AGUA Y CONOCIMIENTO

Año 2026 | Vol.7 | 15 - 28
ISSN 2411 0027
revistas.unan.edu.ni/index.php/RevAgua

Técnicas microbiológicas aplicadas al análisis microbiano del té de compost en experimentos de columna de dos tipos suelos

Microbiological techniques applied to the microbial analysis of compost tea in column experiments of two soil types

Sindulfo Sadiel Gómez Rojas

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua / Centro de Investigación de Recursos Acuáticos (UNAN-MANAGUA/CIRA)

RESUMEN

El presente estudio consistió en aplicar un grupo de técnicas microbiológicas directas e indirectas en un experimento de columna de dos tipos de suelos (arcilloso y arenoso) enriquecidos con té de compost aireado, utilizado como bio-enmendador para la fertilización y biorremediación de suelos. Las técnicas analizadas fueron, algunas directas: como el conteo de bacterias totales por microscopía de fluorescencia y la determinación de la actividad enzimática de deshidrogenasa; y otras indirectas o dependientes del cultivo por conteo en placa: bacterias heterótrofas, hongos y levaduras. Las diferentes técnicas microbiológicas ensayadas fueron efectivas y permitieron conocer la distribución microbiana del té de compost aireado y la calidad microbiológica en los estratos estudiados (2, 10, 20, 30 cm). Se pudieron observar diferentes patrones temporales y espaciales en el transporte de microorganismos en las diferentes texturas de los suelos. Las mayores densidades poblacionales de microorganismos se estimaron y cuantificaron en el suelo arcilloso después de 24 horas de la adición del té de compost aireado, sin embargo, hubo poca presencia de hongos lo que implica que la transferencia de la biomasa microbiana del té de compost aireado está dominada por bacterias y levaduras. La aplicación de las técnicas microbiológicas permitió conocer que los microorganismos pueden viajar hasta 30 cm con densidades mayores generalmente detectadas en los primeros 10 cm; así mismo, uno de los bioindicadores directos utilizados (actividad de la enzima deshidrogenasa) demostró que el suelo arcilloso puede actuar como trampa o reservorio temporal de la enzima en el estrato superior (2 cm), esto implicaría que la aplicación del té de compost aireado deberá ser diferente dependiendo de la textura del suelo para garantizar que haya una mejor distribución de los microorganismos.

Palabras clave: té de compost aireado, enzima deshidrogenasa, bioindicadores directos e indirectos, conteo en placa, microscopía de fluorescencia.

Recibido: 9/01/2026 | Aceptado: 18/05/2026 | Publicado: 25/05/2026

© 2026 por UNAN-Managua/CIRA licencia bajo CC BY-NC 4.0

ABSTRACT

This study consisted of applying a group of direct and indirect microbiological techniques in a column experiment with two soil types (clay and sand) enriched with aerated compost tea, used as a bio-amendment for soil fertilization and bioremediation. The techniques analyzed included direct methods such as total bacterial counts by fluorescence microscopy and determination of dehydrogenase enzyme activity, and indirect or culture-dependent methods such as plate counting of heterotrophic bacteria, fungi, and yeasts. The different microbiological techniques tested were effective and allowed for the determination of the microbial distribution of the aerated compost tea and the microbiological quality in the studied layers (2, 10, 20, 30 cm). Different temporal and spatial patterns were observed in the transport of microorganisms across the different soil textures. The highest population densities of microorganisms were estimated and quantified in the clay soil 24 hours after the addition of aerated compost tea. However, there was little presence of fungi, implying that the transfer of microbial biomass from the aerated compost tea is dominated by bacteria and yeasts. The application of microbiological techniques revealed that microorganisms can travel up to 30 cm, with higher densities generally detected in the first 10 cm. Furthermore, one of the direct bioindicators used (dehydrogenase enzyme activity) demonstrated that clay soil can act as a trap or temporary reservoir for the enzyme in the upper stratum (2 cm). This suggests that the application of aerated compost tea should be adjusted depending on the soil texture to ensure a better distribution of microorganisms.

Keywords: aerated compost tea, dehydrogenase enzyme, direct and indirect bioindicators, plate count, fluorescence microscopy.

INTRODUCCIÓN

El método de conteo en placa es uno de los primeros métodos utilizados en la historia para el conteo de microorganismos cultivables, data desde 1876 cuando se usó la gelatina como el primer agente gelificante para solidificar el medio líquido usado para el cultivo de las bacterias. En la actualidad esta técnica ha sido muy utilizada en muchos países del mundo para enumerar microorganismos viables (Margesin et al. 2005; Fernández Linares et al. 2006).

El conteo de bacterias totales por fluorescencia en diferentes matrices se ha realizado en muchas investigaciones ambientales. Por ejemplo, Porter y Feig en 1980 usaron DAPI (4′,6-diamidino-2-fenilindol) para contar e identificar micro flora-acuática. Kepner y Pratt, (1994) usaron DAPI para la enumeración en muestras medio-ambientales. El Instituto de microbiología, Leopold Franzens Universitet ha realizado muchísima investigación usando la técnica de conteo directo usando DAPI (Margesin et al. 2005).

En Latino América esta técnica de enumeración de bacterias con DAPI en muestras de suelos ha sido utilizada en universidades de Colombia en trabajos de tesis, donde estandarizaron la metodología (Vela Rojas, 2007). Belalcázar, (2013) hizo comparaciones en suelos enriquecidos con biocarbón y sin enriquecer, observó la diferencia en el número de bacterias en los tratamientos. En Nicaragua no se encontró ningún reporte de realización de estudios para determinar bacterias totales usando fluorocromo DAPI en suelos.

