

Eficacia de bioproductos sobre la población y diversidad microbiana de un suelo agrícola en zonas áridas

Mirella Romero-Bastidas^{1,5}
Esli Alexis Mayer-Félix¹
Pablo Misael Arce-Amézquita¹
Maurilia Rojas-Contreras¹
Carlos Rangel-Dávalos¹
José Saúl Hernández-Rubio¹

1 1 Universidad Autónoma de Baja California Sur. Carretera al sur km 5.5, colonia el Mezquitito, La Paz, Baja California Sur, México. CP. 23080. Tel. 612 1238800. (e.mayer@uabcs.mx; parce@uabcs.mx; mrojas@uabcs.mx; crangel@uabcs.mx; jhrubio@uabcs.mx).

Autor para correspondencia: miromero@uabcs.mx

Resumen

Los productos naturales son una alternativa al uso de fertilizantes sintéticos. Sin embargo, su efecto sobre las comunidades microbianas en el suelo árido es poco conocido. Para revelar la respuesta de hongos, bacterias y nematodos del suelo a enmiendas orgánicas y microorganismos benéficos, cajas plásticas fueron llenadas con una mezcla de suelo agrícola sin esterilizar y cinco bioproductos tales como, materia seca de *Sargassum* spp., *humus* de lombriz, lixiviado de *humus* de lombriz, *Trichoderma harzianum* y *Bacillus amyloliquefaciens*, además, se agregó un tratamiento a base de un fertilizante sintético (T17), un fungicida/bactericida (cobre) y el control agua. Cada tratamiento fue humedecido con 1 L de agua destilada estéril. Al tiempo de 0 y 30 días después de los tratamientos, se evaluaron las variables de población microbiana, abundancia relativa y la diversidad de cada tipo de microorganismo mediante el índice de Shannon. En la mayoría los bioproductos disminuyeron la población microbiana, pero aumentó la diversidad de especies presentes y si bien no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, se registró al tratamiento de *humus* y *Sargassum* spp., con el mayor valor en la población y diversidad. Mediante este estudio se comprueba que no todos los bioproductos poseen una acción positiva sobre el incremento del microbioma en el suelo.

Palabras clave:

ecología, microbioma, microorganismos, riqueza.



Introducción

Los productos de origen natural, extraídos de microorganismos, plantas o animales se utilizan desde hace siglos (Ranjha *et al.*, 2021). Procesar estos productos naturales para obtener beneficios significativos ha sido la prioridad en todos los sistemas prácticos de la biotecnología, con el objetivo de lograr una producción útil y segura de alimentos sostenidos (Ranjha *et al.*, 2022). Este tipo de prácticas se alinea al hecho de que uno de los principales desafíos que enfrenta la agricultura en el siglo XXI es producir de manera sostenible suficientes alimentos, fibras y biocombustibles para satisfacer las necesidades de una población en rápido crecimiento (FAO, 2017).

Aunado a ello, las exigencias del consumidor son cada vez más estrictas y específicas, por lo que la agricultura moderna está en constante cambio e innovación de estrategias (Massaglia *et al.*, 2019). En las últimas décadas, se han impulsado procesos de transición y conversión de sistemas agrícolas de producción convencional (monocultivos, uso de agroquímicos, entre otros) a sistemas de producción agroecológicos (agrobiodiversidad, reciclaje de nutrientes, entre otros), con el objeto de promover la seguridad y soberanía alimentaria en concordancia con el cuidado del ambiente (Cevalloset *al.*, 2019).

En este contexto, diversos estudios han comprobado que la microbiota del suelo juega un papel clave en el óptimo desarrollo de los cultivos al influir en su rendimiento y calidad (Gazolla *et al.*, 2022). Estas comunidades microbianas son las principales responsables de promover y estabilizar el almacenamiento de carbono en el suelo, mediante la descomposición de materia orgánica a través de procesos biogeoquímicos. Mediante este proceso, mejoran la fertilidad del suelo, la función del ecosistema y la productividad de las plantas cultivadas (Zou *et al.*, 2017).

