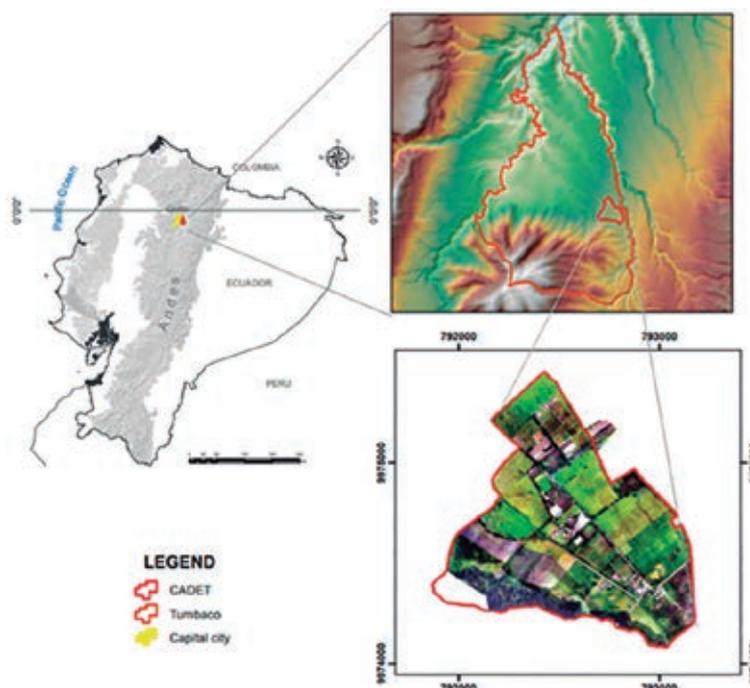


Figura 9.2. Ubicación de las parcelas experimentales en el CADET, UCE. Tumbaco, Quito, Ecuador

encontrando especies como *Gigaspora margarita*, *Rhizoglyphus sinuosus*, *Diversispora celata*, *Glomus ambisporium*, *Acaulospora alpina*, y *A. scrobiculata*, *Pacispora robiginia*, *Scutellospora calospora*,

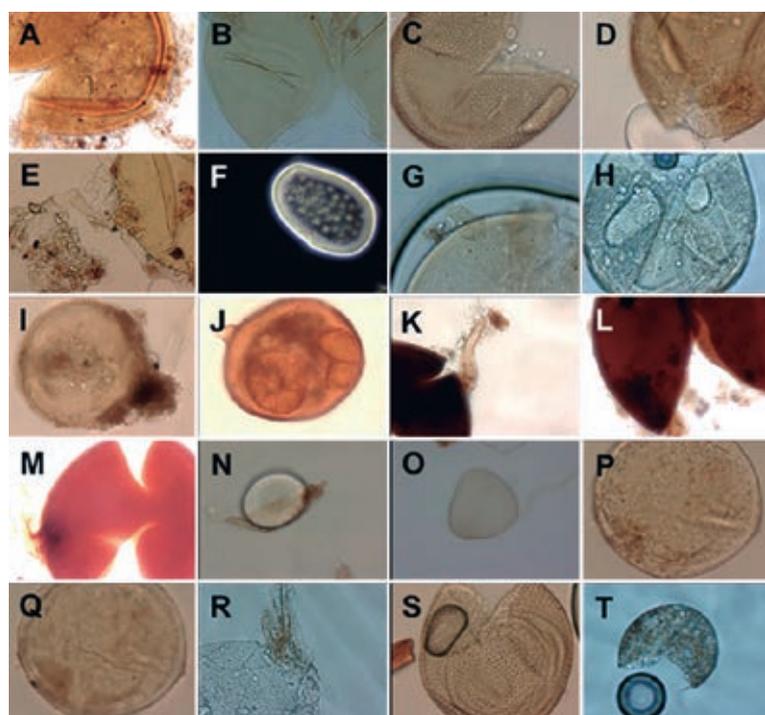


Figura 9.3. Principales estructuras de las esporas de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) encontrados en rotaciones fréjol- maíz y fréjol-amaranto en suelos volcánicos suelos del CADET, UCE (Ávila-Salem, *et al.*, 2020).

Funneliformis mosseae, *Claroideoglossum lamellosum*, *Glomus* sp. y *Ambispora* sp. (Figura 9.3). En un estudio posterior en las mismas parcelas se implementaron rotaciones de fréjol-maíz y fréjol-amaranto lográndose evidenciar la colonización micorrízica en las raíces de estos cultivos con estructuras de arbusculos y vesículas (Figuras 9.3 y 9.4). En la etapa inicial o de transición entre labranza convencional (LC) hacia siembra directa (SD) de estos estudios a largo plazo, se demostró que incluso en el primer ciclo de las rotaciones (fréjol), la productividad fue 42 % más alta en SD que en LC.

Por otro lado, Loján, *et al.* (2017) inocularon el HMA *Rhizophagus irregularis* DAOM 197198 en parcelas de dos localidades, la Estación Experimental Santa Catalina, Quito (suelo volcánico) y en la Estación Experimental El Huayco, Loja (suelo de propiedades vérticas),

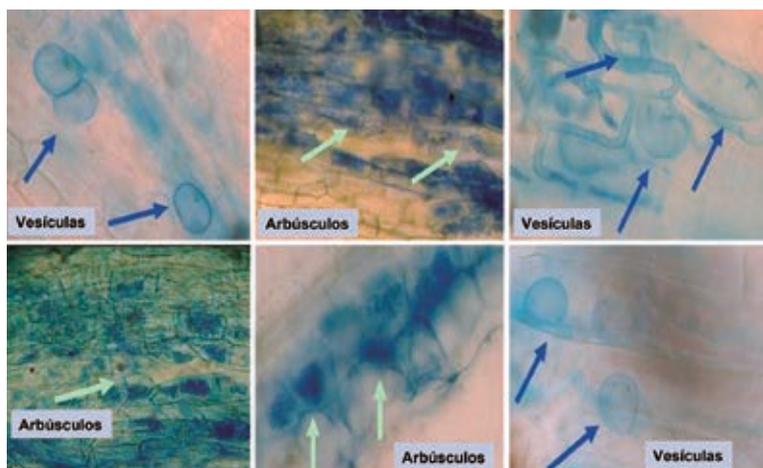


Figura 9.4. Propágulos de HMA bajo microscopía 100x que muestran arbusculos y vesículas en las raíces de fréjol, maíz y amaranto cultivados en suelos volcánicos del CADET, UCE.

LSUmAr), el uso de 454 GS-FLX + sequencing y posterior análisis bioinformático, permitió descubrir una diversa comunidad nativa de HMA asociada al cultivo, encontrándose un total de 40 especies de HMA pertenecientes a 10 diferentes géneros: *Acaulospora* (*A. laevis*, *A. scrobiculata*, *A. sieverdingii* like y 7 especies no definidas), *Rhizophagus* (*R. irregularis*, *R. intraradices*, *R. invermaium*, *R. proliferus* y 3 especies no definidas), *Claroideoglossum* (*C. claroideum*, *C. etunicatum*, *C. etunicatum*-like y 2 especies no definidas), *Scutellospora* (*S. spinosissima*, *S. gilmorei* y 2 especies no definidas), *Funneliformis* (*F. caledonius*, *F. mosseae* y 2 especies no definidas), *Gigaspora* (*G. margarita* y *G. rosea*), *Paraglossum* (*P. laccatum*-like, *P. occultum*), *Archaeospora* (*A. schenkii* y una especie no definida), *Pascispora scintillans* y *Diversispora* sp. (**Figura 9.5**).