Burns en 1978 realizó la primera revisión sobre las enzimas del suelo en el que se recoge su origen, rango, cinética e historia, e incluyó aspectos como la interacción de las enzimas y diversos agroquímicos, su significado, y algunos aspectos metodológicos. El método para evaluar la actividad de la enzima deshidrogenasa en suelos, fue usado inicialmente por el Institute of Microbiology, Leopold Franzens Universit, (Margesin et al. 2005).

El suelo es un recurso dinámico y no renovable, cuya condición y funcionamiento es vital para la producción de alimentos y para el mantenimiento de la calidad ambiental, por lo cual es necesario adaptarlo a diversos usos, pero con un manejo ordenado y controlado (Cañizares, 2011). Así mismo, el suelo es una entidad dinámica con diversos procesos biológicos y geoquímicos que muestran una elevada heterogeneidad, y con mecanismos de control que cambian según la escala espacio-tiempo.

La bio-aumentación o bio-enmendamiento es una de las estrategias más comúnmente usadas en la biorremediación de suelos contaminados y en la agricultura, para asegurar la adición de microorganismos que contribuyan a los procesos de degradación de los contaminantes, al reciclaje de nutrientes o para controlar enfermedades patogénicas en las plantas (Haller, 2015).

El té de compost aireado es un extracto líquido de alta actividad biológica que se consigue por la fermentación aeróbica del compost, preparado sin el uso de calor que favorece el crecimiento de microorganismos benéficos (Haller, 2015).

La actividad de algunas enzimas y las densidades poblacionales microbianas son bioindicadores de calidad de suelos, por lo tanto, fue de gran interés conocer el transporte microbiano en diferentes tipos de suelos (arenoso y arcilloso) enriquecidos con té de compost aireado.

Debido a que en Nicaragua no existen muchos estudios en suelo donde se hayan utilizados técnicas microbiológicas, nace la necesidad de aplicar un grupo de técnicas microbiológicas directas e indirectas en un experimento de columna de dos tipos de suelos (arcilloso y arenoso) enriquecidos con té de compost aireado.

Las técnicas analizadas fueron algunas directas, como el conteo de bacterias totales por microscopía de fluorescencia y la determinación de la actividad enzimática de deshidrogenasa; y otras indirectas o dependientes del cultivo, por conteo en placa: bacterias heterótrofas, hongos y levaduras.

Las diferentes técnicas microbiológicas ensayadas fueron efectivas y permitieron conocer la distribución microbiana del té de compost aireado y la calidad microbiológica en los estratos estudiados (2, 10, 20, 30 cm), así como de proporcionar información esencial del potencial de sobrevivencia y reproducción de los diferentes grupos funcionales microbianos monitoreados en los diferentes estratos de los suelos de interés.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de muestreo

Los dos tipos de suelos en estudio fueron muestreados en dos fincas del departamento de Nueva Guinea (210 msnm) municipio de la Región Autónoma de la Costa Caribe Sur, Nicaragua, los cuales fueron analizados en el laboratorio de Biotecnología de la UNAN-Managua.

El suelo de tipo arcilloso fue colectado en la Finca Casa Montesano, cuyas coordenadas son: 11˚58´58.23˝Norte 84˚53´07.14˝Oeste. El suelo de tipo arenoso fue colectado en la Finca Javier Chacón, sus coordenadas son: 11˚54´34.92˝Norte 84˚53´06.28˝Oeste. Las principales características físico-químicas de los suelos de interés se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Caracterización físico-química de los suelos en estudio

General	**Suelo arcilloso**	**Suelo arenoso**
pH (H_2O)	5,3	4,9
Materia orgánica	6,8	3,9
Capacidad de Intercambio Catiónico (meq /100g)	9,3	26,1
Textura		
Arcilla	24,0	16,0
Limo	29,6	23,6
Arena	46,4	60,4

Fuente: Haller, 2015

Diseño del experimento

El experimento se realizó por triplicado para cada tipo de suelo en columnas de acero galvanizado de 32 cm de altura y 8,3 cm de diámetro, con orificios laterales de 20 mm de diámetro a 2, 10, 20, 30 cm de profundidad. Estas columnas fueron rellenadas y compactadas hasta obtener una densidad aparente similar en ambos suelos de interés (arenoso y arcilloso). Las columnas se esterilizaron por calor húmedo a 121 °C durante 1 hora y se verificó su esterilidad a través de ensayos microbiológicos en placa (Figura 1).

Para facilitar el transporte del té de compost aireado a través de las columnas de suelo se procedió a saturarlas con agua destilada estéril (~ 50 ml) en una campana de seguridad biológica (Labconco Clase II Tipo A2), luego se realizó el enriquecimiento de cada columna con ~ 60 ml de té de compost aireado. El experimento duró 24 horas, colectándose muestras de cada estrato de cada columna después de 1 hora y después de 24 horas de la adición del té de compost (48 muestras en total) con espátulas estériles y tratando de perturbar las columnas lo menos posible, con el objetivo de conocer las diferencias de las movilidades de los microorganismos en los dos tipos de suelos y conocer la viabilidad al aplicar las técnicas.

Figura 1. Experimento de columna.

Preparación de té de compost aireado

 Adicionar al biorreactor (Figura 2) 40 litros de agua y airear por 40 minutos para eliminar cloro.

 Adicionar 2 libras de lombri-compost.

 100 ml de ácido húmico.

 100 ml de algas marinas.

 200 ml de melaza.

 Agitar por 18 horas

Figura 2. Elaboración del té de compost aireado.

Métodos de recolecta y análisis de datos

Los resultados obtenidos fueron colectados en los formatos para cada parámetro y luego resumidos en bases de datos utilizando Microsoft Excel, calculándoseles la media y su error estándar. Los gráficos se realizaron con el software SigmaPlot.

