


Artículo original


Algunas propiedades físicas, químicas y microbiológicas de un suelo agrícola en Darién, República de Panamá

Aquile Álvarez-González¹ 

Gloria M. Martín-Alonso^{2*} 

Luis C. Mejía-Franco³ 

Evangelina López-Vdovenko³ 

Yakelin Rodríguez-Yon² 

¹Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Darién, CRUD, Corregimiento de Metetí, Distrito de Pinogana, Comunidad de Villa Darién, Estafeta Universitaria Apartado 3366, Panamá

²Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), carretera San José-Tapaste, km 3½, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32 700

³Centro de Biodiversidad y Descubrimiento de Drogas, Instituto de Investigaciones Científicas y Servicios de Alta Tecnología (INDICASAT), Apartado Postal 0843-01103. Edificio 219, Ciudad del Saber, Clayton Panamá, República de Panamá

*Autor para correspondencia: gloriamartin73@gmail.com

RESUMEN

Para cualquier estudio de suelos siempre es necesario una previa descripción del perfil, en el que se observa su morfología y se presentan una serie de propiedades que son el resultado de la formación del suelo y de la influencia antropogénica. Tomando en consideración esta premisa se realizó la descripción del perfil de un suelo de una finca de Yaviza, Panamá y se determinaron algunas de sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas. El suelo se clasificó como Gleysol vértico, debido a las características de diagnóstico encontradas: propiedades gléyicas a menos de 50 cm de profundidad y propiedades vérticas, tiene textura arcillosa, no estaba compactado y el contenido de materia orgánica y las reservas de carbono orgánico del suelo fueron bajas. El pH fue ácido en todo el perfil; sin embargo, la capacidad de intercambio catiónico efectiva osciló

entre alta y media, con predominio de los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} y un elevado porcentaje de saturación por bases. Excepto la relación Ca/Mg , que osciló entre 2 y 6, las demás relaciones internutrientes estuvieron fuera de rango. Las concentraciones de microelementos y de aluminio cambiante fueron bajas o medias. Al analizar la abundancia relativa de microorganismos se encontró que los filos más abundantes fueron Actinobacteria, Proteobacteria, Firmicutes y Acidobacteria, todos del dominio Bacteria y del Reino Fungi se observó el predominio del filo Ascomycota, seguido de Basidiomycota y Rozellomycota. Es necesario corregir el desequilibrio entre los nutrientes y chequear la evolución de estas propiedades durante la explotación agrícola del área en estudio.

Palabras clave: Gleysols, características morfológicas suelo, fertilidad, microorganismos del suelo

Recibido: 15/09/2020

Aceptado: 26/06/2021

INTRODUCCIÓN

El suelo es un importante recurso natural con gran influencia sobre el medio ambiente y la economía. De él dependen, en gran medida, la supervivencia y el bienestar de la población actual y las generaciones futuras ⁽¹⁾. La fertilidad de los suelos se considera un factor determinante en la disponibilidad de nutrientes para las plantas cultivadas. Es difícil comprender la fisiología de la nutrición de los cultivos económicos, sin un estudio adecuado de los indicadores que conforman la fertilidad y la naturaleza de los suelos, sobre todo, en las regiones tropicales ⁽²⁾.

Sin embargo, en los estudios de fertilidad del suelo se hace indispensable incluir los análisis relativos a la biología del suelo debido a que la mayoría de las transformaciones de los nutrientes en el suelo son realizadas por los microorganismos del suelo. Al respecto, varios estudios han establecido la importancia de la microbiota del suelo y sus interacciones para la mineralización de los nutrientes y la nutrición de las plantas ⁽³⁾. Para cualquier estudio de suelos siempre es necesario una previa descripción del suelo como tal. Por una parte, es el primer contacto que se tiene con los suelos que puedan existir en la región de estudio y, por otra, el perfil de suelo se manifiesta a través de su morfología, en la cual se presentan una serie de propiedades que son el resultado de la formación del suelo y de la influencia antropogénica, si existe ⁽⁴⁾.

De manera general, los análisis iniciales de las propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo son un paso indispensable para proceder a un manejo agrícola sostenible, tomando en consideración sus factores limitantes y propiciar un manejo que conserve, mejore e incremente, tanto las propiedades del suelo como las producciones agrícolas sin afectar al medio ambiente.

Tomando en consideración la importancia de describir y caracterizar cualquier suelo con un uso agrícola, se efectuó la presente investigación con el objetivo de realizar la descripción del perfil de un suelo y determinar algunas de sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar la caracterización de algunas propiedades físicas, químicas y microbiológicas se seleccionó un suelo de la finca “El Mamey”, ubicada a 800 m al sur de la carretera Panamericana, en la localidad de Yaviza, distrito de Pinogama, provincia de Darién, República de Panamá. Este suelo estaba cubierto de pastos naturales, fue sometido a fuego y estaba bajo laboreo agrícola para con posterioridad realizar la siembra de cultivos anuales.

Se procedió al examen visual del terreno y con auxilio de palas, se procedió a la apertura de una calicata, aproximadamente al centro del terreno y en la parte media de la pendiente. Las dimensiones de la calicata fueron de 1 m por 1 m de largo y ancho y 1,12 m de profundidad. Una vez realizada la apertura, se procedió a describir el suelo ⁽⁴⁾ y se establecieron los colores, según la Tabla Munsell ⁽⁵⁾. La clasificación del suelo se realizó siguiendo lo indicado en la Clasificación de Suelos de Cuba 2015 ⁽⁶⁾, el World Reference Base ⁽⁷⁾ y la Soil Taxonomy ⁽⁸⁾.

Con posterioridad se tomaron muestras por triplicado en la profundidad del perfil para determinar la humedad natural, por el método gravimétrico y densidad aparente, por el método de los cilindros cortantes ⁽⁹⁾. También se tomaron muestras por triplicado de aproximadamente 500 g de cada horizonte que se trasladaron hasta el Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Panamá (IDIAP), para realizarles análisis de algunas propiedades físicas y químicas. La evaluación de los resultados se realizó en función de los métodos analíticos empleados.

