



COMPORTAMIENTO DE LA MICROBIOTA DE UN SUELO FERRALÍTICO ROJO LIXIVIADO AGROGÉNICO DE BAJA FERTILIDAD

Behavior of the microbiota of a Red Ferralitic Lixiviated agrogenic soil of low fertility

Marisel Ortega García^{1*}, **Marisol Morales Díaz²**, **Bernardo Dibut Álvarez³**, **Yoania Ríos Rocafull⁴**

¹Departamento de Recursos Microbianos y Productos Bioactivos del Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt", (INIFAT). Calle 188 #38754 e/ 397 y Linderos, Santiago de las Vegas, Boyeros. La Habana, Cuba. Email: dir_cientifica@inifat.co.cu, mariselortega9@gmail.com

²Departamento de Recursos Fitogenéticos y Semillas del Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt", (INIFAT). Cuba. Email: agroecosistemas@inifat.co.cu

³Departamento de Recursos Microbianos y Productos Bioactivos del Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt", (INIFAT). Cuba. Email: biofertilizantes@inifat.co.cu

⁴Departamento de Recursos Microbianos y Productos Bioactivos del Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt", (INIFAT). Cuba. Email: dpagrobiotec@inifat.co.cu

RESUMEN: El estudio de la microbiota del suelo tiene entre sus objetivos evaluar la diversidad microbiana existente en el mismo como aspecto importante a tener en cuenta respecto a su fertilidad. Sin embargo, existen pocos trabajos que evalúen el efecto que la misma puede ejercer sobre los agroecosistemas con énfasis en los que muestran baja fertilidad. En Cuba el manejo adecuado de los mismos constituye una necesidad para alcanzar buenos resultados productivos. En este trabajo se determinó la concentración como grupos funcionales (solubilizadores de fósforo y fijadores de nitrógeno atmosférico) y como estructurales (actinomicetos, hongos, levaduras y bacterias heterótrofas totales), en un suelo Ferralítico Rojo Lixiviado agrogénico de baja fertilidad en áreas agrícolas del INIFAT y se comparó con una zona boscosa de la propia institución; para lo que se empleó la siembra directa en placas de Petri con medios de cultivo seleccionados y el conteo de Unidades Formadoras de Colonias (UFC) en medios selectivos. Se demostró que el número total de microorganismos fijadores de nitrógeno y solubilizadores de fósforo oscilaron entre $1,2$ y $1,6 \times 10^4$ UFC.g⁻¹ respectivamente. El número total de microorganismos, de hongos, levaduras y actinomicetos mostraron variaciones entre ellos. Se apreció además las diferencias entre los diferentes grupos funcionales de microorganismos del suelo estudiados comparados con uno de buenas condiciones (zona boscosa), lo que puede deberse entre otros aspectos al nivel de sobreexplotación y malas prácticas agrícolas a que han sido sometidos. Investigaciones de este tipo son importantes pues la microbiología de los suelos constituye un aspecto imprescindible para valorar una adecuada explotación del mismo, teniendo en cuenta las funciones que realizan los microorganismos y su importancia como indicador de fertilidad. Los resultados demostraron la necesidad de ejecutar acciones que eleven los niveles de materia orgánica en los suelos y disminuyan las afectaciones a la microbiota resistente.

Palabras clave: efecto, concentraciones, microorganismos, diversidad, funciones.

* Correspondencia a: dir_cientifica@inifat.co.cu, mariselortega9@gmail.com

Recibido: 15/05/2024

Aceptado: 30/07/2024

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Contribución de autores: Marisel Ortega García: **Conceptualización. Curación de datos. Investigación. Metodología. Escritura - borrador inicial. Escritura- revisión y edición.** Bernardo Dibut Álvarez: **Metodología.** Marisol Morales Díaz: **Supervisión.** Yoania Ríos Rocafull: **Curación de datos.**