En este estudio se aplicaron diferentes técnicas de análisis como: conteo directo (bacterias totales), actividad enzimática (deshidrogenasas) y métodos dependientes del cultivo bacterias heterótrofas, hongos y levaduras viables) como trazadores del transporte vertical de té de compost aireado e indicadores de la calidad microbiológica de diferentes tipos de suelos (arcilloso y arenoso) colectados a diferentes profundidades (2,10, 20, 30 cm) en un experimento de columna. También se analizó el comportamiento temporal de los indicadores microbiológicos después de 1 hora y 24 horas de la adición del té de compost aireado para evaluar tanto el transporte como la viabilidad y/o el potencial de crecimiento de los micro- organismos en los estratos de suelos de interés.

a. Conteo directo de bacterias totales por microscopia de fluorescencia

Este método es usado para el conteo de bacterias totales presentes en una muestra de suelo usando un microscopio de fluorescencia, donde un volumen conocido de una suspensión de suelo teñido con el fluorocromo DAPI es filtrado a través de un filtro de policarbonato negro de 2 µm, se realiza el conteo y se expresa en Células/gramo de masa seca (Margesin et al. 2005).

b. Actividad enzimática de deshidrogenasas

Las muestras de suelo son mezcladas con solución buffer y sustrato [2(p-iodophenyl)-3-(pnitrophenyl)- 5-phenyl tetrazolium chloride INT, e incubadas durante 2 horas a 40 °C, el iodonitrotetrazolium formazan INTF liberado es extraído con la solución de extracción mezclando en una proporción 1:1 de N, N dimetilformamide y etanol al 96 %, posteriormente se mide la concentración en el espectrofotómetro a 464 nm y es expresada como µg de INTF/ gramo de suelo seco durante 2 horas (Margesin et al. 2005).

c. Conteo en placa de bacterias heterótrofas viables

Para el conteo de bacterias heterótrofas en suelo se utilizará el método de conteo en placa, que utiliza como medio de crecimiento el agar Plate Count, donde cada célula presente en la muestra da origen a una colonia

observable y es expresada como UFC/ gramo de suelo seco (Fernández Linares et al. 2006).

d. Conteo en placa de hongos y levaduras viables

Para determinar hongos y levaduras se usará el método de conteo en placa que utiliza como medio de crecimiento el Agar Papa Dextrosa. En este caso una célula no da origen a una colonia si no una espora o parte del hongo, el crecimiento de estos microorganismos es más lento por tanto se incuban de 5 a 7 días, los resultados se expresarán en UFC/gramo de suelo seco (Fernández Linares et al. 2006).

RESULTADOS

Conteo directo de bacterias totales por microscopía de fluorescencia

En la Figura 3 se presentan los resultados del conteo directo de bacterias totales por fluorescencia para el experimento en suelo arcilloso después de 1 y 24 horas de la adición del té de compost. En este tipo de suelo las mayores densidades de bacterias se contaron a los 10 cm después de 24 horas de la adición ($4{,}1 \times 10^3 \pm 205$ células/g de suelo seco) y las menores a los 30 cm después de 1 hora de la adición ($4{,}3 \times 10^2 \pm 433$ células/g de suelo seco).

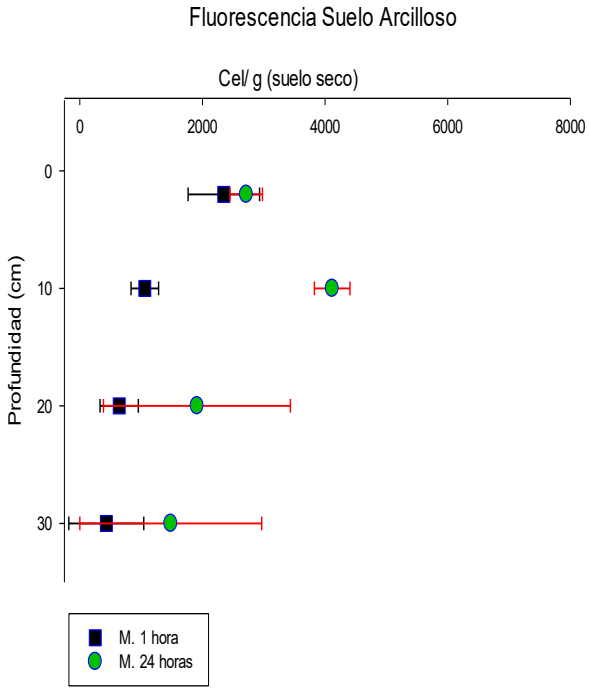

Figura 3. Número de bacterias totales teñidas con fluorocromo DAPI en muestras de suelo arcilloso a diferentes profundidades. Las barras horizontales representan el error estándar de la media.

En la Figura 4 se presentan los resultados del conteo directo de bacterias totales por fluorescencia para el experimento en suelo arenoso después de 1 y 24 horas de la adición del té de compost, la mayor densidad se contó después de 1 hora de la adición a los 2 cm ($5{,}3 \times 10^3 \pm 1883$ células/g de suelo seco) y la menor a los 20 cm ($4{,}0 \times 10^2 \pm 8$ células/g de suelo seco) después del mismo tiempo de adición.