Además, actúan en la supresión de enfermedades transmitidas por el suelo y la promoción del crecimiento de las plantas (Bardgett y van der Putten, 2014). Dentro de la gran diversidad del microbioma edáfico, los hongos, bacterias y nematodos, son los indicadores más sensibles y rápidos de las perturbaciones del suelo (Laasli *et al.*, 2022). Desde hace tiempo se conoce que una de las principales problemáticas en la destrucción de los microbiomas del suelo, es el uso de fertilizantes sintéticos utilizados para maximizar el rendimiento a corto plazo y producir altos rendimientos en monocultivos (Sangiorgio *et al.*, 2022), ya que éstos han generado consecuencias negativas en los ecosistemas terrestres, al causar la pérdida de especies a través de la eutrofización y la acidificación que impactan en los nichos ecológicos y su cadena alimentaria (Suman *et al.*, 2022).

Por lo anterior, el nuevo desafío es garantizar los enfoques de producción de cultivos saludables, mediante estrategias alternativas ecológicas como el uso de agentes biológicos y productos naturales; sin embargo, aunque se ha reportado que los productos biológicos benefician el desarrollo de las plantas e interactúan eficientemente con la microbiota del suelo (Swaroop *et al.*, 2020), son escasos los estudios que han investigado el efecto de bioproductos sobre la abundancia, composición y diversidad de estos organismos en los suelos agrícolas.

La hipótesis del presente estudio es que los diferentes productos biológicos tendrán una respuesta diferencial sobre la microbiota del suelo, lo cual puede proporcionar información clave en los sistemas de producción dentro de la agricultura sustentable. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar la influencia de bioproductos en la población y diversidad de la microbiota de un suelo agrícola de zonas áridas.

Materiales y métodos

Área de estudio

El experimento se llevó a cabo en junio de 2022, en el laboratorio de Fitopatología de la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), ubicada en el municipio de La Paz, en el estado de Baja California Sur, México (24° 06' 03" latitud norte 110° 18' 54" longitud oeste). Esta zona se caracteriza por poseer un clima semiárido y su altitud osciló entre 31 y 47 msnm. La precipitación media anual fue de 275 mm y la temperatura media anual de 23.8 °C. La textura del suelo es de tipo franco arenoso, con un pH de 7.8 y pobre en materia orgánica.

Muestreo de suelo

El muestreo se realizó al azar mediante la obtención de nueve submuestras de suelo (0-30 cm de profundidad) en el campo agrícola experimental de la UABCS, el cual presentaba 0% de cobertura vegetal. Las submuestras obtenidas se mezclaron homogéneamente para la obtención de una muestra madre. Estas, se guardaron en bolsas de polietileno y se almacenaron a temperatura ambiente (25 °C) hasta su posterior análisis que fue a las 24 h después del muestreo.

Diseño experimental

Este experimento se llevó a cabo *in vitro*, donde 4 kg de suelo colectado del campo agrícola se depositaron en 24 bandejas de poliestireno (25 x 35 x 20 cm) previamente desinfectadas con NaClO (1%) durante 1 h. A cada bandeja con suelo, previamente se le agregaron los tratamientos correspondientes en las dosis establecidas (Cuadro 1) y posteriormente el suelo se humedeció con 1 L de agua destilada estéril.