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



ABSTRACT: The study of the microbiota of the soil has among its objectives to evaluate the existent microbial diversity in the soil like important aspect to keep in mind the fertility of them. However, there are few works that evaluate the effect that microbiota can exercise on the agroecosystems with emphasis in those that show low fertility. In Cuba, the appropriate handling of soils constitutes a necessity to reach good productive results. In this work it was determined the concentration like functional groups (match solubilizer and fixers of atmospheric nitrogen) and as structural (actinomycetes, mushrooms, yeasts and bacteria total heterotrophs), in a soil Red Ferralitic Lixiviated agrogenic of low fertility in agricultural areas of the INIFAT, and it was compared with a forest area of the own institution. For that purpose the soil solution was inoculated on Petri dishes with selective culture media, and were counted and the Colonies Forming Units (UFC). It was demonstrated that the total number of nitrogen-fixing microorganisms and match solubilizers oscillated respectively between $1,2$ and $1,6 \times 10^4$ UFC.g⁻¹. The total number of microorganisms, of mushrooms, yeasts and actinomycetes showed variations among them. It was also appreciated differences among the distinct functional groups of microorganisms of the studied soil compared with a soil good conditions (a forest area), what can be due among other aspects at the exploitation level and bad practical agricultural to that these soil have been subjected. Works of this type are important because the microbiology of the soil constitutes an indispensable aspect to value in the soil an appropriate exploitation, keeping in mind the functions they carry out the microorganisms and its importance like indicator of fertility. The results demonstrated the necessity to execute actions that elevate the levels of organic matter in the soils and diminish the affectations to the resistant microbiota.

Key words: effects, concentrations, microorganism, diversity, functions.

INTRODUCCIÓN

El recurso suelo, se considera el pilar más importante para hacer frente al reto de la seguridad alimentaria, ya que cerca del 95 % de los alimentos se produce directa o indirectamente en ellos. Por otra parte, el mismo es de vital importancia para la biodiversidad, ya que es de los ecosistemas más complejos de la naturaleza y uno de los hábitats más variados del planeta, pues alberga infinidad de organismos que interactúan entre sí y contribuyen a los ciclos globales que hacen posible la vida. Es por ello, que se estima que una cuarta parte de la biodiversidad de nuestro planeta se encuentra en los suelos (FAO, 2016). De la misma forma, los ecosistemas y su biodiversidad tienen sus propias leyes para la supervivencia de las diferentes especies, debe existir una adecuada armonía para su existencia. La interrelación que ocurre entre el suelo, la planta y la atmósfera en la biósfera promueven el desarrollo de las plantas, generando además éstas un 20 % más oxígeno, nitrógeno (N₂), argón (Ar), dióxido de carbono (CO₂) y vapor de agua (H₂O) desde hace unos 400 millones de años (Reichardt y Timm, 2020).

Sin embargo, a nivel mundial las tasas de degradación sugieren que tendremos su capa fértil solamente por 60 años más. Actualmente, la degradación afecta a 1 900 millones de hectáreas en todo el mundo, incrementándose rápidamente a una tasa de 5 a 7 millones de hectáreas por año,

degradación que impacta aproximadamente el 70% de los suelos agrícolas en niveles de moderado a severo. Sin embargo, el suelo es un recurso natural no renovable y la constante presión antropogénica a la que se somete, origina efectos negativos que afectan su equilibrio ecológico (Bedolla et al., 2020).

Una de las principales causas de la degradación de los suelos son las prácticas intensivas utilizadas para la producción agrícola, desde labranza mecánica hasta el uso excesivo y constante de fertilizantes y plaguicidas sintéticos (Khashei et al., 2020). Esta degradación conduce a la disminución de sus propiedades físicas (humedad e intercambio de gases), químicas (pH y capacidad de intercambio catiónico) y biológicas (modificaciones en las comunidades microbianas involucradas en el reciclaje de nutrientes), que conduce al incremento de su densidad aparente, la menor estabilidad de sus agregados, la susceptibilidad a la compactación, la pérdida de la fertilidad (contenido de materia orgánica), la lixiviación de nutrientes, la disminución de la productividad, el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero y la disminución de la captura de carbono y la actividad microbiana (Bedolla et al., 2020).

De los suelos, los Ferralíticos Rojos (Hernández et al., 2015) constituyen el fondo más importante para la producción de alimentos a nivel mundial y son considerados los mejores agroecosistemas

del planeta (Hernández *et al.*, 2020). En Cuba, estos ocupan, actualmente, alrededor de 700 000 ha y han sido tradicionalmente los más utilizados para la producción de alimentos, por su alta productividad y el potencial que representan para la captura de carbono. Todo esto ha conllevado a que en su mayoría muestren síntomas de degradación, donde se destaca su alta compactación y la disminución de los niveles de materia orgánica, aspecto que impacta negativamente en su productividad, aunque es importante destacar que diferentes autores refieren que los mismos responden positivamente frente a manejos integrales adecuados (Rosabal *et al.*, 2021).