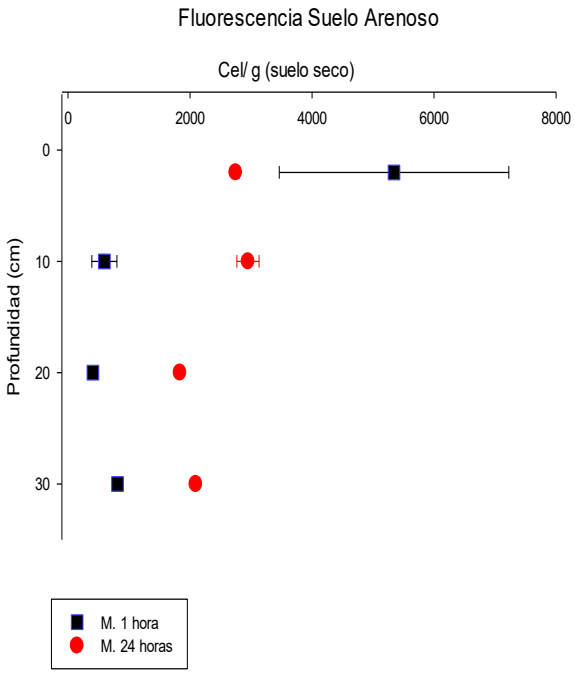

Figura 4. Número de bacterias totales teñidas con fluorocromo DAPI en muestras de suelo arenoso a diferentes profundidades. Las barras horizontales representan el error estándar de la media.

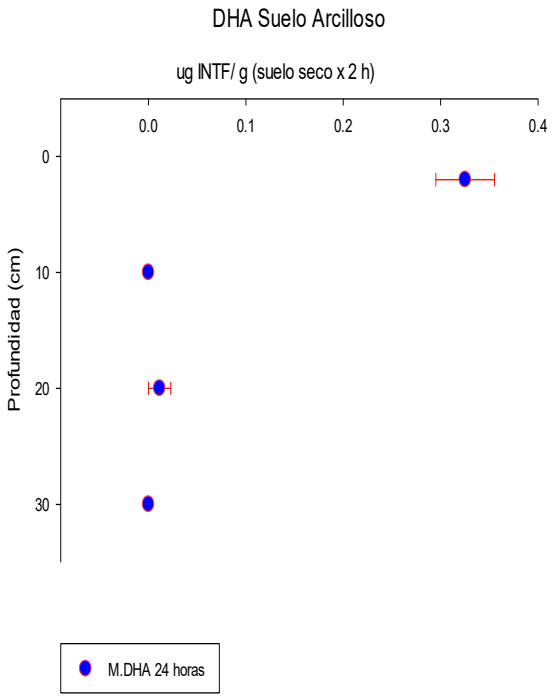

Figura 5. Concentraciones promedio de la actividad de la enzima deshidrogenasa (expresados como µg INTF/ g de suelo seco en 2 h de incubación) en suelo arcilloso a diferentes profundidades. Las barras horizontales representan el error estándar de la media.

Actividad enzimática de deshidrogenasas

En la Figura 5 se presenta los resultados de la actividad de la enzima deshidrogenasa para el suelo arcilloso después de 24 horas de la adición del té de compost aireado, en este tipo de suelo la mayor actividad de esta enzima después de 24 horas de incubación se detectó a los 2 cm (0,33± 0,03 µg INTF / g suelo seco durante 2 h de incubación), disminuyendo su actividad en las siguientes profundidades (ND ─ 0,01 ± 0,01 µg INTF /g de suelo seco).

En la Figura 6 se presentan los resultados de la actividad de la enzima deshidrogenasa para el suelo arenoso después de 24 horas de la adición del té de compost aireado, la actividad de la enzima deshidrogenasa se detectó distribuido casi uniforme en todo el perfil en concentraciones desde 0,04 ± 0,04 µg INTF / g de suelo seco (20 cm) hasta 0,07 ± 0,01 µg INTF / g suelo seco (2 cm).

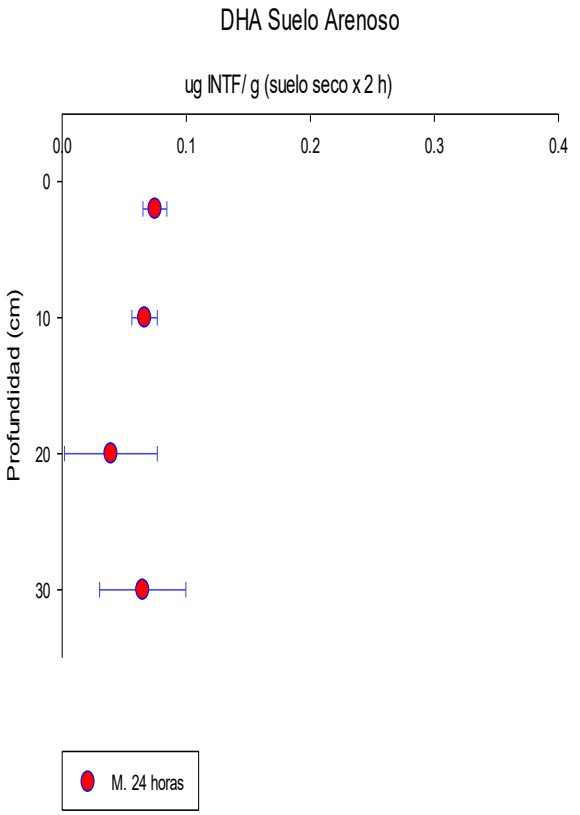

Figura 6. Concentraciones promedio de la actividad de la enzima deshidrogenasa (expresados como µg INTF/ g de suelo seco en 2 h de incubación) en suelo arenoso a diferentes profundidades. Las barras horizontales representan el error estándar de la media.