Cuadro 1. Tratamientos establecidos en el experimento.

| Tratamientos | Fabricante | Dosis kg ⁻¹ de suelo |
|---|-----------------------------|---|
| Macroalga <i>Sargassum</i> spp. | UABCS | 10 g |
| Humus de lombriz | UABCS | 10 g |
| Lixiviado de humus de lombriz | UABCS | 10 ml |
| <i>Trichoderma harzianum</i> | Cepa Th-A001 | 10 ml (1x10 ⁸ esporas ml ⁻¹) |
| <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> | Cepa Ba-A001 | 10 ml (1x10 ⁹ UFC ml ⁻¹) |
| Fertilizante sintético (NPK) | Vigoro [®] | g L ⁻¹ |
| Fungicida/bactericida (hidróxido cúprico) | Cupravit-hidro [®] | 1 ml L ⁻¹ |
| Control (sin tratamiento) | - | |

Las bandejas se establecieron en una cámara de crecimiento bajo fotoperiodo 12-12 h (día/noche), temperatura 25-30 °C y humedad relativa de 60%. Los tratamientos se regaron semanalmente con agua destilada estéril para mantener la humedad del suelo. El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar con tres repeticiones, donde cada repetición correspondió a una bandeja plástica.

Composición microbiana del suelo

La población y diversidad microbiana del suelo de cada tratamiento (n= 24) se determinó en cada bandeja a partir de la obtención de cinco submuestras de suelo (0-10 cm de profundidad) al azar, antes (0 días) y después de la aplicación de los tratamientos (30 días). La población de hongos y bacterias se determinó por el método de Lipşa y Ulea (2018), mediante el recuento en placa de unidades formadoras de colonias (UFC) en 1 g de suelo, a través del método de diluciones seriadas de 1×10^{-3} . Para la siembra se utilizaron 200 µl.

El número de bacterias se cuantificó en agar nutritivo (Bioxon) y el de hongos en agar papa-dextrosa-agar (PDA) (Bioxon). Posteriormente pasaron por un periodo de incubación de 28 °C durante 48 h en el caso de bacterias y siete días en el caso de hongos. De cada muestra se purificaron los aislados para su identificación. La población total de nematodos se registró a través del método de extracción del embudo de Baerman (1917) y 48 h después se contabilizó el número de especímenes tanto fitopatógenos como saprofitos o de vida libre por cada 100 g de suelo.

Identificación

La identificación a nivel de género y especie de los aislados bacterianos y fúngicos; así como, de los especímenes nematológicos presentes en el suelo, se realizó en el Laboratorio de Fitopatología de UABCS, mediante microscopía de luz (40 x) para determinar las características propias de cada tipo de microorganismo, en relación a la forma, textura y color de su morfología, las cuales se compararon con claves taxonómicas como las de Barnnet y Hunter (1972) para hongos, Eisenback y Triantaphyllou (2020) para nematodos y Sher (1966) en bacterias.

Análisis estadístico

Los datos se obtuvieron mediante un análisis de Kruskal-Wallis con un nivel de significancia de 0.05. La diversidad (riqueza) de cada Filo se determinó a través de la abundancia relativa, mediante la fórmula de Muniappan y Muthukumar (2014).

$$\text{Abundancia relativa (\%)} = \frac{\text{Número de muestras con genero particular}}{\text{Número total de muestras evaluados}} \times 100$$

Así como el índice de Shannon-Wiener (H_0), mediante la fórmula de Shannon (1948). Donde: p_i es la proporción de cada taxón en la población total (P).