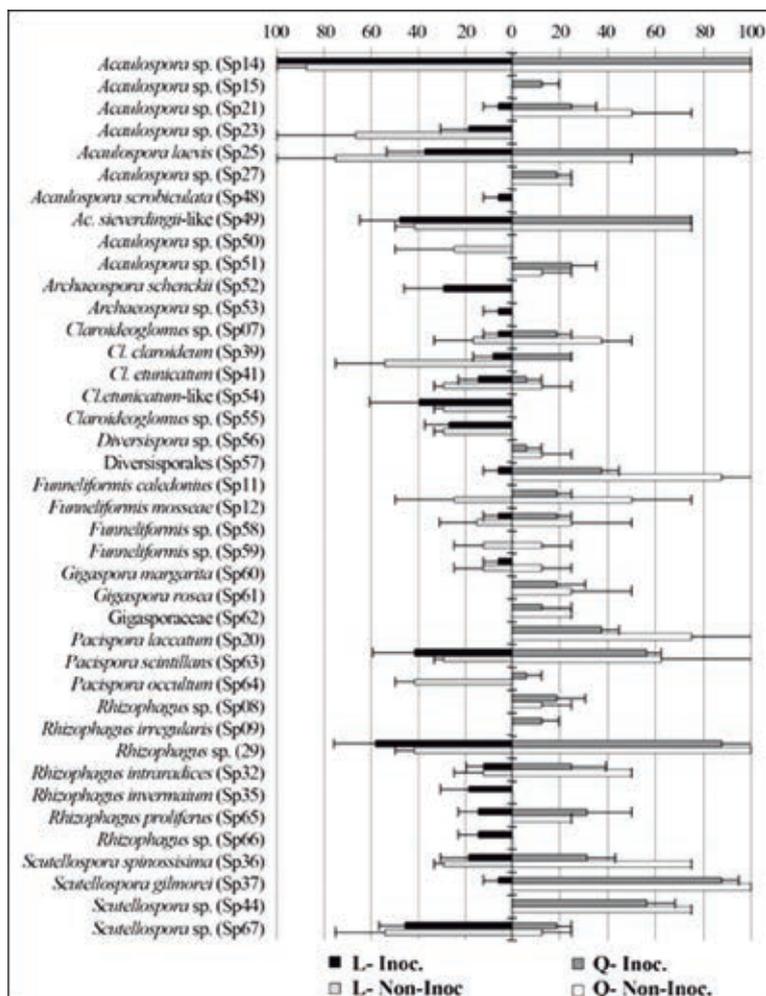


Figura 9.5. Resultados del estudio molecular de las comunidades de HMA asociadas a las raíces de papa. Las barras representan la frecuencia de ocurrencia de especies de HMA en Loja (L) y Quito (Q) en los tratamientos inoculados (Inoc.) y no inoculados (Non Inoc.) con *Rhizophagus irregularis* DAOM197198.

ambos cultivados con papa. Se evaluó su efecto en el desarrollo del hongo en las plantas inoculadas, así como en las comunidades de HMA asociadas. En ambos casos no se encontraron indicios que demuestren un efecto de la inoculación de *R. irregularis* DAOM 197198 en el crecimiento de las plantas, probablemente debido al activo movimiento del suelo para el cultivo de la papa que no permite el rápido establecimiento del hongo. Sin embargo, el estudio molecular de las comunidades de HMA asociadas a las raíces, que incluyó extracción de ADN, utilización de primers específicos (SSUmAf-

LSUmAr), el uso de 454 GS-FLX + sequencing y posterior análisis bioinformático, permitió descubrir una diversa comunidad nativa de HMA asociada al cultivo, encontrándose un total de 40 especies de HMA

9.2.2.2. Micorrizas en los bosques tropicales del Sur del Ecuador

En los trópicos, los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) establecen una simbiosis no solo con especies agrícolas sino también con especies forestales. En el bosque tropical de montaña del sur del Ecuador, más del 90 % de las especies de árboles nativos están asociados con hongos micorrízicos y solamente muy pocos están asociados con ectomicorrizas. Se han encontrado varios otros tipos de micorrizas en Orchidaceae y Ericaceae y en algunas hepáticas. En un estudio realizado en la Reserva Biológica San Francisco (RBSF) del Parque Nacional Podocarpus (PNP), localizado a sólo una hora de distancia de la ciudad de Loja, se encontró que el 97 % de las especies arbóreas (187) forman HMA (Kottke and Haug, 2004). Con los datos obtenidos en estudios de aplicación de hongos micorrízicos en árboles nativos cultivados en el vivero forestal se diseñó un protocolo de uso de micorrizas para colaborar con los esfuerzos de reforestación de los bosques de Ecuador. Estas acciones surgieron de la necesidad de producir un inóculo de HMA para incrementar la producción y disminuir la mortalidad de las especies vegetales utilizadas en agricultura, horticultura o silvicultura. El inóculo se utilizó en la propagación de *Handroanthus chrysanthus* (Guayacán), *Cedrela montana* (cedrela) y *Heliocarpus americanus* (balsa) alcanzando una mortalidad menor al 10 % en el tratamiento de plantas inoculadas con un consorcio de HMA nativos. El consorcio de HMA estuvo compuesto por *Diversispora* sp., *Claroideoglosum* sp., *Archaeospora* sp., *Rhizophagus* sp., *Acaulospora* sp., *Dentiscutata savannicola*, *Rhizophagus irregularis*. Este protocolo puede usarse efectivamente en planes de reforestación (Urgiles, *et al.*, 2016).

Otros organismos, como las bacterias nitrificantes, se encuentran también asociadas con los HMA. Existe una simbiosis tripartita entre micorrizas arbusculares (HMA), ectomicorrizas (EM) y actinobacterias fijadoras de nitrógeno (N_2) en dos especies de árboles nativos de Ecuador, *Alnus acuminata* (aliso, Betulaceae) y *Morella pubescens* (sinónimo *Myrica pubescens*, laurel de cera, Myricaceae) (Figura 9.6). Estas dos especies se pueden utilizar para mejorar la calidad del suelo y para la forestación de áreas degradadas, debido a que el uso de plantas con raicillas micorrizadas incrementa el crecimiento y desarrollo de especies forestales (Urgiles, *et al.*, 2014). También se utilizan la *A. acuminata* y la *M. pubescens* como especies forestales de rápido crecimiento que se asocian a cultivos nativos en la región de los Andes del Ecuador y que desempeñan un papel ecológico y económico importante para los pueblos indígenas o nativos (Urgiles, *et al.*, 2016).

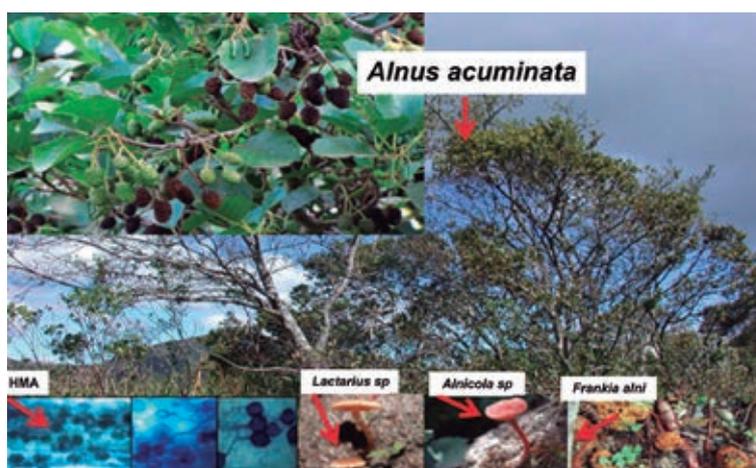


Figura 9.6. Asociación tripartita en la especie forestal nativa *Alnus acuminata* (aliso) con hongos micorrízicos arbusculares (HMA), hongos ectomicorrizas (ECM) como *Alnicola* spp., *Lactarius* spp. y actinomicetos como *Frankia alni* en la Sierra Sur de Ecuador.

9.2.2.3. Micorrizas en zonas riparias del Sur del Ecuador

En las zonas riparias de la región sur del Ecuador (Figura 9.7) existe poca investigación enfocada en la descripción de hongos HMA, o de de la aplicación de HMA como biofertilizantes (Urgiles, *et al.*, 2019). En los bosques naturales y zonas riparias ecuatorianas existe una organización vegetal heterogénea que se traduce en un gran número de especies conviviendo en un mismo espacio de suelo, por lo tanto, la posibilidad de encontrar en estas circunstancias asociaciones exitosas con diversas especies de HMA es alta (Enríquez, *et al.*, 2008). Hasta el momento se han encontrado HMA en los primeros 20 centímetros del perfil del suelo, especialmente de los géneros *Glomus* spp., *Scutellospora* spp., *Acaulospora* spp., *Gigaspora* spp. y *Rhizophagus* spp. (Urgiles-Gómez, *et al.*, 2020).