Las variables evaluadas y los métodos de determinación ejecutados en el IDIAP fueron: textura, por el método de Bouyoucos, pH en agua en una relación 1:2,5 por

potenciometría. Los porcentajes de C y de la materia orgánica (MO) por Walkley-Black. El contenido de N se calculó a partir de multiplicar el porcentaje de la MO por 0,05. Las reservas de carbono orgánico del suelo se calcularon por la siguiente ecuación ⁽¹⁰⁾:

$$COS = CO \times Da \times m$$

donde:

COS= carbono orgánico total en el suelo por superficie (Mg C ha⁻¹)

CO= carbono orgánico total (%)

Da = densidad aparente (Mg m⁻¹)

m = profundidad del suelo (cm)

La extracción de P, K, Mn, Fe, Zn y Cu se realizó por medio de la solución extractora de Mehlich-1 y determinados por medio de absorción atómica. Para la extracción de Ca, Mg y Al fue utilizado cloruro de potasio 1N, el Ca y Mg se determinaron por medio de absorción atómica y el Al mediante titulación con NaOH 0,01 N ⁽¹¹⁾.

Las relaciones internutrientes se establecieron por cálculo a partir de los contenidos de los mismos en la solución del suelo. El porcentaje de saturación por bases se calculó a partir de la Capacidad de Intercambio de bases dividida por la Capacidad de Intercambio Catiónica y multiplicado por 100. La Capacidad de Intercambio Catiónica efectiva (CICe) se calculó a partir de la sumatoria de los cationes y de la acidez cambiante. El porcentaje de saturación por aluminio se calculó a partir del aluminio existente en el suelo dividido por la CICe ⁽¹²⁾.

Para realizar el análisis microbiológico del suelo se realizó un muestreo simple aleatorio en todo el terreno, tomando 14 muestras conformadas por cinco submuestras cada una, en la profundidad de 0-20 cm. Después de la correspondiente identificación, fueron congeladas a -18 °C y con posterioridad fueron trasladadas en una nevera portátil para su procesamiento en el Instituto de Investigaciones Científicas y Servicios de Alta Tecnología (INDICASAT).

Se realizó la extracción de ADN genómico total (ADNg) de las muestras de suelo, utilizando el juego de reactivos DNeasy PowerSoil Pro (QIAGEN, Hilden, Germany), siguiendo el protocolo del fabricante. Para la construcción de bibliotecas de ADN, se realizaron dos tipos de amplificaciones diferentes para cada muestra usando dos combinaciones de cebadores, una para bacterias y arqueas y otra para hongos. En todos los casos las PCR (Reacción en Cadena de la Polimerasa) se hicieron por triplicado en termociclador.

Para el estudio de las bacterias y arqueas presentes en el suelo se utilizaron los cebadores 515F (GTGCCAGCMGCCGCGGTAA) y 806R (GGACTACHVGGGTWTCTAAT) que amplifican la región V4 del ADN ribosomal menor o 16S. Mientras que para el estudio de las comunidades de hongos se emplearon los cebadores ITS1F (CTTGGTCATTTAGAGGAAGTAA) e ITS4A (CGCCGTTACTGGGGCAATCCCTG) que amplifican la región del ADN ribosomal ITS (Espaciadores Internos de Transcripción). Los cebadores contenían adaptadores para la plataforma de secuenciación Illumina MiSeq⁽¹³⁾.

Ambas PCR se ejecutaron bajo las siguientes condiciones: 3 min a 94 °C, 35 ciclos de 45 s a 94 °C, 1 min a 50 °C y 90 s a 72 °C, seguido por una elongación final de 10 min a 72 °C. En todos los casos las mezclas de reacción contenían 1x PCR Buffer, 700 µM de MgCl₂, 400 µM de cada dNTP, 500 µM de los cebadores, 0,45x solución Q, 2U de *taq* ADN polimerasa (QIAGEN) y 10-30 ng de ADNg en 25µL. Los productos de las PCR fueron visualizados mediante electroforesis en geles de agarosa (1,5 %) utilizando como revelador el RedGel y se usó solución amortiguadora de corrida TAE 1x (Tris 40 mmol L⁻¹ (pH 7,8), ácido acético y EDTA). Las corridas se realizaron a 80 voltios por 40 minutos en equipo de electroforesis horizontal. Para corroborar la presencia de los amplicones correctos se utilizó el marcador de peso molecular 1kb plus DNA Ladder (Invitrogen).

Posteriormente se realizó una segunda PCR en todos los casos para adicionar índices (SA5F y SA7R) a las secuencias⁽¹³⁾. Las condiciones utilizadas fueron: 3 min a 94 °C, 6 ciclos de 45 s a 94 °C, 1 min a 50 °C y 90 s a 72 °C, seguido por una elongación final de 10 min a 72 °C. Las mezclas de reacción contenían 1x PCR Buffer, 1,5 mM de MgCl₂, 800 µM de cada dNTP, 200 nM de los índices, 1,25 U de *taq* ADN polimerasa (QIAGEN) y 2 µL del pool de PCR1 en 25 µL. Una vez comprobada la presencia de los amplicones correctos realizando electroforesis según se describió previamente, se procedió a la purificación de la biblioteca de ADN con el juego de reactivos SequalPrepTM Normalization Plate, según instrucciones del fabricante. La concentración de ADN se cuantificó usando el juego de reactivos Qubit® dsDNA BR Assay (Life Technologies), obteniéndose una concentración aproximada de 10 ng/µl. Para determinar el tamaño, la pureza y la concentración de la biblioteca obtenida se utilizó un Bioanalizador (Agilent 2100 Bioanalyzer). Por último, las muestras fueron mezcladas en cantidades equimolares y secuenciadas en la plataforma Illumina MiSeq⁽¹³⁾.

Las secuencias obtenidas se sometieron a análisis bioinformático de acuerdo a lo descrito previamente ⁽¹³⁾, para lo cual se definió una similitud entre las mismas del 97 % y se utilizó el paquete QIIME. A los OTU (unidades taxonómicas operacionales) se les asignó una identidad taxonómica al confrontar secuencias representativas de cada uno contra la base de datos del NCBI (Centro Nacional para la Información Biotecnológica de los Estados Unidos) mediante el BLAST. Las identidades obtenidas se utilizaron para determinar la distribución de las secuencias entre los principales filos de bacterias, arqueas y de hongos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción del perfil de suelo (Tabla 1)

Clasificación

Cuba: Gleysol Vértico crómico sin carbonatos ⁽⁶⁾. WRB 2014: Gleysol vértico, éútrico ⁽⁷⁾.
Soil Taxonomy: Vertic Endoaquept ⁽⁸⁾

Diagnósticos

Procesos de formación: Vertisolización y Gleyzación. Horizonte diagnóstico: Horizonte vértico. Características de diagnóstico: Propiedades gléyicas a menos de 50 cm de profundidad y propiedades vérticas