En el manejo de los suelos, se incluye la evaluación de la diversidad de los microorganismos que en él viven, que incluye más de 105 especies, responsables de realizar entre el 80-90 % de los procesos que ocurren en éstos, lo cual es un componente importante para el mantenimiento de la fertilidad del suelo (Guzmán y Montero, 2021).

Estos microorganismos se encuentran en su mayoría en la rizósfera, zona del suelo rodeada e influenciada por las raíces de las especies vegetales, de la rizósfera se describe que el microbioma juega un rol importante en el crecimiento, nutrición y salud de las plantas; constituyen la base de la cadena alimentaria al movilizar compuestos elementales en la biosfera entre los que se encuentran el nitrógeno (N_2) y el fósforo (P) (García y Picone, 2021).

No obstante, solo entre el 1-10 % de estas comunidades microbianas existentes en el suelo han podido ser cultivadas, por lo que el estudio de las mismas permitirá evaluar el impacto que ejercen sobre las actividades antropogénicas y naturales que ocurren en éste y sobre la diversidad y ecología de los microorganismos edáficos (Louca, *et al.*, 2019).

En trabajos previos, se ha observado que los procesos microbianos son indicadores tempranos de la calidad del suelo y pueden anticipar su estado antes que los parámetros físicos o químicos. Entre estos procesos microbianos, las bacterias fijadoras de nitrógeno, han sido reconocidas como las más sensibles entre los distintos parámetros microbiológicos y bioquímicos que se evalúan (Jansson y Hofmockel, 2020).

La evaluación de los microorganismos del suelo constituye una herramienta necesaria para evaluar la biodiversidad en agroecosistemas

con baja fertilidad y garantizar su conservación, productividad y la obtención de mejores rendimientos. El trabajo tuvo como objetivo cuantificar la concentración de grupos funcionales de microorganismos como indicadores de la productividad de un suelo Ferralítico Rojo Lixiviado agrogénico de baja fertilidad ubicado en áreas agrícolas del INIFAT.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el estudio se seleccionó el agroecosistema ubicado en el Lote 3 del INIFAT. Al mismo se le realizó, a partir de la colecta de muestras, una caracterización física, química y microbiológica mediante los métodos y determinaciones que se presentan a continuación. Para definir el color del suelo se utilizó la Tabla Munsell, el pH mediante el método de Potenciometría (Agua y KCl a una relación suelo: solución de 1:2,5), el contenido de Materia Orgánica en (%) mediante el método de Walkey y Black (1934), utilizando ácido sulfúrico y dicromato de potasio 1N y para definir la Capacidad de Cambio de Bases (CCB) y Capacidad de Cambio Catiónico (CCC) se determinó por Fotometría y adsorción atómica (acetato de amonio 1N (pH 7) (NC-ISO11047 2004); P_2O_5 asimilable: extracción con H_2SO_4 0,1N (método de Oniani); cationes intercambiables por extracción con NH_4Ac 1 mol.L⁻¹ a pH 7 y determinación por fotometría de llama (Na+y K+) y por complejometría (Ca^{2+} y Mg^{2+}).

Para realizar la caracterización microbiológica se tomaron 10 g de suelo a una profundidad de 10 cm, para su posterior dilución en 90 mL de agua destilada estéril. La solución obtenida se inoculó sobre placas de Petri de 90 mm con medios de cultivos selectivos para cada caso. Se utilizó Agar Nutriente, Extracto de Malta (BIOCEN, 2018), Pikovskaya, Asbhy y una formulación para determinar presencia de actinomicetos (Martínez *et al.*, 2007). Posteriormente, se incubaron las placas a 32°C de temperatura, durante 48 horas, para proceder a realizar el conteo de las colonias típicas según las características de los microorganismos en estos medios de cultivo. Se utilizó como patrón para la comparación un área testigo, cercana al bosque de la institución, que se encuentra menos degradada y perturbada por la explotación agrícola. El procesamiento en esta área se realizó de la misma forma que para el Lote 3.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El suelo en estudio se clasificó como Ferralítico Rojo Lixiviado agrogénico (Hernández et al., 2015). Los resultados de su caracterización (Tabla 1) presentó valores bajos de materia orgánica (FAO, 2009), pH ligeramente alcalino, contenido medio de fósforo disponible y altos de K⁺, pero bajo Na⁺ respecto a lo definido por Martínez et al. (2021). Todos estos aspectos denotan la baja fertilidad que presenta.