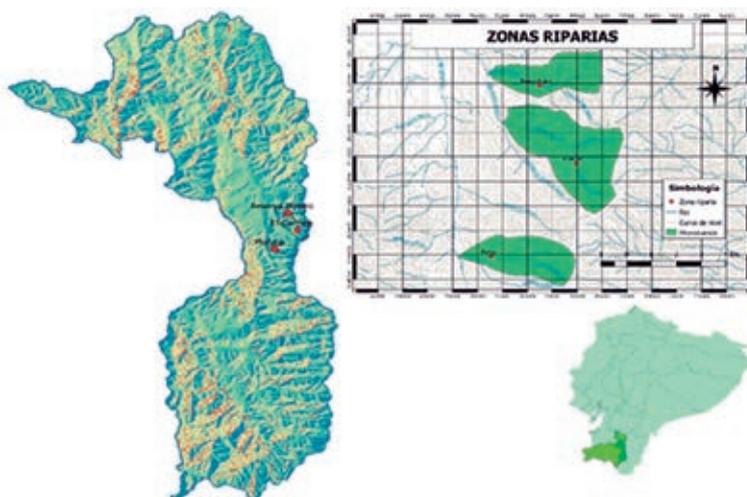


Figura 9.7. Ubicación de las zonas riparias en la provincia de Loja, Ecuador, donde existe la posibilidad de encontrar asociaciones de HMA con diversas especies vegetales.

Por otro lado, la aplicación de HMA en sistemas agrícolas y en sistemas forestales (a nivel de vivero y en plantaciones establecidas) podría ayudar a reducir el uso de fertilizantes químicos que por sus efectos residuales contaminan el ambiente (Urgiles, *et al.*, 2014; Loján, *et al.*, 2017). La investigación conducida por Urgiles, *et al.* (2019) en las zonas riparias de las microcuencas El Carmen (2 399 m s. n. m.) y Mónica (2 346 m s. n. m.) en el cantón Loja, identificó los morfotipos de los géneros *Glomus*, *Acaulospora* y *Scutellospora* (Figura 9.8).



Figura 9.8. Hongos micorrízicos arbusculares aislados de zonas riparias de las microcuencas El Carmen, Mónica y Zamora Huaico en el cantón Loja, Ecuador.

Las esporas encontradas se utilizaron como bioinoculantes en plántulas de tomate de mesa (*Solanum lycopersicum* Mill). La inoculación de las plantas tuvo un efecto significativo en el crecimiento, producción de biomasa foliar y radicular y peso de los frutos respecto a las plantas no inoculadas (tratamiento testigo sin HMA). Se encontró que los HMA presentes en el bio inóculo o inoculantes microbianos de las zonas riparias son potencialmente adecuados para el desarrollo de bio-inoculantes, teniendo en cuenta que a medida que aumentan el número de especies vegetales en un área determinada crece la diversidad de HMA y hace que el uso de bioinoculantes sea viable y de beneficio para los cultivos agrícolas (Urgiles, *et al.*, 2014; Urgiles, *et al.*, 2016). La colonización de las raíces con HMA en fases tempranas del cultivo induce importantes cambios en la planta, principalmente respuestas de defensa en la planta hospedera que permiten superar el estrés biótico y abiótico (Noval-Pons, *et al.*, 2017).

9.2.2.4. Micorrizas en sistemas agroforestales asociadas al café en el Sur del Ecuador

Tradicionalmente, el cultivo de café (*Coffea arabica* y *Coffea canephora*) representa un rubro importante para la economía del Ecuador. De acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Ganadería, en las últimas décadas se ha establecido el café en sistemas agroforestales (SAF) (MAGAP, 2019) debido a que ofrecen condiciones adecuadas para conservar la biodiversidad y demás servicios del ecosistema (Jezeer and Verweij, 2015). Generalmente, este cultivo se encuentra asociado con leguminosas, como guaba o faique, y frutales como banano, pero también se asocia con árboles maderables y vegetación propia de la zona agroforestal, por esta razón, es importante conocer qué HMA interaccionan con el cultivo del café. A pesar de la importancia para el buen funcionamiento de los servicios ecosistémicos, existe poco conocimiento de las relaciones interespecíficas de los SAF con los microorganismos como las HMA y algunas BPCV en los suelos de plantaciones convencionales o tecnificadas de café.



Figura 9.9. Ubicación de las zonas de estudio de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) provenientes de SAF en la provincia de Loja, Ecuador.

El trabajo de caracterización morfológica de HMA procedentes de SAF asociados al cultivo de café conducido por Urgiles-Gómez, *et al.* (2020) en tres sitios de la zona productora de café de la provincia de Loja (Malacatos, Chaguarpamba y Lozumbe) (**Figura 9.9**), colectó muestras de suelo y raicillas de la rizósfera del café para la posterior extracción de esporas y caracterización de los morfotipos principales de HMA. En Malacatos se encontraron tres morfotipos y 284 esporas 100 g^{-1} suelo del género *Glomus*, mientras que en Chaguarpamba se encontraron 4 morfotipos y 313 esporas 100 g^{-1} de suelo, un morfotipo del género *Acaulospora* y tres del género *Glomus*, finalmente en Lozumbe se encontraron 4 morfotipos y 598 esporas 100 g^{-1} de suelo, un morfotipo del género *Acaulospora* tres del género *Glomus* (**Figura 9.10**). El número de esporas en los dos últimos sitios tiene relación con la diversidad florística que posee el cultivo del café dentro del SAF. La asociación con especies forestales, frutales y el manejo agronómico difieren en

cada sistema agroforestal asociado al café. En Lozumbe está asociado a una mayor diversidad de especies como banano (*Musa paradisiaca* L.), Guaba (*Inga edulis* Mart), Naranja (*Citrus x sinensis* L.), Porotillo (*Erythrina velutina* Willd), Fernán Sánchez (*Triplaris cumingiana* Fisher y Meyer), vegetación herbácea y arbustiva. En Chaguarpamba, está asociado con banano (*Musa paradisiaca* L.), Guayabo (*Psidium guajava* L) y Pico-Pico (*Acnistus arborescens* L.). Finalmente, en Malacatos el café está asociado con Aliso (*Alnus acuminata* Kunth) y vegetación herbácea.

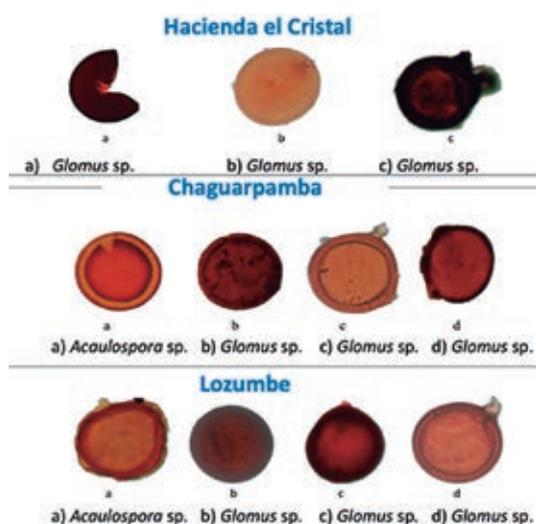


Figura 9.10. Hongos micorrízicos arbusculares aislados de sistemas agroforestales de Hacienda el Cristal (Malacatos), Chaguarpamba y Lozumbe en Loja, Ecuador.