Localización

Ubicación: En Yaviza, al sur de la Carretera Panamericana. Municipio: Pinogana.
Provincia: Darién. País: Panamá
Altura (m s.n.m.): 31 m. Coordenadas geográficas: Lat N 8,203 Long W -77,74

Factores de formación

1. Forma del terreno: alomado
 - 1.1 Posición fisiográfica del lugar (posición dentro del relieve): mitad de la pendiente
 - 1.2 Topografía del terreno circundante (a 1 km del lugar de la calicata): alomado
2. Pendiente donde se toma el perfil: $\approx 7^\circ$
3. Vegetación o uso de la tierra: en preparación (laboreo), antes pasto natural (*Paspalum virgatum* L.) que fue quemado con fuego.
4. Clima: Tropical subhúmedo (Aw)
5. Material de origen: sedimentario
6. Tiempo: Cuaternario
7. Drenaje interno: malo
8. Drenaje superficial: regular

Tabla 1. Descripción del perfil del suelo y horizontes identificados

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A ₁ (v)	0-22	Textura arcillosa de color 2,5Y5/1 gris amarillento, estructura de bloques prismáticos, buena, consistente, húmedo. Presencia de caras de deslizamiento. Raíces abundantes. No hay piedras u otras inclusiones. Presencia de hormigas y arañas pequeñas. Sin reacción al ácido. Transición gradual. Presencia de grietas que se extienden en la profundidad de los demás horizontes.
A ₂ (v)	22-36	Textura arcillosa de color 2,5Y5/4 gris amarillento, estructura de bloques prismáticos, buena, consistente, húmedo. Presencia de caras de deslizamiento. Abundantes raíces y hormigas, sin reacción al ácido, transición brusca.
C ₁ g	36-59	Textura arcillosa de color 2,5Y7/6 amarillento, estructura poliédrica media, masiva, húmeda, consistente. Presencia de caras de deslizamiento. Presencia de raíces finas, manchas de color 2,5Y7/1 gris claro, sin reacción al ácido. Transición gradual.
C ₂ g	59-112	Textura arcillosa de color 5Y7/6 amarillo, estructura poliédrica grande, masiva, consistente, húmedo. Presencia de caras de deslizamiento. Presencia de algunas raíces muy finas, manchas de color N7/0 blanco grisáceo sin reacción al ácido.

El tipo de arcilla predominante, identificada por observación visual, es el grupo 2:1, grupo de la montmorillonita. Las características que permitieron identificar la presencia de la arcilla fue la estructura de bloques ⁽¹⁴⁾, la alta retención de humedad, la elevada plasticidad, la presencia de caras de deslizamiento y la presencia de grietas en todo el terreno, producto de la contracción que de forma natural se presenta en estas arcillas en el período poco lluvioso ⁽¹⁵⁾. Este tipo de arcilla tiene una alta retención de humedad, que se manifiesta por las propiedades gléyicas detectadas a menos de 50 cm de profundidad, por lo que se puede considerar al mal drenaje interno y a la alta retención de humedad, como posibles factores limitantes de la producción.

Estudio de algunas propiedades físicas y químicas

En la Tabla 2 se presentan los principales resultados analíticos realizados al perfil de suelo. Al analizar la composición mecánica se observó un aumento del contenido de arcilla con la profundidad del perfil, transitando la clasificación textural de franco arcilloso a arcilloso.

Tabla 2. Algunas propiedades físicas, composición mecánica, materia orgánica y reservas de carbono orgánico del suelo de los cuatro horizontes identificados en el perfil

Horizonte/ Profundidad (cm)	Arena (%)	Limo	Arcilla	Clasificación textural	HN (%)	Da (Mg kg ⁻³)	MO (%)	N	C (Mg C ha ⁻¹)	COS
A ₁ (v)/0-22	36	28	36	Franco arcilloso	34,35	0,90	1,14	0,06	0,66	13,14
A ₂ (v)/22-36	32	24	44	Arcilloso	37,22	1,12	0,21	0,01	0,12	1,92
C _{1g} /36-59	20	24	56	Arcilloso	43,69	0,98	0,04	0,00	0,02	0,52
C _{2g} /59-112	8	20	72	Arcilloso	38,35	1,01	0,00			

HN: humedad natural. Da: densidad aparente. MO: materia orgánica. COS: reservas de carbono orgánico

Respecto a este resultado, durante el proceso de gleyzación se produce un cambio muy fuerte en la composición y en las propiedades de la parte mineral del suelo, pues es afectada por diferentes transformaciones complejas, se realiza la destrucción de los minerales primarios y secundarios y al mismo tiempo ocurre la síntesis de minerales secundarios de neoformación (arcillas); o sea, durante el proceso de gleyzación, hay formación de arcillas; por eso, en la mayoría de los casos, el horizonte gleyzado tiene una composición mecánica más arcillosa que los que no lo son ⁽¹⁶⁾.

La humedad natural osciló entre 34 y 43 %, lo que es un rango adecuado, si se toma en cuenta que los muestreos se realizaron al final del período poco lluvioso. Esta elevada humedad está en correspondencia con el tipo de suelo (Gleysol vértico), con presencia de arcillas del grupo de la montmorillonita, con una alta retención de humedad ⁽¹⁴⁾.

La densidad aparente fue baja a lo largo de todo el perfil, por lo que se puede plantear que el suelo no presentaba compactación. Este resultado se corresponde con la presencia de pastos naturales. La cantidad de raíces de plantas como *Paspalum virgatum* y la profundidad a la que llegan durante su crecimiento, provocan una buena agregación del suelo, porosidad y baja densidad aparente, lo cual crea excelentes condiciones físicas para el desarrollo de los cultivos ⁽¹⁷⁾. La densidad aparente y el crecimiento de las raíces tienen una correlación alta y positiva ⁽¹⁸⁾; o sea, con una densidad aparente baja no hay impedimento del crecimiento de raíces en el perfil, aspecto que fue observado en la descripción de este perfil de suelo, en el que se encontró presencia de raíces incluso en la mayor profundidad (59-112 cm). Además, los suelos con cobertura de vegetación o aquellos que no han sido sometidos a altas presiones de laboreo tienen bajos los valores de densidad de volumen o densidad aparente ⁽¹⁹⁾.

Los valores de materia orgánica y los porcentajes de C y N fueron bajos en todo el perfil. El porcentaje de C en el primer horizonte es inferior al reportado anteriormente ⁽¹⁹⁾, por debajo del cual se considera que el suelo está degradado. Es posible que estos bajos valores se deban a que antes de la toma de muestras, el lugar fue quemado con fuego y

posteriormente se comenzaron las labores de aradura para efectuar el laboreo del suelo y se ha demostrado que las labores de quema y aradura convencional del suelo con inversión del prisma, tienden a disminuir los contenidos de materia orgánica y las reservas de carbono en el perfil ⁽¹⁰⁾.