Conteo en placa de bacterias heterótrofas viables

En la Figura 7 se muestra los resultados linealizados del conteo en placa de bacterias heterótrofas para el suelo arcilloso después de 1 y 24 horas de adicionarle el té de compost aireado, en este tipo de suelo se contaron más bacterias después de las 24 horas de la adición del té de compost en cada estrato estudiado con una distribución bastante homogénea con densidades desde $5{,}7 \times 10^3$ — $4{,}6 \times 10^6$ UFC / g suelo seco (después de 1 hora de la adición) hasta $1{,}8 \pm 15 \times 10^6$ — $3{,}7 \pm 0{,}04 \times 10^6$ UFC/g suelo seco (después de 24 horas de adición).

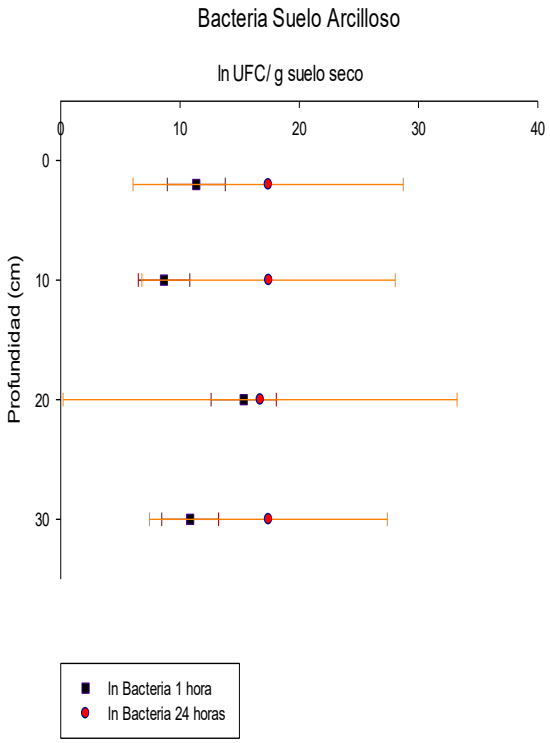

Figura 7. Conteo en placa de Unidades Formadoras de Colonias promedio de Bacterias heterótrofas viables en el suelo arcilloso a diferentes profundidades. Las barras horizontales representan el error estándar de la media.

En la Figura 8 se muestran los resultados linealizados del conteo en placa de bacterias heterótrofas para el suelo arenoso después de 1 y 24 horas de la adición del té de compost aireado, generalmente se encontró mayor densidad 1 hora después de la adición del té

de compost (5,2 — 4,7 × 10^3, a excepción de los 2 cm a las 24 horas donde se contaron un máximo de 3,5 ± 2,8 × 10^6 UFC/g suelo seco). La menor densidad fue contada a los 30 cm (260 UFC / g suelo seco) después de 24 horas de la adición.

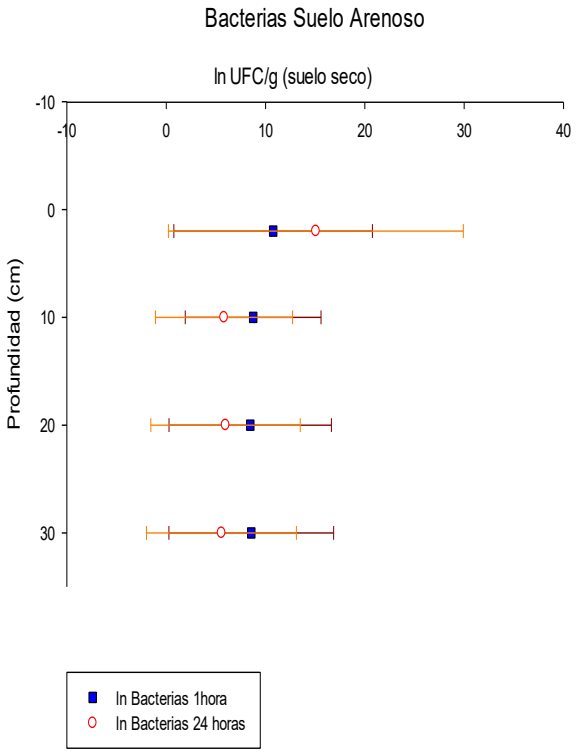

Figura 8. Conteo en placa de Unidades Formadoras de Colonias promedio de Bacterias heterótrofas viables en el suelo arenoso a diferentes profundidades. Las barras horizontales representan el error estándar de la media.

Conteo en placa de levaduras viables

En la Figura 9 se presenta los resultados linealizados del conteo en placa de levaduras en el suelo arcilloso, donde las mayores densidades se encontraron después de 24 horas de la adición del té de compost aireado (0,3 — 3,5 × 10^6 UFC / g suelo seco) y las menores 1 hora después de la adición (5,4 × 10^3 — 2,5 × 10^6 UFC / g de suelo seco).

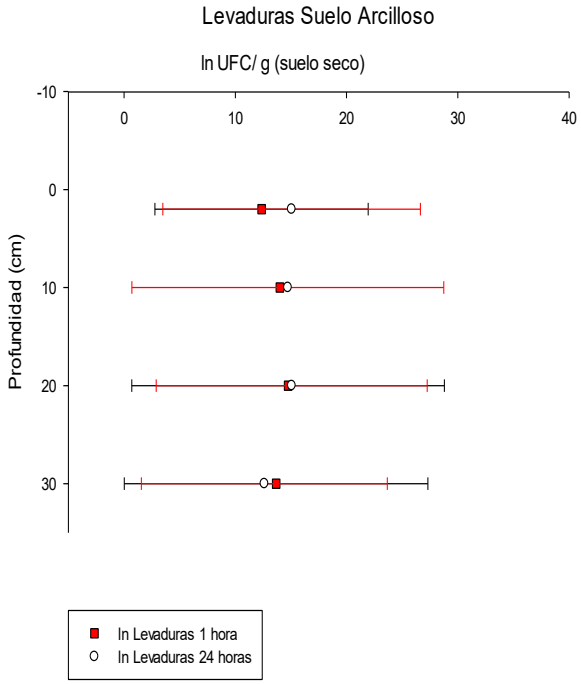

Figura 9. Conteo en placa de Unidades Formadoras de Colonias promedio de levaduras viables en suelo arcilloso a diferentes profundidades. Las barras horizontales representan el error estándar de la media.