Las comunidades y la población de las HMA pueden experimentar variación debido a efectos estacionales, la dinámica de esporulación entre las especies y el manejo agronómico en los ecosistemas y agroecosistemas (Trejo, *et al.*, 2011). Esto puede explicar la presencia del género *Acaulospora* en las zonas de Chaguarpamba y Lozumbe, lugares que presentan vegetación asociada a los cultivos de café con hábitos de crecimiento similares. A su vez, la diversidad de morfotipos y el número de esporas registrado

en cada zona tendría estrecha relación con la diversidad de vegetación asociada al cultivo de café. Estos autores también indican que es importante continuar con estudios de caracterización morfológica y molecular de las esporas de las HMA en los SAF asociados al café con la finalidad de identificar nuevas especies, determinar su rol ecológico y su aplicación como biofertilizantes, no solo en plantaciones convencionales de café sino en plantaciones tecnificadas en los SAF.

9.2.2.5. Micorrizas en palma aceitera

Estudios realizados por Maldonado, *et al.* (2008) y Bravo (2011) demostraron la presencia de consorcios de HMA nativos asociados a la rizósfera de todos los materiales genéticos (*Elaeis guineensis*, *E. oleifera*, *E. guineensis* x *E. oleifera* y variedades compactas) del cultivo de palma aceitera en el litoral y oriente ecuatorianos con tasas de colonización de hasta 73 % y densidad visual en raíces terciarias y cuaternarias de hasta 5.5 %. Los HMA encontrados pertenecen a los géneros *Glomus* spp., *Acaulospora* spp., *Archaeospora* spp. y *Gigaspora* spp., demostrando la prevalencia de HMA nativos en suelos agrícolas. Los autores destacan el hecho de que la zona donde se encontraron mayores porcentajes de asociación HMS-raíces está ubicada en la zona de producción de palma más antigua del país (Santo Domingo de los Tsáchilas), demostrando la alta capacidad de simbiosis de los HMA con este cultivo.

Es importante resaltar que son varios los factores edáficos y climáticos que afectan al comportamiento de los HMA en la palma aceitera, particularmente la buena correlación entre la cobertura vegetal de *Pueraria* sp. (leguminosa) y la tasa de colonización entre el contenido de materia orgánica del suelo y la densidad visual del endófito, mientras que existe una correlación negativa entre el contenido de P en el suelo y la población de esporas (Maldonado, *et al.*, 2008; Bernal, 2010; Bravo, 2011; Maldonado, *et al.*, 2013). Esta información es relevante para los programas de manejo de la palma aceitera que deben incluir coberturas vegetales, aporte de compost proveniente de los residuos del proceso industrial para incorporación MO al suelo y planes de fertilización equilibrados (Recalde y Calvache, 2009; Bernal, 2010).

Por otro lado, los estudios de la asociación de los HMA nativos en plantas de vivero de palma aceitera han demostrado el efecto benéfico de la inoculación en el incremento del área foliar específica y el contenido de P en los folíolos de las plantas lo que reduce la demanda de fertilizante fosforado (Morales y Bernal, 2008; Bernal, 2010; Maldonado, *et al.*, 2013).

9.2.2.6. Micorrizas en tomate de árbol

El tomate de árbol tiene mucha demanda en el país, pero la producción ha sido afectada por afecciones de plagas y mala nutrición del cultivo. Las plantas cujaco (*Solanum hispidium*) y tabaquillo (*Nicotiana glauca*) se utilizan como patrones para injertos de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) para evitar los problemas sanitarios radiculares que afectan al cultivo. La inoculación con HMA podría potenciar el efecto de los patrones en la producción de este frutal. Un estudio conducido por Viera, *et al.* (2017) encontró cepas nativas de HMA en suelos de Mindo y de la Mitad del Mundo en la provincia de Pichincha que al inocularse a los porta injertos mencionados lograron una mayor colonización radicular y mayor concentración de P en el tejido vegetal. Adicionalmente, al comparar el inóculo de estas cepas con la micorriza comercial (*Glomus* sp.) se encontró que las cepas nativas tenían un mejor desempeño, demostrando el positivo efecto de la utilización HMA en la producción de frutales.

9.2.3. Necesidad de investigación en Micorrizas en suelos de sistemas agrícolas

Se ha demostrado que la presencia de un gran número de especies de HMA, en su mayoría en los sistemas agrícolas bajo labranza de conservación, genera condiciones que se reflejan en mejores índices de calidad del suelo. En consecuencia, es impostergable el continuar con la caracterización molecular de toda la microfauna presente en los suelos del Ecuador, asociadas a sistemas agrícolas o sistemas agroforestales y naturales, así como lo es la necesidad de estudiar y comprender las funciones de estos microorganismos y/o consorcios de microorganismos en el suelo.

9.3. Hongos antagonísticos: *Trichoderma* sp.

Entre los hongos antagonísticos en sistemas agroecológicos destaca el género *Trichoderma* como agente de control biológico de enfermedades ocasionadas por patógenos como *Fusarium*, *Phytophthora*, *Pythium* y *Rhizoctonia*. Entre las especies más conocidas e investigadas están *T. harzianum*, *T. hamatum*, *T. viride*, y *T. koningii* (Amerio, *et al.*, 2020). En los últimos años se ha conducido abundante investigación sobre el efecto del uso de *Trichoderma* en diversos cultivos, algunos ejemplos son arroz (Chávez, *et al.*, 2020), cacao (Solís y Suárez, 2004; Bailey, *et al.*, 2011), piña (Sabando-Ávila, *et al.*, 2017), aguacate (Sotomayor, *et al.*, 2019), mora de castilla (Viera, *et al.*, 2019), cebolla roja (Chauca, 2018) y pastos (Acurio y España, 2017).

El efecto del uso de *Trichoderma* en palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) demostrado por Bravo, *et al.* (2016) es un buen ejemplo de la respuesta en un cultivo que ha tenido recurrentes problemas en el manejo agronómico debido al escaso desarrollo de sus raíces por causas bióticas y abióticas. Se evaluó el efecto enraizador del hongo anaerobio *Trichoderma asperellum* que habita naturalmente los suelos de las provincias de Esmeraldas y Santo Domingo de los Tsáchilas. Las pruebas de crecimiento y la caracterización morfológica molecular permitieron identificar al *Trichoderma asperellum* procedente de Mataje, San Lorenzo como el de mejor capacidad antagonística. Los resultados obtenidos en la fase de campo mostraron que el tratamiento con el *Trichoderma* de Mataje fue el que mejor incrementó el crecimiento y peso seco de las raíces de la palma. Este estudio recomienda el uso de *Trichoderma asperellum* combinado con raquis de palma para facilitar el crecimiento del microorganismo. Además, se aconseja aplicar esta combinación en los tres primeros años de crecimiento de la plantación a intervalos de seis meses para lograr el establecimiento del hongo en el suelo y el consiguiente efecto en la rizósfera de la planta.

Debido a su versatilidad, además de ser un estimulante del desarrollo de raíces, *Trichoderma* es un biocontrolador de hongos fitopatógenos. Se ha demostrado la capacidad antagonística y fungistática de varias cepas nativas de *Trichoderma* contra *Fusarium oxysporum* y *F. solani*, aislados de plantas de palma aceitera afectadas con pudrición de collogo. Las pruebas *in vitro* mostraron fungistasis a los 3 días después de la siembra de *Trichoderma* y parasitismo a los 7 (Martínez, *et al.*, 2013).

9.4. Organismos eucariotas simples: Protozoos

Otro grupo de microorganismos que casi no se ha estudiado en el país es el de los protozoos del suelo. Los protozoos son una gama extremadamente diversa de organismos eucariotas simples o unicelulares que viven en casi todos los hábitats (Imam, 2009). La gran mayoría de estos microorganismos son heterótrofos o quimioheterótrofos, es decir, obtienen su energía de fuentes orgánicas preformadas que puede ser en forma de moléculas orgánicas solubles, bacterias o detritos. Sin embargo, algunos pueden poseer cloroplastos y obtener así parte de su energía del sol siendo fotoautótrofos, pero otros pueden ser fotoheterótrofos, que aunque son fototrópicos en cuanto a necesidades energéticas, no pueden utilizar dióxido de carbono (CO₂) para la síntesis celular y deben tener al alcance compuestos orgánicos de carbono (Laybourn-Parry, 1984).