El fuego cambia la dinámica del ciclo del C en el suelo, alterando propiedades físicas, químicas y biológicas, de esa manera, disminuyen los contenidos y la composición de la materia orgánica y la disponibilidad de N y P, al menos en los primeros meses posteriores al fuego ⁽²⁰⁾.

En la Tabla 3 se observan las variables químicas evaluadas en el perfil de suelo. El pH se clasificó como ácido en todo el perfil, excepto en la profundidad de 22-36 cm que se clasificó como ligeramente ácido. Los contenidos de Ca y Mg fueron altos en toda la profundidad, mientras que el P fue bajo. Sin embargo, el K fue medio en las profundidades de 0-22 cm y 36-59 cm, mientras que en las otras fue bajo. El porcentaje de saturación por bases fue alto en todo el perfil y la capacidad de intercambio catiónica efectiva fue alta en las profundidades de 0-22 cm y 59-112 cm y medio en las restantes.

Tabla 3. Principales propiedades químicas de los cuatro horizontes identificados en el perfil

Horizonte/Profundidad (cm)	pH (H ₂ O)	Ca (cmol _c kg ⁻¹)	Mg (cmol _c kg ⁻¹)	K (mg L ⁻¹)	P (mg L ⁻¹)	Saturación de bases (%)	CICe (cmol _c kg ⁻¹)
A ₁ (v)/0-22	5,90	34,00	6,50	61,30	1,00	99,75	40,76
A ₂ (v)/22-36	6,30	27,90	7,40	38,20	1,00	99,72	35,50
C ₁ g/36-59	5,40	22,40	9,50	46,60	0,00	92,49	34,62
C ₂ g/59-112	5,80	37,20	17,20	30,60	0,00	98,73	55,18

CICe: Capacidad de intercambio catiónico efectiva

Es de destacar que los valores de pH se encontraban en el rango aceptable para la mayoría de los cultivos (entre 5,6 y 8,4). En este contexto, la evaluación del pH del suelo suele ser crucial, pues se asocia a la disponibilidad de nutrientes para las plantas y a la toxicidad por aluminio en la solución del suelo ⁽¹⁹⁾. En otros estudios de caracterización de suelos se ha planteado que los suelos ácidos presentan contenidos de bases intercambiables medios a bajos, P aprovechable bajo, saturación de Al de media a alta y CIC media y, generalmente, suelen tener limitada la solubilidad del Ca, Mg y K ⁽¹⁸⁾; sin embargo, en la Finca “El Mamey” no ocurrió este comportamiento. Es posible que la elevada disponibilidad de Ca y Mg se deba a los procesos y factores de formación que han incidido en esta área. Es conocido que las arcillas 2:1, grupo de la montmorillonita producen

capacidad de intercambio catiónico alta, lo cual está de acuerdo con los resultados del análisis químico hecho para este suelo, notándose un alto contenido de cationes intercambiables y, además, es elevado el porcentaje de saturación por bases ^(15,21,22).

En la Tabla 4 se observan las relaciones internutrientes calculadas para los diferentes horizontes identificados en el perfil de suelo. La relación Ca/Mg fue normal en todas las profundidades; sin embargo, las relaciones Ca/K; (Ca+Mg)/K; K/Mg y Mg/K estuvieron fuera de rango. Por su parte, la relación K/CICe fue baja, pero las relaciones Mg/CICe y Ca/CICe fueron altas. Esto quiere decir que, aunque la absorción de Ca y Mg por las plantas en este suelo debe ser adecuada, estos elementos deben estar bloqueando la absorción de K y, a su vez, este último elemento no debe ser predominante en la solución del suelo.

Tabla 4. Relaciones internutrientes de los cuatro horizontes identificados en el perfil

Horizonte/ Profundidad (cm)	Ca/Mg	Ca/K	(Ca+Mg)/K	K/Mg	Mg/K	K/CICe	Mg/CICe	Ca/CICe
A ₁ (v)/0-22	5,23	216,56	257,96	0,02	41,40	0,39	15,95	83,42
A ₂ (v)/22-36	3,77	284,69	360,20	0,01	75,51	0,28	20,85	78,60
C ₁ g/36-59	2,36	188,24	268,07	0,01	79,83	0,34	27,44	64,70
C ₂ g/59-112	2,16	476,92	679,44	0,00	220,51	0,14	31,17	67,42

CICe: Capacidad de intercambio catiónico efectiva

Este comportamiento indica que no se está cumpliendo la ley del equilibrio internutrientes en el suelo y que se hace necesario corregir este desequilibrio si se quiere lograr una adecuada nutrición de las plantas. Además, se manifiesta el predominio de los cationes Ca²⁺ y Mg²⁺ en el complejo de cambio, lo cual es común en suelos con arcilla montmorillonita ^(21,23).

En la Tabla 5 se presentan la concentración de microelementos y Al cambiables presentes en el perfil del suelo. Las concentraciones de Mn y Zn fueron medias en el primer horizonte y bajas en el resto. El Fe fue bajo en todo el horizonte y el Cu bajo en la primera profundidad y media en el resto. El contenido de Al cambiable fue bajo desde 0 a 36 cm de profundidad, alto de 36 a 59 cm y medio desde los 59 y hasta los 112 cm. La saturación al Al fue baja en todo el perfil.