En cuanto a los resultados alcanzados en los conteos de los microorganismos, la Figura 1 muestra el comportamiento de los fijadores de nitrógeno y solubilizadores de fosfatos en las dos muestras analizadas (Lote 3 y zona cercana al bosque (Testigo). Se puede apreciar que en el Lote 3 prácticamente no se obtuvo crecimiento de estos grupos microbianos, lo que reafirma la baja fertilidad de este ecosistema. El análisis de las poblaciones microbianas presentes en la rizosfera refleja la salud del ecosistema (Khashei et al., 2020).

Las concentraciones microbianas de ambos grupos funcionales (fijadores de nitrógeno y solubilizadores de fósforo) en el suelo estudiado fueron bajas con valores de $1,2 \times 10^4$ UFC.g⁻¹ de suelo y $1,6 \times 10^4$ UFC.g⁻¹ de suelo, respectivamente para esos grupos, comparado con un suelo con buenas condiciones (zona boscosa) el que mostró concentraciones de $2,3 \times 10^5$ UFC.g⁻¹ de suelo y $2,3 \times 10^5$ UFC.g⁻¹ de suelo, para cada caso.

En el suelo deteriorado estas condiciones pueden deberse entre otros aspectos al nivel de sobreexplotación y malas prácticas agrícolas a que han sido sometidos. También se conoce la influencia que puede ejercer en el suelo las sustancias o exudados secretados por las raíces de las plantas las que sirven como fuente energética y pueden llegar a inducir incluso cambios de pH, disponibilidad de sustratos, nutrientes y factores de crecimiento microbiano en la rizósfera lo que permite ajustar de esta manera su dinámica poblacional. Todos estos procesos ocurren producto de las interacciones facilitadas por los exudados que pueden ser colonizados por diferentes especies y géneros que promueven el crecimiento vegetativo (Khashei et al., 2020).

Las investigaciones en la comunidad microbiana debajo y por encima del suelo revelan una gran cantidad de interacciones interesantes dentro de la rizósfera, en extremo complejas, pero de vital importancia para la salud, forma física y crecimiento de las plantas (Khashei et al., 2020).

Más específicamente, Rosabal et al. (2021) describe que las bacterias fijadoras de nitrógeno pueden favorecer el establecimiento de las plantas, aumentar su productividad e incrementar el aprovechamiento de los suelos en términos de agua y nutrientes. Igualmente, incrementan la cantidad de nutrientes a nivel del follaje. Los microorganismos libres fijadores de nitrógeno, contribuyen al mantenimiento

Tabla 1. Propiedades químicas del suelo Ferralítico Rojo Lixiviado agrogénico estudiado

Horizonte	Profundidad (cm)	pH	M.O.(%)	P Asim. ppm	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Suma
Ap	0 - 18	7,3	2,08	209	19,1	4,2	0,11	0,38	23,8
B ₁ tpa	18 - 25	7,2	0,92	94	16,3	3,5	0,12	0,07	20,0
B ₂ t	25 - 50	7,0	0,67	55	14,9	4,5	0,10	0,09	19,6
B ₃ nd	50 - 60	6,9	0,53	23	15,7	3,9	0,10	0,15	19,9
Cgcn	60 - 100	6,8	0,68	21	13,8	3,3	0,10	0,12	17,3

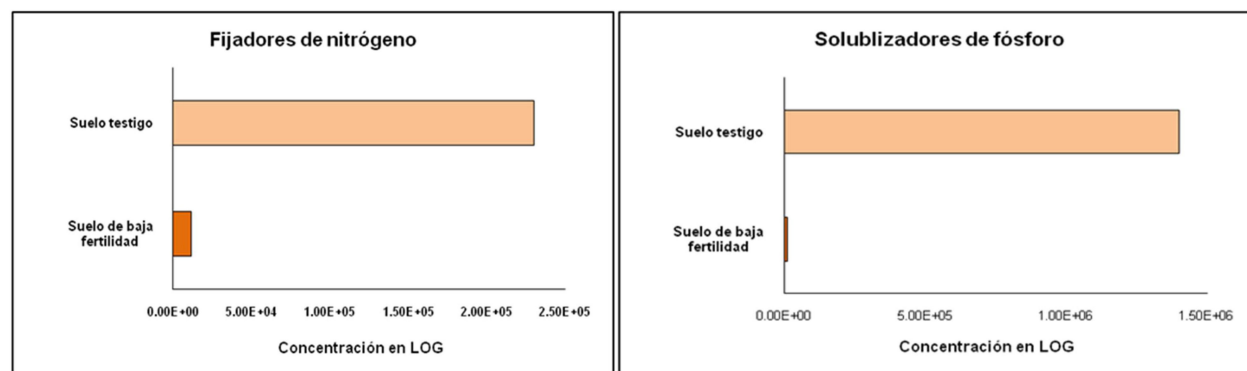


Figura 1. Concentración de microorganismos fijadores de nitrógeno y solubilizadores de fosfato de calcio en muestras de suelo del Lote 3 del INIFAT y de cerca del bosque de la Institución