Los protozoos del suelo incluyen amebas desnudas, amebas testadas, flagelados, ciliados, microsporidios y esporozoos. Se han registrado alrededor de 1 600 especies del suelo y dependiendo de su tipo, varían en número de protozoos, de 10 000 a 1 000 000 individuos por gramo de masa seca de suelo. Los protozoos tienen funciones importantes en el ciclo de descomposición y el crecimiento de las plantas y son valiosos bioindicadores de las influencias naturales y antropogénicas (Foissner, 2014). Los géneros y especies más comunes de protozoos micófilos del suelo son *Drechmeria coniospora*, *Protaspis simplex*, o *Cercomonas crassicauda* (Ekelund, 1998).

Los protozoos juegan un papel importante en los suelos agrícolas como consumidores de bacterias y, en menor medida, como consumidores de hongos. Se ha demostrado en experimentos en maceta que la actividad de los protozoos estimula la absorción de N y se ha planteado la hipótesis de que la materia orgánica liberada por las plantas en la zona de las raíces estimula la actividad bacteriana y protozoaria, lo que conduce a la mineralización del N orgánico del suelo, que es posteriormente absorbido por las plantas (Hamer, *et al.*, 2009; Vaerewijck and Houf, 2015).

9.5. Microorganismos y sus servicios ecosistémicos

El Ecuador es un país que se caracteriza por una gran diversidad de plantas y animales, muchos de ellos endémicos, razón por la cual es considerado como uno de los 17 países más megadiversos del mundo (SENPLADES, 2013). Esta riqueza de especies es una fuente de valiosos recursos para la comunidad científica en sus diversas áreas de investigación. Se han hecho varios avances y aportes científicos en ciertas áreas como la conservación de áreas naturales, pero cabe recalcar, sin embargo, que los avances en el contexto de la microbiología del suelo, incluyendo la microbiología agrícola, son todavía escasos y merecen ampliación. Los microorganismos del suelo participan constante y activamente en diferentes procesos vitales del suelo y son los principales promotores de la transformación de la materia orgánica y de la estabilidad de los ciclos biogeoquímicos (Bernal, 2006). Los estudios recientes en microorganismos benéficos en Ecuador se detallan en el **Cuadro 9.2**.

Cuadro 9.2. Investigaciones desarrolladas con microorganismos en ecosistemas naturales y agroecosistemas del Ecuador.

Microorganismos	Autores	Año	Tema de la publicación	DOI - URL
Microalgas	Bravo, Vladimir; Ronquillo, Mayra; Martínez, Miguel; Quezada, Gonzalo	2016	Efecto enraizador de <i>Trichoderma asperellum</i> en el cultivo de palma aceitera	https://doi.org/10.36331/revista.v4i1.26
Microalgas	Morales, Ever; Luna, Verónica; Navarro, Lucía; Santana, Vismeli; Gordillo, Ana; Arévalo, Andrés	2013	Diversidad de microalgas y cianobacterias en muestras provenientes de diferentes provincias del Ecuador, destinadas a colección de cultivos	https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6537243
PGPR - <i>Azotobacter</i> spp. y <i>Trichoderma</i> spp.	Granda, Klever; Araujo, Salomé, Collahuazo, Yadira; López, Yessenia; Jaén, Ximena; Robles, Ángel; Urgiles, Narcisca	2020	Caracterización morfológica y fisiológica de microorganismos rizosféricos nativos de sistemas agroforestales de café	https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/832
<i>Bacillus</i> spp. <i>Lactobacillus</i> spp.	Álvarez, Manuel; Vázquez, Jacinto; Castillo, Jorge; Tucta, Franz; Quispe, Evelyn; Meza, Víctor	2018	Potencial de la flora de la provincia del Azuay (Ecuador) como fuente de microorganismos benéficos	http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.12
Diversidad de <i>Rhizobium</i> en <i>Phaseolus vulgaris</i>	Torres, Roldán; Granda, Klever; Bazantes, Cassandra; Robles, Ángel	2021	<i>Rhizobium</i> diversity is the key to efficient interplay with <i>Phaseolus vulgaris</i> . Case of study of southern Ecuador	https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-8999-7_19#citeas
Biofertilizantes de PGPR para incrementar la producción de brócoli y lechuga	Acurio, Ramiro; Mamarandiyi, Johanna; Ojeda, Andrea; Tenorio, Estefany; Chiluisa, Viviana; Vaca, Ivonne	2020	Evaluación de <i>Bacillus</i> spp. como rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV) en brócoli (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i>) y lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)	https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1465
Estudios realizados en PGPR y HMA en la producción de café	Urgiles, Narcisca; Avila, María Eugenia; Loján, Paul; Encalada, Max; Hurtado, Lesly; Araujo, Salome; Collahuazo, Yadira; Guachanamá, José.; Poma, Noemí.; Granda, Klever; Robles, Ángel; Senés, Carolina; Cornejo, Pablo	2021	Plant Growth-Promoting Microorganisms in Coffee Production: From Isolation to Field Application	https://doi.org/10.3390/agronomy11081531
HMA en bosques tropicales en el sur del Ecuador	Urgiles, Narcisca; Haug, Ingeborg; Setaro, Sabrina; Aguirre, Nikolay	2016	Introduction to Mycorrhizas in the tropics with emphasis on the montane forest in Southern Ecuador	https://www.researchgate.net/publication/306082812
Inóculo de HMA en especies nativas forestales para la reforestación	Urgiles, Narcisca; Loján, Paúl; Aguirre, Nikolay; Blaschke, Helmut; Günte, Svenr; Stimm, Bernd; Kottke, Ingrid	2009	Application of mycorrhizal roots improves growth of tropical tree seedlings in the nursery: a step towards reforestation with native species in the Andes of Ecuador	https://doi.org/10.1007/s11056-009-9143-x

Microorganismos	Autores	Año	Tema de la publicación	DOI - URL
HMA en sistemas agroforestales	Urgiles, Narcisa; Guachanamá, José; Granda, Iván; Robles, Ángel; Encalada, Max; Loján, Paúl; Ávila, María Eugenia; Hurtado, Leslye; Poma, Nohemí, Collahuazo, Yadira; Araujo, Salomé; Quichimbo, Lucía	2020	Caracterización morfológica de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) asociados al café en sistemas agroforestales de Loja, Ecuador	https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/826
Diversidad filogenética de HMA para mejorar el crecimiento de forestales	Schüßler, Arthur; Belz, Claudia; Urgiles, Narcisa	2016	Phylogenetically diverse AM fungi from Ecuador strongly improve seedling growth of native potential crop trees	https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00572-015-0659-y
Inóculo de HMA en raicillas de especies nativas forestales	Urgiles, Narcisa; Strauß, Axel; Loján, Paúl; Schüßler, Arthur	2010	Cultured arbuscular mycorrhizal fungi and native soil inocula improve seedling development of two pioneer trees in the Andean region	https://doi.org/10.1007/s11056-014-9442-8
HMA asociados al cultivo de la papa	Loján, Paul; Senés, Carolina; Suárez, Juan; Kromann, Peter; Schüßler, Arthur; Declerck, Stéphane	2017	Potato field-inoculation in Ecuador with <i>Rhizophagus irregularis</i> : no impact on growth performance and associated arbuscular mycorrhizal fungal communities	https://doi.org/10.1007/s13199-016-0471-2
HMA como biofertilizante	Urgiles, Narcisa; Lalangui, Christian; Chamba, Estenia; Loján, Paúl; Poma, Laura; Encalada, Max; Mendoza, Nikolay	2019	Aislamiento y caracterización morfológica de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) de zonas riparias del Sur del Ecuador: un enfoque a la producción de biofertilizantes	https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/700

Los mayores limitantes para una producción agrícola sostenible y eficiente en Ecuador son la degradación de los ecosistemas y la contaminación de los suelos (Prieto-Benavides, *et al.*, 2012). La utilización de microorganismos benéficos (BPCV, HMA, protozoos, etc.) es una alternativa viable para que optimizar la producción agrícola (campo e invernaderos) debido a que éstos mejoran la nutrición de las plantas (captación y transporte de nutrientes), así como su capacidad para combatir el estrés por falta de agua y para inducir resistencia a ciertas plagas o patógenos (Singh, *et al.*, 2004; Barea, *et al.*, 2013). Estos servicios ecosistémicos generalmente se subestiman al parecer inciertos o por desconocer su real potencial, por esta razón, es necesario ampliar la investigación sobre la dinámica de estos microorganismos y evaluar sus beneficios en campos de agricultores. Es también importante evaluar la capacidad de remediación ambiental de estas comunidades microbianas (Saccá, *et al.*, 2017). La **Figura 9.11** sintetiza algunos de los roles de los microorganismos del suelo y los servicios ecosistémicos brindados.