Tabla 5. Concentración de micronutrientes y aluminio cambiante de los cuatro horizontes identificados en el perfil

Horizonte/Profundidad (cm)	Mn	Fe (mg L ⁻¹)	Zn	Cu	Al (cmol _c kg ⁻¹)	Saturación al Al (%)
A ₁ (v)/0-22	37,20	14,20	7,00	1,90	0,10	0,25
A ₂ (v)/22-36	7,70	7,80	1,70	2,10	0,10	0,28
C _{1g} /36-59	7,50	11,40	1,20	3,20	2,60	7,51
C _{2g} /59-112	6,70	13,40	1,00	2,70	0,70	1,27

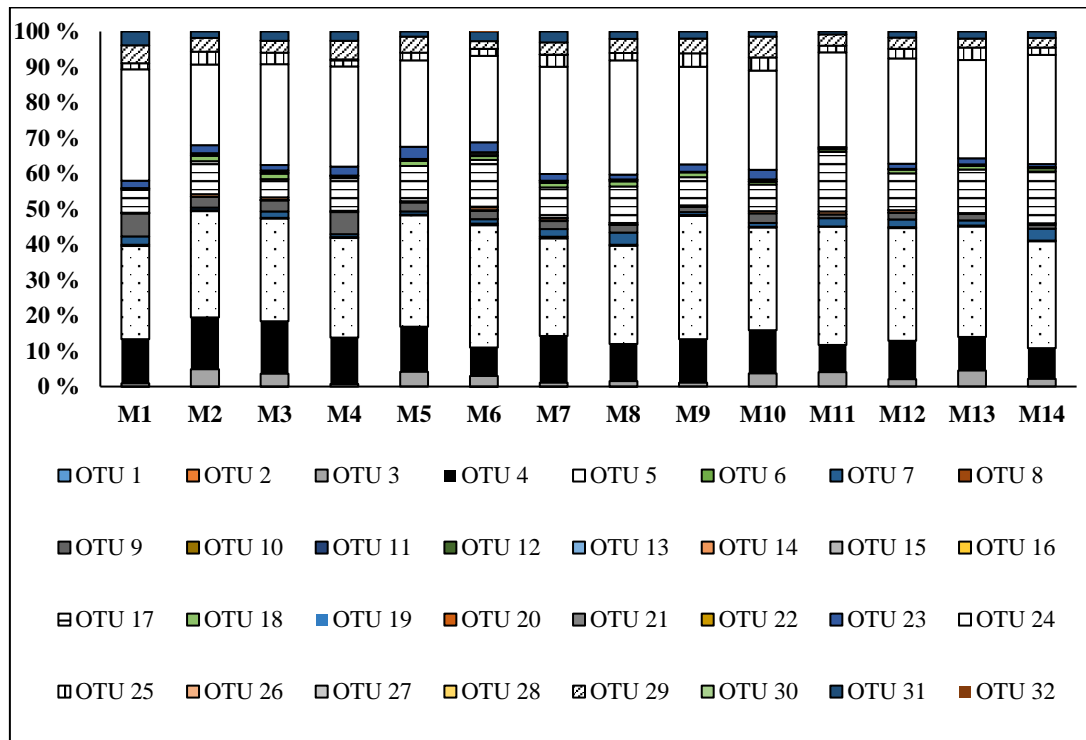
Es importante señalar que las concentraciones naturales de microelementos en el suelo dependen, fundamentalmente, del material de origen, los procesos de formación y la composición y proporción de los componentes en la fase sólida. Otros factores son el porcentaje y tipo de arcilla, contenido de materia orgánica y propiedades físico-químicas ⁽²⁴⁾. Coincidiendo con estos autores se ha planteado que en suelos con capacidad de intercambio catiónico elevada y con presencia de arcillas del grupo de la montmorillonita, es mayor la cantidad de los microelementos Fe, Zn y Cu, que pueden estar presentes en el suelo ⁽¹⁴⁾.

Además, el pH ha sido una de las propiedades del suelo más estudiadas, en relación con la disponibilidad de microelementos, encontrándose que las concentraciones aumentan, a medida que el pH se hace más ácido ^(23,25). Otro factor que pudo incidir en encontrar estos niveles de microelementos fue la quema del terreno antes de la toma de las muestras de suelo, pues se ha demostrado que el fuego aumenta la disponibilidad de micronutrientes en el suelo ⁽²⁰⁾.

A pesar de lo anterior, se puede considerar que las concentraciones de los microelementos y el Al encontrados en el suelo no representan niveles de fitotoxicidad para los cultivos a establecerse; no obstante, es necesario mantener un monitoreo de los mismos, cuidando que no se incrementen sus concentraciones hasta niveles por encima de los permisibles a nivel internacional.

Propiedades microbiológicas

En la Figura 1 se observa la abundancia relativa de filos de Bacterias y Arqueas encontradas en el suelo de la finca “El Mamey”. Los más abundantes fueron los filos Actinobacteria, Proteobacteria, Firmicutes y Acidobacteria, todos del dominio Bacteria. Los demás filos encontrados de los dominios Bacteria y Arquea presentaron una abundancia relativa menor.



OTU 1	Archaea;Crenarchaeota
OTU 2	Archaea;Euryarchaeota
OTU 3	Archaea;Thaumarchaeota
OTU 4	Bacteria;Acidobacteria
OTU 5	Bacteria;Actinobacteria
OTU 6	Bacteria;Armatimonadetes
OTU 7	Bacteria;Bacteroidetes
OTU 8	Bacteria;Calditrichaeota
OTU 9	Bacteria;Chloroflexi
OTU 10	Bacteria;Cyanobacteria
OTU 11	Bacteria;Dadabacteria
OTU 12	Bacteria;Dependentiae
OTU 13	Bacteria;Elusimicrobia
OTU 14	Bacteria;Enttheonellaeota
OTU 15	Bacteria;Epsilonbacteraeota
OTU 16	Bacteria;Fibrobacteres

OTU 17	Bacteria;Firmicutes
OTU 18	Bacteria;Gemmatimonadetes
OTU 19	Bacteria;Kiritimatiellaeota
OTU 20	Bacteria;Latescibacteria
OTU 21	Bacteria;Nitrospirae
OTU 22	Bacteria;Patescibacteria
OTU 23	Bacteria;Planctomycetes
OTU 24	Bacteria;Proteobacteria
OTU 25	Bacteria;Rokubacteria
OTU 26	Bacteria;Schekmanbacteria
OTU 27	Bacteria;Spirochaetes
OTU 28	Bacteria;Synergistetes
OTU 29	Bacteria;Verrucomicrobia
OTU 30	Bacteria;Zixibacteria
OTU 31	Bacteria
OTU 32	Desconocido

Figura 1. Abundancia relativa de filos de Bacterias y Arqueas en la finca El Mamey

En la Figura 2 se observa la abundancia relativa de filos de hongos encontrados en los primeros 20 cm del suelo de la finca en estudio. En todas las muestras se observó el predominio del filo Ascomycota, seguido de Basidiomycota y Rozellomycota.

Respecto a este resultado, aunque los estudios de metagenómica revelan la enorme diversidad de microorganismos en el suelo y la heterogeneidad de su distribución, la mayoría de las secuencias encontradas pertenecen a unos pocos filos dominantes,

encontrándose un gran número de filos con cantidades muy bajas de secuencias, ya fueran de los dominios Bacterias y Arqueas o el Reino Hongos. Es de destacar; además, la gran diversidad de filos de Bacterias encontrados respecto a la de los hongos y la baja abundancia relativa del filo Glomeromycota.