de la diversidad mediante la influencia que ejercen en la disponibilidad de diferentes fuentes de nitrógeno, tanto orgánico como inorgánico en los suelos. Además, este tipo de diazotófos en su mayoría producen mucílagos que funcionan como bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPB) en un amplio rango de hospederos, lo que le confiere múltiples funciones como son genes marcadores para la desaminasa del ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC), la producción del ácido indolacético (IAA) y la solubilización de PO_4 (Ayangbenro y Babalola, 2021).

De igual forma, el fósforo también juega un rol fundamental, como macronutriente esencial y aunque puede encontrarse en grandes cantidades en los suelos, en la mayoría de los casos, no se encuentra disponible para ser absorbido. Los microorganismos por medio de la solubilización y/o mineralización del P inorgánico y orgánico; ponen a disposición de la planta este elemento a través de la producción de ácidos orgánicos y por medio de la acción enzimática (Cisternas-Jamet *et al.*, 2020).

Algunos de los microorganismos beneficiosos utilizados en la agricultura en todo el mundo incluyen *Rhizobium*, *Pseudomonas*, *Micorrizas*, *Trichoderma*, *Azospirillum*, *Bacillus*, especies de *Streptomyces* y muchos más (Borriss, 2020). Los microorganismos utilizados como fertilizantes microbianos son *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Lactobacillus*, bacterias fotosintéticas, bacterias fijadoras de nitrógeno, hongos de *Trichoderma* y levaduras (Wang *et al.*, 2020). Microorganismos de los géneros *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Aspergillus*

y *Penicillium* tienen la capacidad de solubilizar el fósforo orgánico en el suelo lo que beneficia la absorción de nutrientes por las plantas, entre muchos otros que se emplean para diferentes fines (Rosabal *et al.*, 2021).

Estos resultados se relacionan de alguna manera con el análisis de fijadores y solubilizadores ya que en ambos casos se aprecia que el bosque tiene un orden más para ambos casos, lo que tiene gran importancia ya que se aprecia como el cuidado del suelo puede influir positivamente en el número de estos grupos funcionales de gran importancia el incremento de los cultivos.

Otros grupos de microorganismos como los actinomicetos, los hongos y las levaduras juegan también un papel importante en todos estos procesos. Sin embargo, en el Lote 3 tampoco se detectó una presencia considerable de éstos (Figura 2), lo cual sigue reflejando su deterioro.

Un análisis de sustentabilidad requiere de un conocimiento detallado de las interrelaciones que se presentan entre los microorganismos incorporados (inoculantes) frente a la compleja comunidad microbiana natural que habita ese microambiente (Rojas-Padilla *et al.*, 2020). En este sentido, el mantenimiento de la viabilidad, diversidad de la población y el funcionamiento de las comunidades microbianas del suelo resulta esencial para la agricultura sustentable. Esto se debe a que la fertilidad del mismo no sólo depende de su composición química, sino también de la naturaleza cuantitativa y cualitativa de los microorganismos que habitan en él (Priyadarshane y Das, 2021).