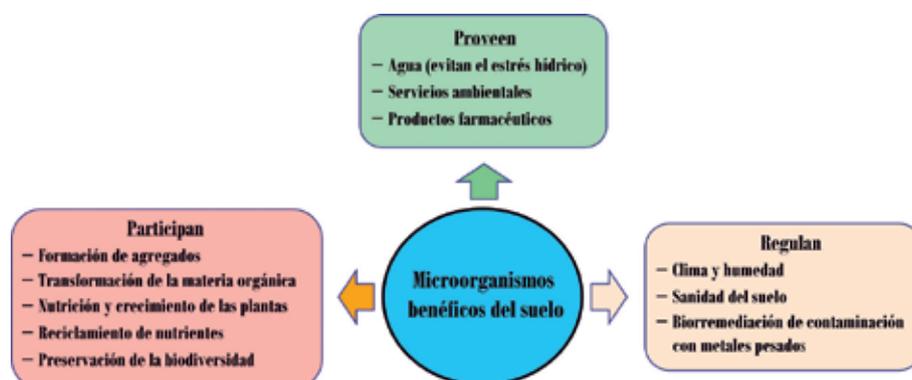


Figura 9.11. Servicios ecosistémicos de los microorganismos del suelo (modificado de Saccá, *et al.* (2017).

9.6. Conclusiones y perspectivas futuras

La investigación científica ha demostrado que los microorganismos benéficos son actores claves en el mantenimiento o la recuperación de la calidad del suelo, particularmente por su rol fundamental de indicadores tempranos de perturbaciones o cambios en los ecosistemas agrícolas y forestales.

Las BPCV, HMA, hongos antagonistas, microalgas y protozoos son parte de una gran cadena trófica de microorganismos que benefician los sistemas agrícolas y forestales aportando de esta forma a la seguridad alimentaria del mundo. Por lo tanto, el determinar los procesos físicos, químicos y biológicos en los cuales estos microorganismos interactúan podría significar la propia subsistencia de la especie humana en este planeta.

Las nuevas investigaciones conducidas en Ecuador a nivel molecular y bioquímico han logrado dilucidar en parte la biodiversidad de los suelos del país, sin embargo, en los ecosistemas ecuatorianos existe todavía un gran número de especies de microorganismos cuyas funciones e importancia deben investigarse para expandir el conocimiento sobre la mega diversidad de microorganismos benéficos. Esta investigación puede demostrar cual es el verdadero aporte de estos organismos a la conservación y recuperación de los suelos, así como su efecto sobre la productividad y calidad de los cultivos, contribuyendo al mejoramiento de la calidad de vida y la economía de los productores.

Los estudios a mediano y largo plazo deben ser integrales, es decir, se debe investigar la interacción de los microorganismos benéficos con las propiedades físicas, químicas y biológicas de diferentes tipos de suelos y la interacción microbiana con los cultivos, priorizando la protección y restauración del recurso suelo en ecosistemas agrícolas y forestales. Se debe fomentar el uso de tecnologías y herramientas moleculares de nueva generación para determinar la efectividad y promover decididamente el uso de microorganismos benéficos nativos como aporte para la ciencia y para una alimentación sana.

Además, se debe trabajar a nivel de legislación ambiental para reforzar las políticas que fomenten la protección de la diversidad microbiológica del suelo a través de la rotación y la eficiente nutrición de los cultivos, así como el uso de biofertilizantes, biotransportadores de nutrientes y controladores biológicos de plagas o enfermedades.

9.7. Referencias bibliográficas

- Acurio, R. y C. España. 2017. Aislamiento, caracterización y evaluación de *Trichoderma* spp. como promotor de crecimiento vegetal en pasturas de raygrass (*Lolium perenne*) y trébol blanco (*Trifolium repens*). La Granja. Revista de Ciencias de la Vida 25(1): 53-61.
- Ahemad, M. and M. Kibret. 2014. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective. Journal of King Saud University-Science 26(1): 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2013.05.001>
- Amerio, N., M. Castrillo, G. Bich, P. Zapata y L. Villalba. 2020. *Trichoderma* en Argentina: Estado del arte. Ecología Austral 30: 113-124. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/131788>
- Ávila-Salem, M., F. Montesdeoca, M. Orellana, K. Pacheco, S. Alvarado, N. Becerra, C. Marín, F. Borie, P. Aguilera and P. Cornejo. 2020. Soil biological properties and arbuscular mycorrhizal fungal communities of representative crops established in the Andean Region from Ecuadorian Highlands. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 20: 2156–2163. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00283-1>

- Babushkina, E., L. Belokopytova, A. Grachev, D. Meko and E. Vaganov. 2017. Variation of the hydrological regime of Bele-Shira closed basin in Southern Siberia and its reflection in the radial growth of *Larix sibirica*. *Regional Environmental Change* 17(6): 1725-1737. <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1137-1>
- Bailey, B., H. Bae, R. Melnick and J. Crozier. 2011. The endophytic *Trichoderma hamatum* isolate DIS 219b enhances seedling growth and delays the onset of drought stress in *Theobroma cacao*. In: A. Pirittla and a. Frank (eds). *Endophytes of Forest Trees*. *Forestry Science*, vol 80. Springer. Dordrecht, Holland. p. 157-172.
- Barea, J., M. Pozo, R. Azcón and C. Azcón-Aguilar. 2013. Microbial interactions in the rhizosphere. In: F. de Bruijn (ed). *Molecular Microbial Ecology of the Rhizosphere*. John Wiley & Sons, Ltd. New York, USA. p. 29-44.
- Bernal, G. 2004. Informe final del Proyecto PROMSA IQ-CV-081: Selección de cepas de *Rhizobium* adaptadas a condiciones de campo y su uso como inoculantes de leguminosas de la Sierra y Costa Ecuatoriana. Departamento de Protección Vegetal. Estación Experimental Santa Catalina. INIAP. Quito, Ecuador.
- Bernal, G. 2010. El desarrollo de la microbiología del suelo en la palma de aceite en Ecuador. *Palmas* 31 N° Especial (1): 226-233.
- Bernal, G. 2022. Comunicación personal. Quito, Ecuador.
- Bernal, G. 2006. La microbiología de suelos en el Ecuador: Situación actual de la investigación. En: J. Espinosa (ed). *Memorias del X Congreso de la Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo*. SECS. Guayaquil, Ecuador.
- Bernal, G. and P. Graham. 2001. Diversity in the *rhizobia* associated with *Phaseolus vulgaris* L. in Ecuador, and comparisons with Mexican bean *rhizobia*. *Canadian journal of microbiology* 47(6): 526-534. <https://doi.org/10.1139/w01-037>
- Bertolini, V., N. Montaña, E. Chimal-Sánchez, L. Varela-Fregoso, J. Gómez-Ruiz y J. Martínez-Vázquez. 2018. Abundancia y riqueza de hongos micorrizógenos arbusculares en cafetales de Soconusco, Chiapas, México. *Revista de Biología Tropical* 66(1): 91-105. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v66i1.27946>
- Brady, N. and R. Weil. 2008. *An Introduction to the Nature and Properties of Soils*. Prentice Hall. USA.
- Bravo, V. 2011. Evaluación de consorcios simbióticos micorrízicos nativos de palma aceitera (*Elaeis guineensis* J.), reproducidos como bioinoculantes para el estudio de su eficiencia en fase de vivero. Departamento de Ciencias de la Viva. Facultad de Ingeniería en Biotecnología, Escuela Politécnica del Ejército. Ingeniero en Biotecnología. Sangolquí, Ecuador. 98 p
- Bravo, V., M. Ronquillo, M. Martinez y G. Quezada. 2016. Efecto enraizador de *Trichoderma asperellum* en el cultivo de palma aceitera. Ecuador es Calidad: Revista Científica Ecuatoriana. Edición Especial de Suelos 4(1): 1-8. <https://doi.org/10.36331/revista.v4i1.26>
- Chauca, E. 2018. Evaluación de la capacidad antagónica de *Trichoderma* spp. frente al hongo *Rhizoctonia solani* en *Allium cepa* L (Cebolla Roja). Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ingeniero en Biotecnología. Riobamba, Ecuador. 111 p
- Chávez, J., A. García, E. Espinoza y D. Zambrano. 2020. Respuestas morfofisiológicas de la raíz del arroz (*Oryza sativa* L.) variedad SFL 11 en fase de semillero a la aplicación de cepa nativa de *Trichoderma* sp. y lixiviados de vermicompost bovino. *La Técnica: Revista de las Agrociencias*. ISSN 2477-8982 23: 13-24.