En la Figura 10 se presentan los resultados linealizados del conteo en placa de levaduras en el suelo arenoso, también se encontraron las mayores densidades después de 24 horas de la adición del té de compost aireado, aunque la mayor densidad fue estimada a los 2 cm en ambos tiempos estudiados (56 ± 30 × 10^3 y 2,7 ± 0,6 × 10^6 UFC/g suelo seco, respectivamente para 1 y 24 horas). Las menores densidades fueron estimadas a los 20 y 30 cm después de 24 horas (< 100 UFC / g suelo seco).

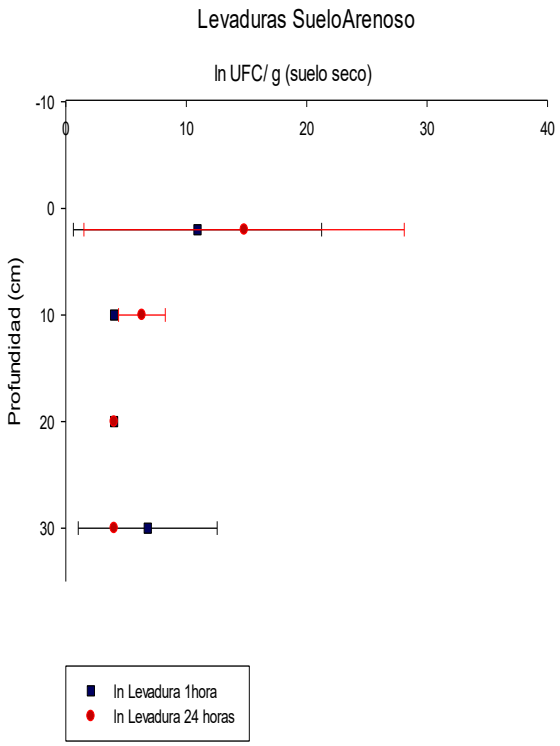

Figura 10. Conteo en placa de Unidades Formadoras de Colonias promedio de levaduras viables en suelo arenoso a diferentes profundidades. Las barras horizontales representan el error estándar de la media.

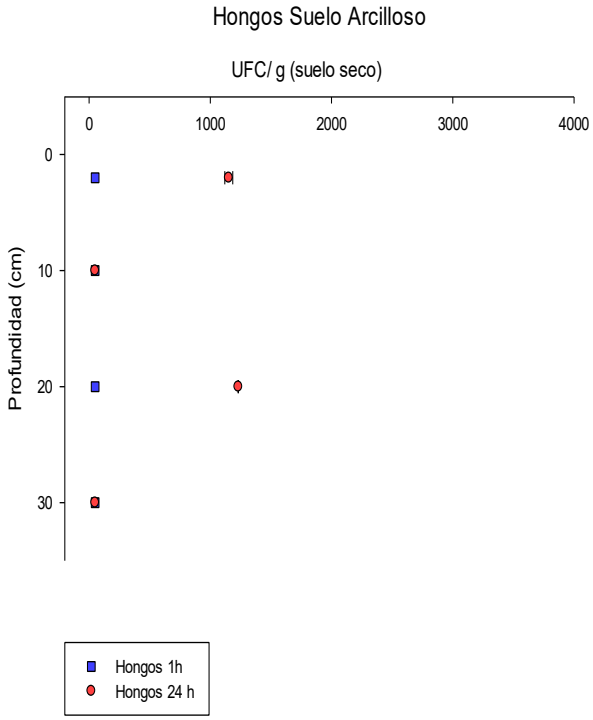

Figura 11. Conteo en placa de Unidades Formadoras de Colonias promedio de Hongos viables en suelo arcilloso a diferentes profundidades. Las barras horizontales representan el error estándar de la media.

Conteo en placa de Hongos viables

En la Figura 11 se presentan los resultados del conteo en placa de hongos para el suelo arcilloso, que en general mostraron densidades bajas en comparación con las de levaduras. En el suelo arcilloso no hubo crecimiento de hongos del suelo aislados después de 1 hora de la adición del té de compost en ninguno de los estratos estudiados, pero sí después de 24 horas donde se contaron densidades desde $< 1,0 \times 10^2$ hasta $1,2 \times 10^3 \pm 2$ UFC / g de suelo seco hasta el estrato de 20 cm.

La Figura 12 presenta los resultados del conteo en placa de hongos para el suelo arenoso, en este sí se pudieron contar densidades después de 1 hora de la adición del té de compost aireado ($1,2 \times 10^3 \pm 9$ — $3,0 \times 10^3 \pm 674$ UFC / g de suelo seco) y no se detectó mucha variación en las estimaciones después de las 24 horas ($1,1 \times 10^3 \pm 2$ — $2,2 \times 10^3 \pm 28$ UFC / g de suelo seco) con una distribución homogénea a lo largo de los estratos.