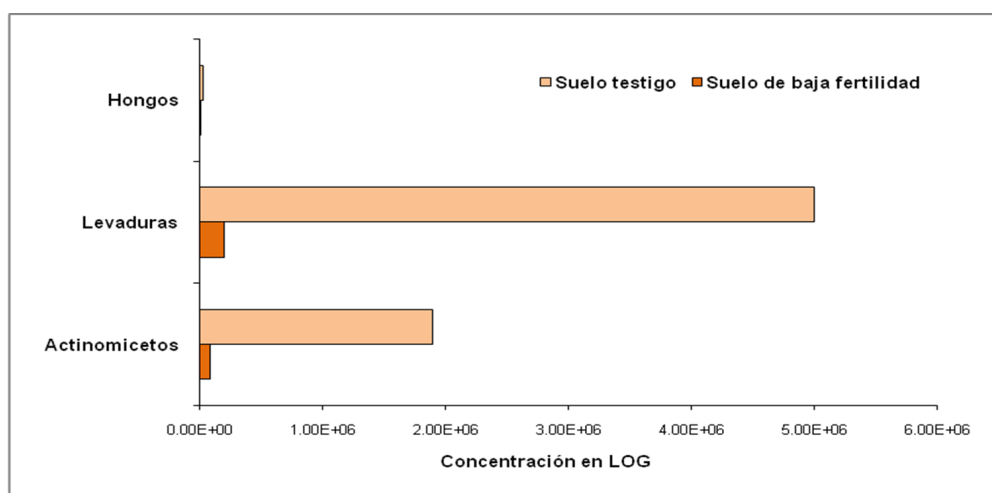


Figura 2. Concentración de actinomicetos, hongos y levaduras en muestras de suelo del Lote 3 del INIFAT y cerca del bosque de la Institución

Los actinomicetos son un grupo muy diverso de bacterias Gram positivas con mayor o menor desarrollo miceliar, heterótrofos aerobios (algunos anaerobios facultativos) que tienden a crecer lentamente formando filamentos. Estos aspectos los distinguen de otros microorganismos y les confiere mayor resistencia a diversas condiciones. Son buenos productores de antibióticos y pueden fijar nitrógeno y solubilizar nutrientes, de ahí que intervienen en la productividad de los sistemas agrícolas (Cisternas-Jamet et al., 2020).

En el caso de los hongos, generalmente se encuentran en concentraciones más bajas. Con respecto a esto, algunos autores plantean que ello puede deberse, entre otras causas, a que son menos exigentes en cuanto a los nutrientes para su sobrevivencia, tienen mayor tamaño, aunque muestran menor abundancia y tienen la biomasa más significativa (Alexander, 1980).

Aunque en los últimos años el estudio de los microorganismos del suelo no ha tenido el seguimiento necesario, se debe tener en cuenta que éstos son capaces de multiplicarse rápidamente y producir grandes poblaciones que pueden tener un impacto en el hábitat donde se encuentren (Tahir et al., 2020). También es importante conocer la estrecha relación entre la formación del humus y la población microbiana, ya que es la encargada de la síntesis de enzimas oxidantes y compuestos fenólicos simples los que se utilizan para llevar a cabo la síntesis

de ácidos húmicos. Los microorganismos benéficos son una alternativa viable para la agricultura orgánica, que permiten proteger el ambiente e incrementar la producción de alimentos de calidad (Rosabal et al., 2021).

En el bosque hay más población de todos los grupos evaluados que oscilan entre $3,0 \times 10^4$ y $5,0 \times 10^7$ UFC.g⁻¹ de suelo con dos órdenes por encima de los valores del Lote 3 el que mostró entre $2,0 \times 10^3$ y $5,6 \times 10^5$ UFC.g⁻¹. Esto puede deberse entre otros aspectos al nivel de sobreexplotación y malas prácticas agrícolas a que han sido sometidos estos suelos.

Autores, como Rosabal et al. (2021), describen la importancia ecológica de las poblaciones microbianas ante los efectos del cambio climático, así como el uso potencial que tienen para contribuir a un manejo sostenible de los agroecosistemas. Aún más, se conoce que los microorganismos del suelo no actúan de manera aislada, se dinamizan mediante múltiples interacciones, las que contribuyen al buen funcionamiento y equilibrio ecológico del sistema edáfico. Las diferentes funciones que realizan los microorganismos en los sistemas agrícolas, están influenciadas por factores bióticos y abióticos; para lo cual han desarrollado una capacidad de adaptación admirable y útil para el diseño de estrategias que permitan mitigar los efectos negativos del cambio climático.