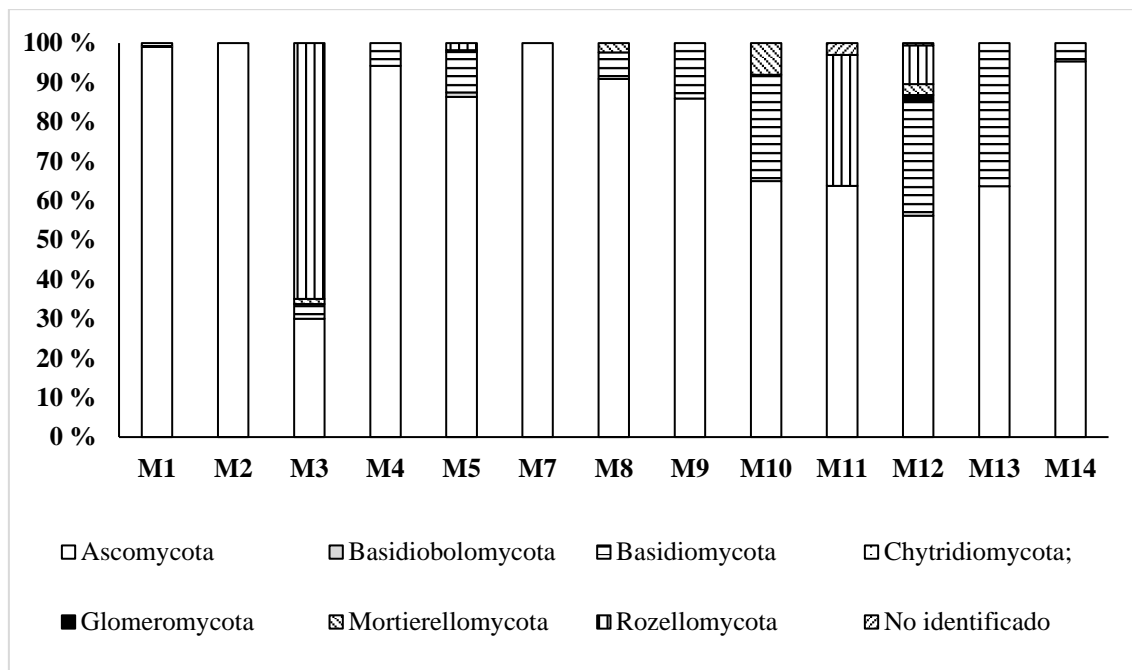


Figura 2. Abundancia relativa de filos de hongos en el suelo (0-20 cm) de la finca “El Mamey”

En particular, los cebadores utilizados para estudiar las bacterias y arqueas fueron diseñados y empleados satisfactoriamente para trabajos realizados con muestras de diferente procedencia, como heces, suelo, agua, sedimento marino, entre otros, en las que se constató la presencia de una elevada diversidad, tanto α como β de órdenes y géneros de los grupos pesquisados ^(13,26).

En cambio, el análisis de las poblaciones de hongos presentes en los suelos es más complicado. Varios estudios han reportado diferencias en los resultados en cuanto a la proporción de los distintos grupos fúngicos, a nivel de filo, orden, género y especie, dependientes del uso de diversas combinaciones de cebadores e incluso a la región secuenciada ⁽²⁷⁻³⁰⁾.

De hecho, se ha señalado que el cebador usado aquí para su estudio ITS4A amplifica preferencialmente los ascomicetos ^(31,32), lo cual concuerda con los resultados, siendo el grupo más abundante. Otro ejemplo lo constituye el estudio realizado en fincas de olivo (*Olea europaea* L.) con el uso de cebadores que amplifican hongos Glomeromycota,

donde contradictoriamente se reportó un 89,8 % de secuencias pertenecientes a organismos de naturaleza no fúngica ⁽³³⁾.

Respecto a las variaciones de las poblaciones de microorganismos entre las muestras, estas dependen directamente de la disponibilidad de nutrientes en el suelo, que emplean como sustrato y esta disponibilidad no suele ser uniforme en el espacio ni en el tiempo. La diversidad de plantas aumenta la diversidad taxonómica y funcional de la comunidad de microorganismos del suelo. Esto se debe a que diferentes plantas generan diferentes residuos orgánicos, lo que resulta en una base alimentaria diversificada ⁽³⁴⁾. En este caso, aunque anteriormente el suelo estaba cubierto de una especie de pasto, esta no era la única planta presente en el sitio antes del fuego y la posterior preparación del terreno.

En relación a este tipo de manejo, fuego antes de la preparación del terreno, otros autores ya han señalado que el fuego tiene influencia directa e indirecta, a corto y largo plazo, sobre la biomasa de los microorganismos del suelo y sus servicios ecosistémicos. La afectación directa se debe a que las altas temperaturas causan mortalidad y las afectaciones indirectas están relacionadas en los cambios en las propiedades del suelo: calidad del sustrato, concentración de nutrientes y humedad del mismo. Respecto a las poblaciones fúngicas, el fuego estimula las poblaciones de hongos del filo Ascomycota y disminuye hasta en un 14 % la riqueza de especies de HMA ⁽²⁰⁾.

No obstante, los resultados de este trabajo, es necesario señalar que la abundancia relativa es una categoría de la diversidad de especies y pretende incluir la riqueza de especies y la uniformidad de su distribución en una expresión sencilla y que la mayor abundancia de morfotipos y géneros corresponde a estudios realizados en ecosistemas naturales, lo cual indica mayor diversidad de microorganismos en comparación con los agroecosistemas ^(34,35).

Al respecto, las comunidades microbianas de bosques protegidos son diferentes de los parches de monte adyacentes a los campos productivos y estos microbiomas se van modificando a lo largo de los años de uso agrícola. Esta modificación no ocurre a nivel de una pérdida de diversidad, sino a través de la modificación de las abundancias relativas de varios grupos microbianos, especialmente los menos numerosos ⁽³⁾.

Sin embargo, a pesar de la cantidad de información que generan las metodologías de secuenciación masiva de ADN, para entender el funcionamiento y la dinámica de los sistemas microbianos, las técnicas nuevas se deben complementar con otras determinaciones físico-químicas más tradicionales y con técnicas microbiológicas que sirven para evaluar los cambios funcionales para entender el comportamiento de la comunidad microbiana en relación a los factores bióticos y abióticos de su ambiente ⁽³⁾.