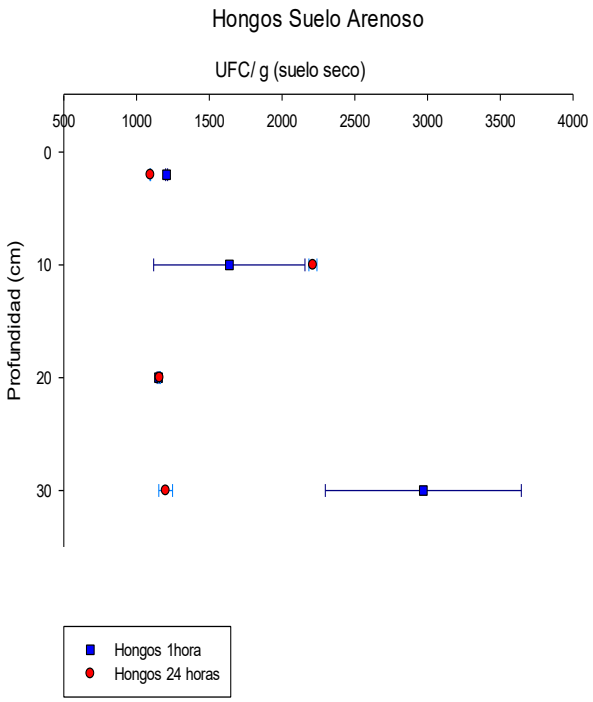

Figura 12. Conteo en placa de Unidades Formadoras de Colonias promedio de Hongos viables en suelo arenoso a diferentes profundidades. Las barras horizontales representan el error estándar de la media.

DISCUSIÓN

Con aplicación de las técnicas microbiológicas se pudieron observar diferentes patrones temporales y espaciales en la calidad microbiológica de los suelos con diferentes texturas enriquecidos con té de compost aireado. En el suelo arcilloso generalmente se estimaron mayores densidades de bacterias totales, bacterias heterótrofas, levaduras y hongos cultivables en los diferentes estratos estudiados después de las 24 horas de la adición del té de compost aireado; mientras que en el suelo arenoso no fue tan obvio dicho comportamiento ya que algunos parámetros como las bacterias heterótrofas y hongos cultivables mostraron lo contrario. Esto podría deberse a que el suelo arcilloso tenía un mayor contenido de materia orgánica que el arenoso (6,9 vs. 3,9 %) que es sustrato para que los microorganismos puedan obtener la energía suficiente para sobrevivir y reproducirse (Margesin et al. 2009; Wolińska and Stępniewska, 2012).

La mayoría de los parámetros microbiológicos utilizados (bacterias totales, bacterias heterótrofas, levaduras y hongos) muestran que los microorganismos pueden viajar hasta 30 cm con densidades mayores generalmente detectadas en los primeros 10 cm. Aunque la alta variabilidad en los conteos no permite observar claramente patrones específicos. Esto es la característica y principal desventaja de muchos de los métodos microbiológicos existentes que dependen del cultivo de microorganismos viables (Bacterias heterótrofas, Levaduras y Hongos) o que puedan distinguir entre organismos viables y detritos (Bacterias totales por microscopía de fluorescencia con DAPI) (Kepner y Pratt, 1994).

Por otro lado, la actividad de la enzima deshidrogenasa, que es una medida de la intensidad del metabolismo microbiano en los suelos y que refleja un rango amplio de actividades oxidativas microbianas (Margesin et al, 2009); mostró grandes diferencias en sus concentraciones y dispersión en los experimentos de columna de los suelos estudiados que indican la influencia de la textura. En el suelo arcilloso se determinó que el estrato con la mayor actividad enzimática fue el de los 2 cm, mientras que en el arenoso hubo una distribución casi homogénea de la actividad (aunque menor) a lo largo de todos los estratos estudiados, probablemente influenciado por el mejor transporte del té de compost aireado a lo largo de la columna por su mayor permeabilidad (partículas de mayor tamaño y poros más grandes) en comparación con el suelo arcilloso. En el caso del suelo arenoso sí aplica lo que se supone que es una generalidad, que la actividad enzimática de la

deshidrogenasa está directamente relacionada con una mayor actividad microbiológica (Margesin et al, 2009; García-Orenes et al., 2010). Sin embargo, consideramos que la excepción a esa generalidad es la enzima deshidrogenasa en el suelo arcilloso 24 horas después de la adición del té donde el suelo parece actuar como trampa o reservorio temporal de la enzima probablemente debido a su alto contenido de materia orgánica (6,8 %) comparado al del suelo arenoso (3,9 %). Las deshidrogenasas juegan un papel importante en la oxidación biológica de la materia orgánica del suelo (respiración de carbono), transfiriendo hidrógeno de sustratos orgánicos a los aceptadores inorgánicos (Wolińska and Stępniewska, 2012).

Este fenómeno de que la actividad enzimática no necesariamente indique mayor actividad biológica en un momento dado ya ha sido reportado por Salazar et al. (2011) y Henríquez et al. (2014); específicamente para alguna propiedad bioquímica individual de las deshidrogenasas que según Salazar et al. (2011) no siempre aplica a sistemas complejos como en suelos dónde los microorganismos estén involucrados en procesos de degradación de compuestos orgánicos muy diversos, que muy posiblemente era el caso del suelo arcilloso enriquecido con el té de compost aireado. También se ha reportado mayor actividad de la deshidrogenasa en suelos anaeróbicos o inundados (como los suelos arcillosos que tienen poca capacidad de infiltración) en comparación a los suelos incubados en condiciones aeróbicas (Makoi y Ndakidemi, 2008). Además, hay otros parámetros como la disponibilidad de oxígeno y el potencial redox (reducción-oxidación) que pueden afectar la actividad de esta enzima. (Wolińska and Stępniewska, 2012).

CONCLUSIONES

Las técnicas de análisis directo: conteo de bacterias totales por microscopía de fluorescencia y la medición de la actividad enzimática de deshidrogenasa, y las indirectas o dependientes del cultivo (conteo en placa de bacterias heterótrofas, hongos y levaduras) fueron aplicadas efectivamente y permitieron evaluar el transporte del té de compost aireado y la calidad microbiológica de los estratos de los dos tipos de suelo enriquecidos en estudio.