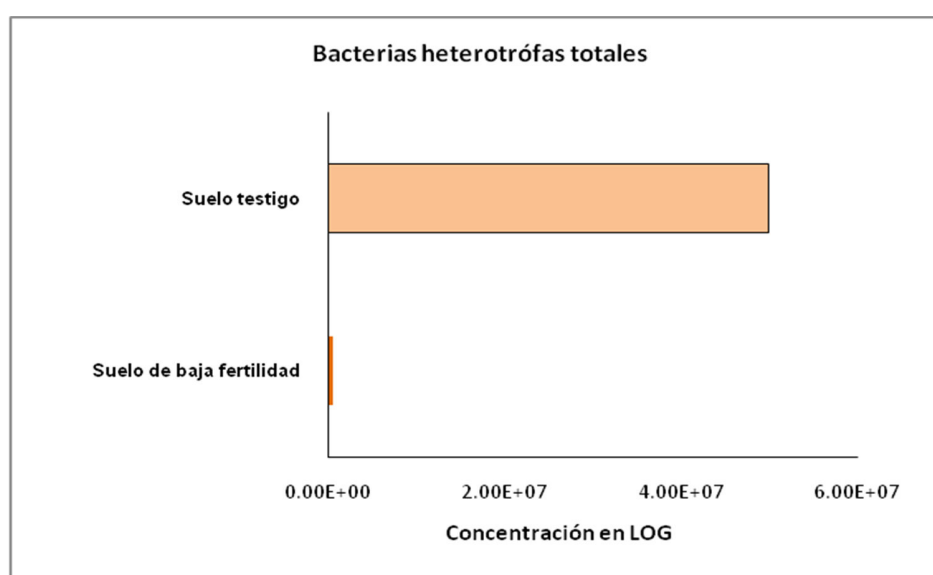


Figura 3. Concentración de bacterias heterótrofas totales expresado en Logaritmo Neperiano en muestras de suelo del Lote 3 del INIFAT y cerca del bosque de la Institución

Por esta razón, conocer cómo mantener la productividad biológica resulta de gran utilidad para evitar y controlar la degradación por la que atraviesan hoy día los suelos, de allí la importancia de realizar evaluaciones periódicas que permitan profundizar en el tema, para valorar el comportamiento de la comunidad microbiana y utilizarla como indicador de un manejo sostenible del suelo y su productividad.

CONCLUSIONES

- El estudio permitió demostrar la importancia de los microorganismos en el suelo y la necesidad de realizar evaluaciones de este tipo, las que pueden ser utilizadas como indicador de fertilidad de los mismos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alexander, M. (1980). Introducción a la Microbiología del suelo. AGT. Editor S.A. México. ISBN 968-462-002.
- Ayangbenro, A. S. y Babalola, O.O. (2021). Reclamation of arid and semi-arid soils: The role of plant growth-promoting archaea and bacteria. *Current Plant Biology*, 25, 100173. <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2020.100173>
- Bedolla, H.I.; Negrete, R.M.L.; Medina, H. M. D.; Gámez, V. F. P.; Álvarez, B. D.; Samaniego, H. M.; Gámez, V. A. J. y Conde, B.E. (2020). Development of a soil quality index for soils under different agricultural management conditions in the Central Lowlands of Mexico: physicochemical, biological and ecophysiological indicators. *Sustainability*. 12 (22): 9754. <https://doi.org/10.3390/su12229754>.
- BIOCEN (2018). Manual de Medios de Cultivo. La Habana. Centro Nacional de Biopreparados. BIOCEN: 80 p.
- Borriss, R. (2020). Phytostimulation and biocontrol by the plant-associated *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42: an update. *Phyto-Microbiome in Stress Regulation* Springer, Singapore. 1-20 pp. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-44409-3-8>
- Cisternas-Jamet, J.; Salvatierra-Martínez, R.; Vega-Gálvez, A.; Stoll, A.; Uribe, E. y Goñi, M. G. (2020). Biochemical composition as a function of fruit maturity stage of bell pepper (*Capsicum annum*) inoculated with *Bacillus amyloliquefaciens*. *Sci. Hortic.* 263:109-107. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109107>.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2009). Guía para la descripción de suelos. 4ta edición en español. Jefe del Servicio de Publicaciones. División de Información. FAO. 99 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2016). Resumen: El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Cambio climático, agricultura y seguridad alimentaria. ISBN 978-92-5-309374-8, Disponible en: <https://openknowledge.fao.org>
- García, F.O.; Picone LI. (2021). Fósforo: Dinámica y manejo en sistemas de siembra directa. (en línea). International Plant Nutrition Institute. 1-9. Disponible en: [http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/40ad1ee26c802f005257a5300510c6d/\\$FILE/Dinamica-fosforo.pdf](http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/40ad1ee26c802f005257a5300510c6d/$FILE/Dinamica-fosforo.pdf)
- Guzmán Duchén, D. y Montero Torres, J. (2021). Interacción de bacterias y plantas en la fijación del nitrógeno. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, La Paz, vol.8, nº2, pág. 87-101. <https://doi.org/10.53287/uyxf4027gf99e>
- Hernández, A.; Morales, M.; Carnero, G.; Hernández, Y.; Terán, Z.; Grandio, D.; Bojórnes, J.I.; Vargas, D.; Bernal, A.; Terry, E.; González, P.J.; Cabrera, J.A. y García, J.D. (2020). Nuevos resultados sobre el cambio de las propiedades de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados de la "Llanura Roja de la Habana". Ediciones INCA, 159, ISBN 978-959-7258-04-9.
- Hernández, A.; Pérez, J.M.; Bosch, D. y Castro, N. (2015). Clasificación de los suelos de Cuba 2015. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Instituto de Suelos. Ediciones INCA. ISBN: 978-959-7023-77-7. 91 pp
- Jansson J.K.; Hofmockel, K.S. (2020). Soil microbiomes and climate change. *Nature Reviews Microbiology*; 18:35-46. <https://doi.org/10.1038/s41579-019-0265-7>.
- Khashei, S.; Etemadifar, Z. y Rahmani, H. R. (2020). Multifunctional biofertilizer from *Pseudomonas putida* PT: A potential approach for simultaneous improving maize growth and bioremediation of cadmium-polluted soils. *Biological J. Microorganism*. 8 (32):117-129
- Louca, S.; F. Mazel, M.; Doebeli y Parfrey, L.W. (2019). A census-based estimate of Earth's bacterial and archaeal diversity. *Biology PLoS* 17(2): <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000106>