- Coleman, G., A. Davín, T. Mahendrarajah, L. Szánthó, A. Spang, P. Hugenholtz, G. Szöllösi and T. Williams. 2021. A rooted phylogeny resolves early bacterial evolution. *Science* 372(6542): 1-17. <https://doi.org/10.1126/science.abe0511>
- De Beenhouwer, M., M. Van Geel, T. Ceulemans, D. Muleta, B. Lievens and O. Honnay. 2015. Changing soil characteristics alter the arbuscular mycorrhizal fungi communities of Arabica coffee (*Coffea arabica*) in Ethiopia across a management intensity gradient. *Soil Biology and Biochemistry* 91: 133-139.
- Debouck, D., O. Toro, O. Paredes, W. Johnson and P. Gepts. 1993. Genetic diversity and ecological distribution of *Phaseolus vulgaris* (Fabaceae) in northwestern South America. *Economic Botany* 47(4): 408-423. <https://doi.org/10.1007/bf02907356>
- Desai, S., G.P. Kumar, L.D. Amalraj, D. Bagyaraj and R. Ashwin. 2016. Exploiting PGPR and AMF biodiversity for plant health management. In: D. Prtap, H. Bahadur and R. Prabha (eds). *Microbial inoculants in sustainable agricultural productivity*. Springer. New Delhi, India. p. 145-160.
- Ekelund, F. 1998. Enumeration and abundance of mycophagous protozoa in soil, with special emphasis on heterotrophic flagellates. *Soil Biology and Biochemistry* 30(10-11): 1343-1347.
- Enríquez, F., L. Núñez y F. Paillacho. 2008. Evaluación de la efectividad de las micorrizas arbusculares nativas sobre el desarrollo y estado nutritivo del palmito (*Bactris gasipaes* Kunt) en etapa de vivero. En: J. Espinosa (ed). *Memorias del XI Congreso Ecuatoriano de Ciencias del Suelo*. SECS. Quito, Ecuador.
- Foissner, W. 2014. An update of 'basic light and scanning electron microscopic methods for taxonomic studies of ciliated protozoa'. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 64(Pt_1): 271-292.
- González, H. y R. Fierro. 2009. ¿Sabías que existen microorganismos que no hemos podido cultivar? *Contactos* 71: 42-45.
- Hamer, U., K. Potthast and F. Makeschin. 2009. Urea fertilisation affected soil organic matter dynamics and microbial community structure in pasture soils of Southern Ecuador. *Applied Soil Ecology* 43(2-3): 226-233.
- Imam, T. 2009. The complexities in the classification of protozoa: a challenge to parasitologists. *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences* 2(2): 159-164. <https://doi.org/10.4314/bajopas.v2i2.63805>
- Jezeer, R. y P. Verweij. 2015. *Café en Sistema Agroforestal. Doble Dividendo para la Biodiversidad y los Pequeños Agricultores en Perú*. Hivos. El Haya, Holanda.
- Kottke, I. and I. Haug. 2004. The significance of mycorrhizal diversity of trees in the tropical mountain forest of southern Ecuador. *Lyonia* 7(1): 49-56.
- Laybourn-Parry, J. 1984. *A Functional Biology of Free-Living Protozoa. How Protozoa Obtain Energy*. Springer. London. England.
- Loján, P., C. Senés-Guerrero, J. Suárez, P. Kromann, A. Schüßler and S. Declerck. 2017. Potato field-inoculation in Ecuador with *Rhizophagus irregularis*: no impact on growth performance and associated arbuscular mycorrhizal fungal communities. *Symbiosis* 73(1): 45-56.
- Louca, S., F. Mazel, M. Doebeli and L.W. Parfrey. 2019. A census-based estimate of Earth's bacterial and archaeal diversity. *PLoS Biology* 17(2): e3000106. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000106>
- Madigan, M., J. Martinko, P. Dunlap and D. Clark. 2008. *Brock Biology of Microorganisms*. 12th ed. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey, USA.

- MAGAP. 2019. MAGAP ejecuta proyecto de reactivación de la caficultura Ecuatoriana. Disponible en <https://www.agricultura.gob.ec/magap-ejecuta-proyecto-de-reactivacion-de-la-caficultura-ecuatoriana/>
- Maldonado, L., V. Bravo, R. Morales and G. Bernal. 2013. Native mycorrhizal association in oil palm (*Elaeis guineensis*) in Ecuador and evaluation of colonization efficiency in nursery palms. *ASD Oil Palm Papers* 41: 23-26.
- Maldonado, L., R. Morales, G. Bernal y I. Alcocer. 2008. Estudio del comportamiento de las asociaciones micorrízicas en el material germoplásmico de palma aceitera en Ecuador. En: J. Espinosa (ed). *Memorias del XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*. Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo. Quito, Ecuador.
- Martínez, M., G. Quesada, K. Solís, V. Bravo y C. Suárez. 2013. Mejore las raíces de su palma usando *Trichoderma*. ANCUPA. Quito, Ecuador.
- Mohammadi, K., S. Khalesro, Y. Sohrabi and G. Heidari. 2011. A review: beneficial effects of the mycorrhizal fungi for plant growth. *J. Appl. Environ. Biol. Sci* 1(9): 310-319.
- Montesdeoca, F., M. Ávila, J. Quishpe, F. Borie, P. Cornejo, P. Aguilera, S. Alvarado and J. Espinosa. 2020. Early changes in the transition from conventional to no-tillage in a volcanic soil cultivated with beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences* 36(3): 181-189. <https://doi.org/10.29393/chjaas36-16ctfm80016>
- Morales, R. y G. Bernal. 2008. Estudio del comportamiento micorrízico en el cultivo de la palma aceitera en la zona de Quinindé, Ecuador. En: J. Espinosa (ed). *Memorias del X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*. SECS. Quito, Ecuador.
- Noval-Pons, B., O. León-Díaz, N. Martínez-Gallardo, E. Pérez-Ortega y J. Délano-Frier. 2017. Patrón de la actividad de las β -1, 3-glucanasas y quitinasas en la interacción hma-sistemia en tomate. II fase temprana de la simbiosis. *Cultivos Tropicales* 38(3): 36-43.
- Pieterse, C., C. Zamioudis, R. Berendsen, D. Weller, S. Van Wees and P. Bakker. 2014. Induced systemic resistance by beneficial microbes. *Annual review of phytopathology* 52: 347-375.
- Prieto-Benavides, O., C. Belezaca-Pinargote, W. Mora-Silva, F. Garcés-Fiallos, F. Sabando-Ávila and P. Cedeño-Loja. 2012. Identification of arbuscular mycorrhizal fungi in cocoa agroforestry systems in the Ecuadorian humid tropics. *Agronomía Mesoamericana* 23(2): 233-239. <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/>
- Recalde, F. y M. Calvache. 2009. Importancia de la aplicación de raquis en el manejo de la corona del cultivo de palma aceitera: su efecto en la absorción del potasio. *Revista ANCUPA* 4: 1-11.
- Redecker, D., R. Kodner and L. Graham. 2000. Glomalean fungi from the Ordovician. *Science* 289(5486): 1920-1921. <https://doi.org/10.1126/science.289.5486.1920>
- Ribeiro, R., T. Martins, E. Ormeño-Orrillo, J. Delamuta, M. Rogel, E. Martínez-Romero and M. Hungria. 2015. *Rhizobium ecuadorensis* sp. nov., an indigenous N₂-fixing symbiont of the Ecuadorian common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genetic pool. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 65(Pt_9): 3162-3169. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.000392>
- Ribeiro, R., E. Ormeno-Orrillo, R. Dall'Agnol, P. Graham, E. Martinez-Romero and M. Hungria. 2013. Novel *Rhizobium* lineages isolated from root nodules of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Andean and Mesoamerican areas. *Research in Microbiology* 164(7): 740-748. <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2013.05.002>