CONCLUSIONES

- Los resultados indican que es un suelo conservado, en el que las principales limitantes para su uso agrícola son la alta retención de humedad, el bajo contenido de materia orgánica y el desequilibrio en casi todas las relaciones internutrientes evaluadas.
- Es posible proceder a realizar las labores agrícolas, siempre y cuando se realicen las correcciones necesarias para lograr la adecuada nutrición de las plantas.
- Es necesario continuar el chequeo en el tiempo de las propiedades estudiadas, debido a que el mantenimiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo, son aspectos relevantes para evitar la degradación y la erosión del mismo, al ser transformado de un área bajo pastoreo a un área destinada a cultivos agrícolas.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Sistema Nacional de Investigación de Panamá (SNI-SENACYT) por el apoyo para la obtención de los datos de la composición de comunidades de microorganismos presentados.

BIBLIOGRAFÍA

1. Serrano-Montero DO, González-Paneque OS, de la Rosa-Andino AA, Aguilera-Corrales Y, Ramírez-Chávez RE. Estrategia de manejo y conservación del suelo en áreas de producción agrícola. Revista Ingeniería Agrícola [Internet]. 2017;7(1):41–8. Available from: <https://www.rcta.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/download/512/513>
2. John-Louis CM, Vantour-Causse A, Tamayo-Sierra AA. Estado de la fertilidad química de los suelos ferralíticos rojos de la granja Los Pinos. Revista Ingeniería Agrícola [Internet]. 2017;7(3):17–22. Available from: <https://www.rcta.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/download/767/769>
3. Soria MA. ¿ Por qué son importantes los microorganismos del suelo para la agricultura? Química Viva [Internet]. 2016;15(2):3–10. Available from: <https://www.redalyc.org/pdf/863/86347590002.pdf>
4. Vera Macías L, Jiménez A, Gallo F, Guzmán Cedeño A, Cedeño A. Manual para la cartografía de suelos y la descripción de perfiles de suelos [Internet]. 1st ed. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí. Calceta, Manabí. Ecuador: Editorial

- Humus; 2017. 76 p. Available from: https://www.researchgate.net/publication/330968626_MANUAL_PARA_LA_CARTOGRAFIA_DE_SUELOS_Y_LA_DESCRIPCION_DE_PERFILES_DE_SUELOS_Adaptado_a_las_caracteristicas_de_los_suelos_de_la_parte_centro_norte_de_Manabi
5. Color (Firm) M. Munsell soil color charts [Internet]. 1992 rev. ed. New York: Macbeth, Division of Kollmorgen Instruments Corp., Munsell Color; 1992. 1 v. (loose-leaf): Available from: https://openlibrary.org/works/OL219096W/Munsell_soil_color_charts
 6. Hernández-Jiménez A, Pérez-Jiménez JM, Bosch-Infante D, Speck NC. Clasificación Genética de Los Suelos de Cuba. Nueva Versión. 1st edición. Vol. 40. EDICIONES INCA; 2015. 93 p.
 7. WRB IWG. World reference base for soil resources 2014 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. FAO [Internet]. 2015; Available from: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC91947>
 8. USDA, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos Servicio de Conservación de Recursos Naturales. Claves para la taxonomía de suelos [Internet]. 2014 [cited 24/08/2021]. 410 p. Available from: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051546.pdf
 9. Hernández JL. Métodos para el análisis físico de los suelos. Manual de laboratorio. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). Ediciones INCA. La Habana, Cuba [Internet]. 2007; Available from: <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/2914254>
 10. Mesías-Gallo FW, Hernández-Jiménez A, Vera-Macías LR, Guzmán-Cedeño ÁM, Cedeño-Sacón ÁF, Ormaza-Cedeño KP, et al. Reservas de carbono orgánico en suelos de la llanura fluvial Calceta-Tosagua, Manabí, Ecuador. Cultivos Tropicales [Internet]. 2018 [cited 24/08/2021];39(4):27–33. Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0258-59362018000400004&lng=es&nrm=iso&tlng=pt
 11. Villarreal-Núñez JE, Name-Tuñón B, García-Espino RA. Monitoreo de cambios en la fertilidad de suelos por medio de análisis de laboratorio. Agronomía Mesoamericana [Internet]. 2012 [cited 24/08/2021];23(2):301–9. Available from: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1659-13212012000200009&lng=en&nrm=iso&tlng=es

12. Chávez AR. Comparación de dos métodos de determinación de la capacidad de intercambio catiónico en suelos de la región central de Honduras. Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2015. [Internet]. 2015; Available from: <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/4564>
13. Caporaso J, Lauber C, Walters W, Berg-Lyons D, Huntley J, Fierer N, et al. Ultra-high-throughput microbial community analysis on the Illumina HiSeq and MiSeq platforms. *The ISME Journal*. 2012;6:1621–4. doi:10.1038/ismej.2012.8
14. Yáñez Díaz MI, Cantú Silva I, González Rodríguez H, Yáñez Díaz MI, Cantú Silva I, González Rodríguez H. Efecto del cambio de uso de suelo en las propiedades químicas de un vertisol. *Terra Latinoamericana* [Internet]. 2018 [cited 24/08/2021];36(4):369–79. doi:10.28940/terra.v36i4.349
15. Socarrás Armenteros Y, Hernández Jiménez A, Terry Alfonso E, González Cañizares PJ, Sánchez Iznaga ÁL, Delgado Cabrera O, et al. Cambios en las propiedades morfológicas de suelos pardos sialíticos sometidos a diferentes manejos agrícolas en Cuba. *Idesia (Arica)* [Internet]. 2019 [cited 24/08/2021];37(3):47–53. doi:10.4067/S0718-34292019000300047
16. Hernández-Jiménez A, Pérez-Jiménez JM, Bosch-Infante D, Speck NC. La clasificación de suelos de Cuba: énfasis en la versión de 2015. *Cultivos Tropicales* [Internet]. 2019;40(1). Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362019000100015&script=sci_arttext&tlng=pt
17. Bryk M, Kołodziej B, Słowińska-Jurkiewicz A, Jaroszek-Sierocińska M. Evaluation of soil structure and physical properties influenced by weather conditions during autumn-winter-spring season. *Soil and Tillage Research* [Internet]. 2017;170:66–76. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198717300545>
18. Calderón-Medina CL, Bautista-Mantilla GP, Rojas-González S. Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta. *Orinoquia* [Internet]. 2018;22(2):141–57. Available from: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/896/89660465002/89660465002.pdf>
19. Guzmán G, Cabezas JM, Sánchez-Cuesta R, Lora Á, Bauer T, Strauss P, et al. A field evaluation of the impact of temporary cover crops on soil properties and vegetation communities in southern Spain vineyards. *Agriculture, Ecosystems &*