$$H_0 = \frac{P \cdot P_i}{P_i}$$

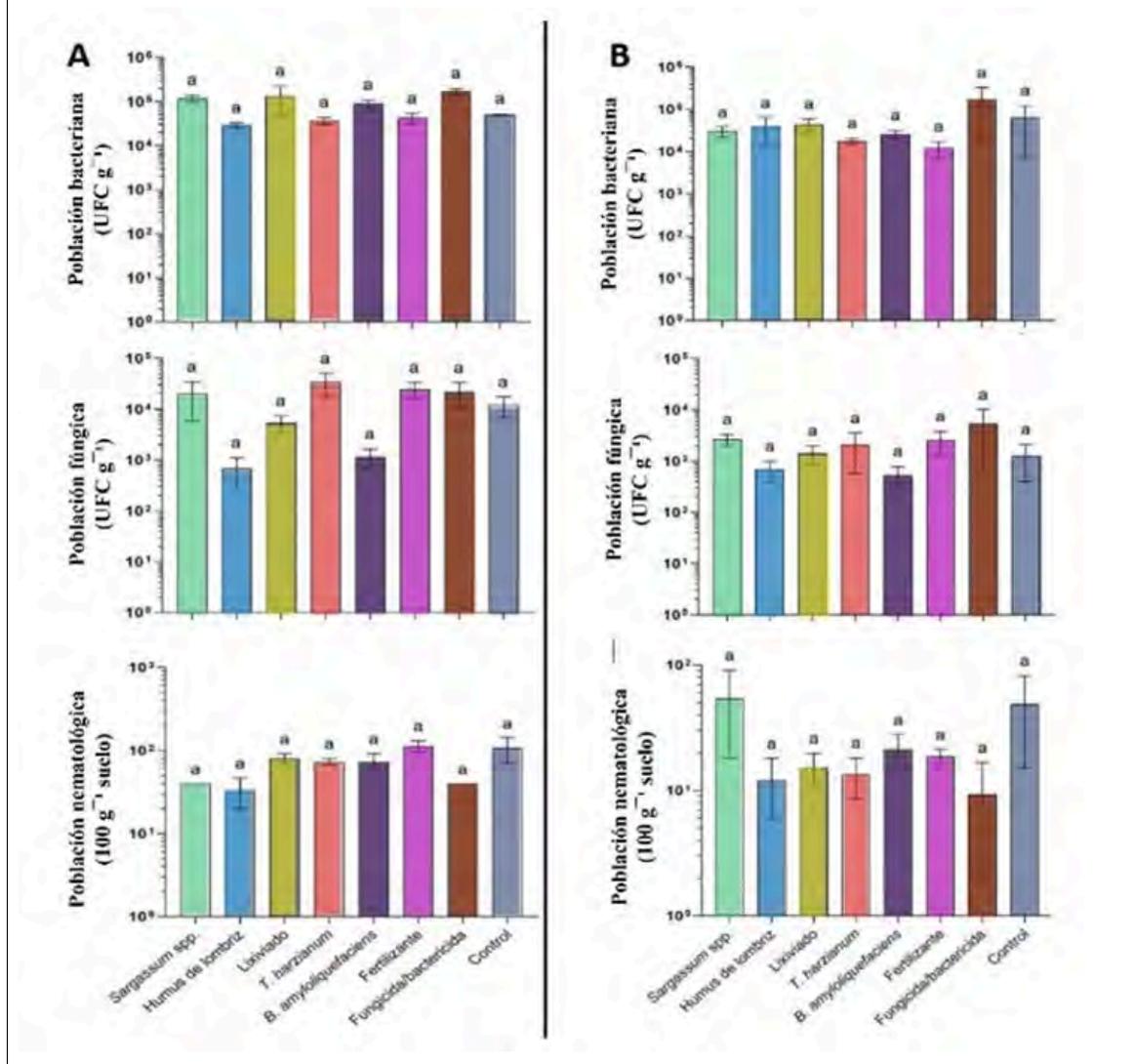
Resultados y discusión

Efecto de bioproductos en la población microbiana del suelo

Los datos obtenidos derivados de la evaluación de los cinco bioproductos (*Sargassum* spp., *humus* de lombriz, lixiviado, *T. harzianum*, *B. amyloliquefaciens*, fertilizante T17 y fungicida/bactericida, así como el control agua) sobre la población microbiana asociada a hongos, bacterias y nematodos no mostraron diferencias significativas ($p \neq 0.05$) entre los tratamientos al inicio y final de la evaluación (Figura 1). Es decir, en cada tiempo de evaluación, la diferencia entre poblaciones fue similar. Sin embargo, al comparar la población del día 0 al día 30, esta fue variable en la mayoría de los casos al aumentar o disminuir drásticamente.