Las técnicas de conteo en placa estimaron mayores densidades de bacterias heterótrofas y levaduras que de hongos en ambos suelos de estudio implicando que la transferencia de biomasa microbiana del té de compost aireado estaría dominada por estos microorganismos.

Entre las principales desventajas de las técnicas indirectas o dependientes del cultivo utilizadas para la estimación tanto de las densidades fúngicas y levaduras como bacterianas (conteo en placa de bacterias heterótrofas, hongos y levaduras) están la mayor demanda de tiempo para conocer los resultados (> 48 horas) y la mayor posibilidad de contaminación durante el proceso de análisis (toma de la muestra, preparación de diluciones seriadas, inoculación, incubación, etc.) lo que explica la alta variabilidad de los resultados. El conteo directo de bacterias totales por fluorescencia usando DAPI por otro lado tiene la desventaja de que no permite discriminar entre bacterias vivas y muertas.

La actividad enzimática de deshidrogenasa en el suelo arenoso está directamente relacionada con la biomasa microbiana o actividad microbiológica, sin embargo, este hallazgo no se puede generalizar al suelo arcilloso donde la matriz parece actuar como trampa o reservorio temporal de la enzima en el estrato superior (2 cm).

La implicación práctica de estos hallazgos es que la aplicación del té de compost aireado deberá ser diferente dependiendo de la textura del suelo para garantizar que haya una mejor distribución de los microorganismos y de la enzima deshidrogenasa que aseguren una mayor actividad microbiana e intensidad del metabolismo microbiano redox en los estratos de interés del suelo ya sea para aplicaciones de fertilidad como de biorremediación de suelos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Dra. Katia Montenegro y Henrik Haller de origen sueco que me permitió trabajar en sus experimentos de columna con té de compost. Agradezco también todo el apoyo al colectivo y a la directora del Laboratorio de Biotecnología de la UNAN-Managua.

Agradezco a la Fundación Sueca para la Cooperación Internacional en Investigación y Educación Superior (**STINT**: The Swedish Foundation for International Cooperation in Research and Higher Education), que dentro del marco del Proyecto **Living technology for a green future** desarrollado entre la Mid Sweden University (MIUN) y el Laboratorio de Biotecnología de la UNAN-Managua; brindaron los medios económicos para la realización de esta investigación.

REFERENCIAS

Belalcázar, S. (2013) Tesis: Evaluación del biocarbón derivado de cascarilla de arroz como potenciador del establecimiento y proliferación de bacterias en suelos no perturbados, Universidad ICESI Facultad de Ciencias Naturales.

Burns, R.G., (1982) Enzyme activity in soil: Location and a possible rol en microbial ecology. Soil Biology and Biochemistry.

Cañizares Gonzales, R. (2011) Tesis de doctorado: Potencial para el secuestro de carbono y la protección de la biodiversidad bacteriana de prácticas agrícolas sostenibles en suelos de olivar. Diseño y aplicación de tecnologías “ómicas”. Universidad de Granada: Instituto de Biotecnología.

Fernández Linares L., Rojas Avelizapa, N., Roldán Carrillo, T., Ramírez Islas, M., Zegarra Martinez, H., Hernández R., Reyes Avila, R., Flores Hernandez, D., Arce Ortega, J. (2006). Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados. Instituto Mexicano del Petróleo, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología.

García, O., Guerrero, C., Barcenas, G., Caravaca, F., (2010) Soil microbial biomass and activity under different aricultural management systems in a semiarid Mediterranean agroecosystem. Soil and Tillage Research.

Haller, H. (2015) Licentiate Thesis: Appropriate Technologies for Soil Remediation in Low Prioritized Regions– Developing Countries and Sparsely Populated Regions. Mid Sweden University, Fac ult y of Science, Technology and Media.

Henríquez, C., Uribe, L., Valenciano, A., Nogales, R. (2014). Actividad enzimática del suelo - Deshidrogenasa, -glucosidasa, Fosfatasa y Ureasa- bajo diferentes cultivos. Agronomía Costarricense 38(1): 43-54. ISSN: 0377-9424.

Kepner, R. &Pratt, J. (1994) Use of fluorochromes for direct enumeration

of total bacteria in environmental samples: past and present. Microbiol. Rev. 58(4):603.

Makoi, J & Ndakidemi, P. (2008) Selected soil enzymes: Examples of their potential roles in the ecosystem. African Journal of Biotechnology Vol. 7 (3), pp. 181-191.

Margesin, R. y Schinner, F (2005). Manual for soil analysis- monitoring and assessing soil bioremediation. Ed. Springer. Heidelberg, Alemania.

Margesin, R., Jud, M., Tscherko, D & Schinner, F (2009) Microbial communities and activities in alpine and subalpine soils. Institute of Microbiology, University of Innsbruck.

Salazar, S., Sánchez, L.E., Álvarez, J., Valverde, A., Galindo, P., Igual, J.M., Peix, A., Santa, I (2011) Correlation among soil enzyme activities under different forest system management practices.

Vela Rojas, A.F. (2007). Tesis de grado: Evaluación del efecto de los sistemas productivos sobre la densidad de los microorganismos edáficos en suelos del eje cafetalero en las cuencas de los ríos La Vieja y El Otún. Microbiología industrial. Pontifica universidad de Javeriana, Facultad de Ciencias, Departamento de Microbiología.

Wolińska, A & Stępniewska, Z (2012) Dehydrogenase Activity in the Soil Environment, Chapter 8, INTECH open science | open minds.