- Romero, G. y G. Bernal. 2008. Selección de cepas de la bacteria fijadora de nitrógeno e inoculación de la semilla de pueraria asociada con la palma aceitera (*Elaeis guineensis* J.). En: J. Espinosa (ed). Memorias del X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. SECS. Quito, Ecuador.
- Rout, M. and D. Southworth. 2013. The root microbiome influences scales from molecules to ecosystems: the unseen majority. *American Journal of Botany* 100(9): 1689-1691.
- Sabando-Ávila, F., L. Molina-Atiencia and F. Garcés-Fiallos. 2017. *Trichoderma harzianum* in pre-planting increases the agronomic potential of pineapple crop. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária)* 12(4): 410-414.
- Saccá, M., A. Barra, M. Di Lenola and P. Grenni. 2017. Ecosystem services provided by soil microorganisms. In: M. Lukac, P. Grenni and M. Gamboni (eds). *Soil Biological Communities and Ecosystem Resilience*. Springer. Bari, Italy. p. 9-24.
- Schüßler, A., C. Krüger and N. Urgiles. 2016. Phylogenetically diverse AM fungi from Ecuador strongly improve seedling growth of native potential crop trees. *Mycorrhiza* 26(3): 199-207.
- Schüßler, A., D. Schwarzott and C. Walker. 2001. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycological Research* 105(12): 1413-1421. <https://doi.org/10.1017/S0953756201005196>
- SENPLADES. 2013. Plan Nacional del Buen Vivir. SENPLADES. Quito, Ecuador. <https://www.gobiernoelectronico.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/09/PLAN-NACIONAL-PARA-EL-BUEN-VIVIR-2013-2017.pdf>
- Serrano, L., A. Moreno, D. Castillo, J. Bonilla, C. Romero, L. Galarza and J. Coronel-León. 2021. Biosurfactants synthesized by endophytic bacillus strains as control of *Moniliophthora perniciosa* and *Moniliophthora roreri*. *Scientia Agricola* 78: e20200172. <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2020-0172>
- Singh, B., P. Millard, A. Whiteley and J. Murrell. 2004. Unravelling rhizosphere-microbial interactions: opportunities and limitations. *Trends in Microbiology* 12(8): 386-393.
- Smith, S. and D. Read. 2010. *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press. New York, USA.
- Solís, K. y C. Suárez. 2004. Uso de *Trichoderma* spp para control del complejo Moniliasis Escoba de Bruja del cacao en Ecuador. Estación Experimental Tropical Pichilingue, INIAP. Quevedo, Ecuador.
- Sotomayor, A., A. Gonzáles, K.J. Cho, A. Villavicencio, T. Jackson and W. Viera. 2019. Effect of the application of microorganisms on the nutrient absorption in avocado (*Persea americana* Mill.) seedlings. *Journal of the Korean Society of International Agriculture* 31(1): 17-24.
- Torres-Gutiérrez, R., K. Granda-Mora, Y. Alvarado-Capó, A. Rodríguez, N. Mogollón and J. Almeida. 2017. Genetic and phenotypic diversity of Rhizobium isolates from Southern Ecuador. *Ciência e Agrotecnologia* 41: 634-647. <https://doi.org/10.1590/1413-70542017416008517>
- Trejo, D., R. Ferrera-Cerrato, R. Garcia, L. Varela, L. Lara and A. Alarcon. 2011. Effectiveness of native arbuscular mycorrhizal fungi consortia on coffee plants under greenhouse and field conditions. *Revista Chilena de Historia Natural* 84(1): 23-31. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2011000100002>
- Urgiles-Gómez, N., M. Avila-Salem, P. Loján, M. Encalada, L. Hurtado, S. Araujo, Y. Collahuazo, J. Guachanamá, N. Poma and K. Granda. 2021. Plant growth-promoting microorganisms in coffee production: from Isolation to field application. *Agronomy* 11(8): 1531.
- Urgiles-Gómez, N., J. Guachanamá-Sánchez, I. Granda-Mora, Á. Robles-Carrión, M. Encalada-Cordova, P. Loján-Armijos, M. Avila-Salem, L. Hurtado-Trejo, N. Poma-López e Y. Collahuazo-Reinoso. 2020. Caracterización morfológica de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) asociados al café en sistemas agroforestales de la provincia de Loja, Ecuador. *Bosques Latitud Cero* 10(2): 137-145.

- Urgiles, N., I. Haug, S. Setaro and N. Aguirre. 2016. Introduction of Mycorrhizas in the Tropics with emphasis on the Montane Forest in Southern Ecuador. Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador.
- Urgiles, N., C. Lalangui, E. Chamba, P. Loján, L. Poma, M. Encalada y N. Aguirre. 2019. Aislamiento y caracterización morfológica de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) de zonas riparias del Sur del Ecuador: un enfoque a la producción de biofertilizantes. CEDAMAZ, Revista del Centro de Estudio y Desarrollo de la Amazonía 9(1): 1-7.
- Urgiles, N., A. Strauß, P. Loján and A. Schüßler. 2014. Cultured arbuscular mycorrhizal fungi and native soil inocula improve seedling development of two pioneer trees in the Andean region. *New Forests* 45(6): 859-874. <https://doi.org/10.1007/s11056-014-9442-8>
- Vaerewijck, M. and K. Houf. 2015. The role of free-living protozoa in protecting foodborne pathogens. In: J. Sofos (ed). *Advances in Microbial Food Safety*. Elsevier. New York, USA. p. 81-101.
- Velivelli, S., P. Kromann, P. Lojan, M. Rojas, J. Franco, J. Suarez and B. Prestwich. 2015. Identification of mVOCs from Andean rhizobacteria and field evaluation of bacterial and mycorrhizal inoculants on growth of potato in its center of origin. *Microbial Ecology* 69(3): 652-667. <https://doi.org/10.1007/s00248-014-0514-2>
- Viera, W., D. Campaña, A. Lastra, W. Vásquez, P. Viteri y A. Sotomayor. 2017. Micorrizas nativas y su efecto en dos portainjertos de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). *Bioagro* 29(2): 105-114.
- Viera, W., M. Noboa, A. Martínez, F. Báez, R. Jácome, L. Medina and T. Jackson. 2019. *Trichoderma asperellum* increases crop yield and fruit weight of blackberry (*Rubus glaucus*) under subtropical Andean conditions. *Vegetos* 32(2): 209-215.
- Yarzabal, L. and E. Chica. 2021. Microbial-based technologies for improving smallholder agriculture in the ecuadorian Andes: Current situation, challenges, and prospects. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 5(5): 617444. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.617444>

SUELOS DEL ECUADOR CLASIFICACIÓN, USO Y MANEJO



Síguenos en:



CONTACTOS:

- Dirección: (593-2) 3 975 100 est. 2102
- Subdirección: (593-2) 3 975 100 est. 2109
- Geoinformación: (593-2) 3 975 100 est. 4448
- Mercadotecnia: (593-2) 3 975 100 est. 2509/2517
- Comunicación Social: (593-2) 3 975 100 est. 2505/2506
- Pbx: (593-2) 3 975 100

Quito: Av. Seniergues E4-676 Y Gral. T. Paz y Miño - El Dorado

Instituto Geográfico Militar

www.geograficomilitar.gob.ec / www.geoportal.gob.ec

ISBN: 978-9942-22-557-3



9 789942 225573