- Martínez Viera, R.; López, M.; Dibut, B.; Parra, C. y Rodríguez, J. (2007). La fijación biológica del nitrógeno atmosférico en el medio tropical. Ed. MPPAT, Caracas, 190 p.
- Martínez, Ó.G.; Can, Á., Ortega, H.M.; Bojórquez, J.I.; Cruz, E.; García, J.D. y Madueño, A (2021). Fertilidad e índice de calidad del suelo de la cuenca del río San Pedro en Nayarit. *Terra Latinoamericana*, 39: 1-13. e766. <http://dx.doi.org/10.28940/terra.v39i0.766>
- Priyadarshane, M., y Das, S. (2021). Bioremediation potential of biofilm forming multi-metal resistant marine bacterium *Pseudomonas chengduensis* PPSS-4 isolated from contaminated site of Paradip Port, Odisha. *Journal of Earth System Science*, 130(3). <https://doi.org/10.1007/s12040-021-01627-w>
- Reichardt, K; Timm, LC. (2020). Soil, plant and atmosphere concepts, processes and applications. First edition. Cham, Switzerland. Springer. (ed). 456 p. ISBN 978-3-030-19321-8
- Rojas-Padilla, J.; Chaparro-Encinas, L. A.; Robles-Montoya, R. I. y de los Santos Villalobos, S. (2020). Growth promotion on wheat (*Triticum turgidum* L. subsp. durum) by co-inoculation of native *Bacillus* strains isolated from the Yaqui Valley, Mexico. *Nova Scientia*. 12(1):1-27. <https://doi.org/10.21640/ns.v12i24.2136>
- Rosabal Ayan, L.; Macías Coutiño, P.; Maza González, M.; López Vázquez R, Guevara Hernández F. (2021). Microorganismos del suelo y sus usos potenciales en la agricultura frente al escenario del cambio climático. *Magna Scientia UCEVA* 2021; 1: 104–17. <https://doi.org/10.54502/msuceva.v1n1a14>
- Tahir, M.; Naeem, M. A.; Shahid, M.; Khalid, U.; Farooq, A. B. U.; Ahmad, N.; Ahmad, I.; Arshad, M. y Waqar, A. (2020). Inoculation of pqq E gene inhabiting *Pantoea* and *Pseudomonas* strains improves the growth and grain yield of wheat with a reduced amount of chemical fertilizer. *Journal of Applied Microbiology*. <https://doi.org/10.1111/jam.14630>
- Walkley, A. y Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method." *Soil Science*. 37(1): 29–38. ISSN 0038-075X, 1538-9243
- Wang, M.; Bian, Z.; Shi, J.; Wu, Y.; Yu, X.; Yang, Y.; Ni, H.; Chen, H.; Bian, X.; Li, T.; Zhang, Y.; Jiang, L. y Tu, Q. (2020). Effect of the nitrogen-fixing bacterium *Pseudomonas protegens*. *Crops and Products*. 145:111982. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111982>