- Environment [Internet]. 2019 [cited 24/08/2021];272:135–45. doi:10.1016/j.agee.2018.11.010
20. Singh AK, Kushwaha M, Rai A, Singh N. Changes in soil microbial response across year following a wildfire in tropical dry forest. *For. Ecol. Manag.* 391: 458–468 [Internet]. 2017. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112716306399>
21. Bossi J, Celio A, Mármol S. Formación Libertad: su reformulación. *Agrociencia (Uruguay)* [Internet]. 2016 [cited 24/08/2021];20(1):36–44. Available from: http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2301-15482016000100006&lng=es&nrm=iso&tlng=pt
22. Solís FAM, Tejeira R. Determinación mineralógica de la fracción arcilla en suelos de importancia agrícolas de la República de Panamá. *Investigaciones agropecuarias* [Internet]. 2019 [cited 24/08/2021];2(1):34–48. Available from: https://www.revistas.up.ac.pa/index.php/investigaciones_agropecuarias/article/view/1064
23. del Carmen Blanco M, LETISIA DÍAZ S, MABEL AMIOTTI N. GEODISPONIBILIDAD DE Co, Cr, Fe, Mo, Ni y Zn EN LA CUENCA A° EL DIVISORIO. *Ciencia del suelo* [Internet]. 2017;35(1). Available from: <http://www.suelos.org.ar/publicaciones/volumen3512017/161-170%20p%C3%A1gs%20CS%20433%20Blanco%20imprensa%20agost%2011.pdf>
24. Martínez Robaina A, González JM, Sobrinho N, ODIO M. Concentraciones y disponibilidad de metales pesados en suelos destinados al cultivo del tabaco localizados en la llanura sur de Pinar del Río-Cuba. 2020. doi:10.29327/ivsimposioabc.238141
25. Huang J, Yuan F, Zeng G, Li X, Gu Y, Shi L, et al. Influence of pH on heavy metal speciation and removal from wastewater using micellar-enhanced ultrafiltration. *Chemosphere* [Internet]. 2017 [cited 24/08/2021];173:199–206. doi:10.1016/j.chemosphere.2016.12.137
26. Caporaso JG, Lauber CL, Walters WA, Berg-Lyons D, Lozupone CA, Turnbaugh PJ, et al. Global patterns of 16S rRNA diversity at a depth of millions of sequences per sample. *Proceedings of the National Academy of Sciences* [Internet]. 2011 [cited 24/08/2021];108(Supplement 1):4516–22. doi:10.1073/pnas.1000080107
27. Lumini E, Orgiazzi A, Borriello R, Bonfante P, Bianciotto V. Disclosing arbuscular mycorrhizal fungal biodiversity in soil through a land-use gradient using a

- pyrosequencing approach. *Environmental Microbiology* [Internet]. 2010 [cited 24/08/2021];12(8):2165–79. doi:10.1111/j.1462-2920.2009.02099.x
28. Kohout P, Sudová R, Janoušková M, Čtvrtlíková M, Hejda M, Pánková H, et al. Comparison of commonly used primer sets for evaluating arbuscular mycorrhizal fungal communities: Is there a universal solution? *Soil Biology and Biochemistry* [Internet]. 2014 [cited 24/08/2021];68:482–93. doi:10.1016/j.soilbio.2013.08.027
 29. Van Geel M, Busschaert P, Honnay O, Lievens B. Evaluation of six primer pairs targeting the nuclear rRNA operon for characterization of arbuscular mycorrhizal fungal (AMF) communities using 454 pyrosequencing. *Journal of Microbiological Methods* [Internet]. 2014 [cited 24/08/2021];106:93–100. doi:10.1016/j.mimet.2014.08.006
 30. Berruti A, Desirò A, Visentin S, Zecca O, Bonfante P. ITS fungal barcoding primers versus 18S AMF-specific primers reveal similar AMF-based diversity patterns in roots and soils of three mountain vineyards. *Environmental Microbiology Reports* [Internet]. 2017 [cited 24/08/2021];9(5):658–67. doi:10.1111/1758-2229.12574
 31. Larena I, Salazar O, González V, Julián MC, Rubio V. Design of a primer for ribosomal DNA internal transcribed spacer with enhanced specificity for ascomycetes. *Journal of Biotechnology* [Internet]. 1999 [cited 24/08/2021];75(2):187–94. doi:10.1016/S0168-1656(99)00154-6
 32. Nikolcheva LG, Bärlocher F. Taxon-specific fungal primers reveal unexpectedly high diversity during leaf decomposition in a stream. *Mycological Progress* [Internet]. 2004 [cited 24/08/2021];3(1):41–9. doi:10.1007/s11557-006-0075-y
 33. Montes-Borrego M, Metsis M, Landa BB. Arbuscular Mycorrhizal Fungi Associated with the Olive Crop across the Andalusian Landscape: Factors Driving Community Differentiation. *PLOS ONE* [Internet]. 2014 [cited 24/08/2021];9(5):e96397. doi:10.1371/journal.pone.0096397
 34. Dias L a. F, Lopes I de ON, Cattelan AJ, Debiassi H, Sibaldelli RNR, Kosinsk CL, et al. Sistemas de cultivo utilizados na cultura da soja e efeito sobre a comunidade microbiana do solo. 2018 [cited 24/08/2021]; Available from: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1100651>
 35. Furrázola E, Torres-Arias Y, Hernández-Prado R, Coronill YG. Hongos micorrizógenos arbusculares (Glomeromycota) en suelos agrícolas de la provincia Artemisa, Cuba. *Acta Botánica Cubana* [Internet]. 2019;218(1):34–43. Available

from: https://www.researchgate.net/profile/Eduardo-Furrazola-Gomez-2/publication/333677432_Hongos_micorrizogenos_arbusculares_Glomeromycota_en_suelos_agricolas_de_la_provincia_Artemisa_Cuba_Arbuscular_mycorrhizal_fungi_Glomeromycota_in_agricultural_soils_of_Artemisa_province_Cuba/links/5cfea432a6fdccd13091be47/Hongos-micorrizogenos-arbusculares-Glomeromycota-en-suelos-agricolas-de-la-provincia-Artemisa-Cuba-Arbuscular-mycorrhizal-fungi-Glomeromycota-in-agricultural-soils-of-Artemisa-province-Cuba.pdf