Figura 1. Efecto de los bioproductos en la población microbiana. A) población inicial y B) población final.



En la población bacteriana, se observó que en la mayoría de los tratamientos disminuyeron las poblaciones al cabo de los 30 días. Esta disminución de la población puede ser atribuida al hecho de que los microorganismos entran en un periodo de adaptación a los cambios presentes en el suelo, como fue la introducción de las sustancias derivadas de los productos naturales evaluados.

Esto es consistente con lo reportado por Luo *et al.* (2020), quienes mencionan que los microorganismos del suelo son altamente sensibles a los cambios, de ahí su uso como indicadores biológicos de la degradación y restauración ecológica. En el caso de las bacterias, diversos estudios han confirmado que estas poseen un metabolismo diverso que generalmente sirve para adaptarse a varios ambientes (Manfredini *et al.*, 2021).

Sin embargo, en algunos casos como el uso de agroquímicos asociados a fungicidas y fertilizantes sintéticos generan un daño grave e irreversible en la actividad microbiana, al disminuir la acción de las enzimas e influir en la mineralización de la MO, la nitrificación, la denitrificación, la amonificación, las reacciones redox, y la metanogénesis (Chaves-Bedoya *et al.*, 2013).

Al respecto, los resultados obtenidos, aunque estadísticamente no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, éstos mostraron en la ecología del suelo que al día 0 la

población mayor la presentó el tratamiento fungicida/bactericida con un total de 1.66×10^{-5} UFC g^{-1} de suelo; sin embargo, esta disminuyó al día 30 registrando una población de 1.13×10^{-5} UFC g^{-1} de suelo, a excepción del tratamiento control, en el cual la población aumentó al pasar de 3.3×10^{-4} a 4.2×10^{-4} UFC g^{-1} de suelo.

Para la población fúngica, solo en el tratamiento de Humus, ésta aumentó ligeramente al pasar de 6.8×10^{-2} a 7×10^{-2} UFC g^{-1} de suelo. Mientras que en el resto de los tratamientos la población fue baja como fue el caso del tratamiento a base de *T. harzianum* al registrar una población inicial de 3.4×10^{-4} UFC g^{-1} de suelo, pero a los 30 días esta disminuyó a 2×10^{-3} UFC g^{-1} de suelo.

Para el caso de la población de nematodos, esta solo aumentó en el tratamiento *Sargassum* spp., al pasar de 13 nematodos por 100 g de suelo a 54 nematodos a los 0 y 30 días respectivamente. Estos resultados muestran que, aunque se ha demostrado que los productos biológicos y/o naturales poseen efectos benéficos en el suelo, en algunos casos los microbiomas edáficos pueden tener una respuesta negativa en su población.

Tal es el caso de la inoculación de microorganismos antagonistas, los cuales pueden afectar las poblaciones microbiológicas nativas. Asimismo, Li y Wu (2018), señalaron que, dentro de algunos manejos agrícolas usados para mejorar la calidad del suelo, no todos pueden tender a mejorar la población microbiana. Esto coincide con lo reportado por Fatriana *et al.* (2020), al evaluar el efecto del extracto de *Sargassum* spp., en el crecimiento del maíz y su respuesta en la población microbiana, donde comprobó la eficiencia de *Sargassum* spp., en el desarrollo vegetativo de la planta, pero no en el incremento de las colonias bacterianas y fúngicas.

Caso contrario a lo señalado por Russo y Beryln (1990), quienes reportan que las macroalgas marinas contienen polisacáridos y alginatos que activan el crecimiento de hongos y bacterias en la rizosfera. En este estudio, esta respuesta solo se pudo comprobar en el caso de la población nematológica, la cual presentó un aumento.

Abundancia relativa de bacterias, hongos y nematodos del suelo

Hongos

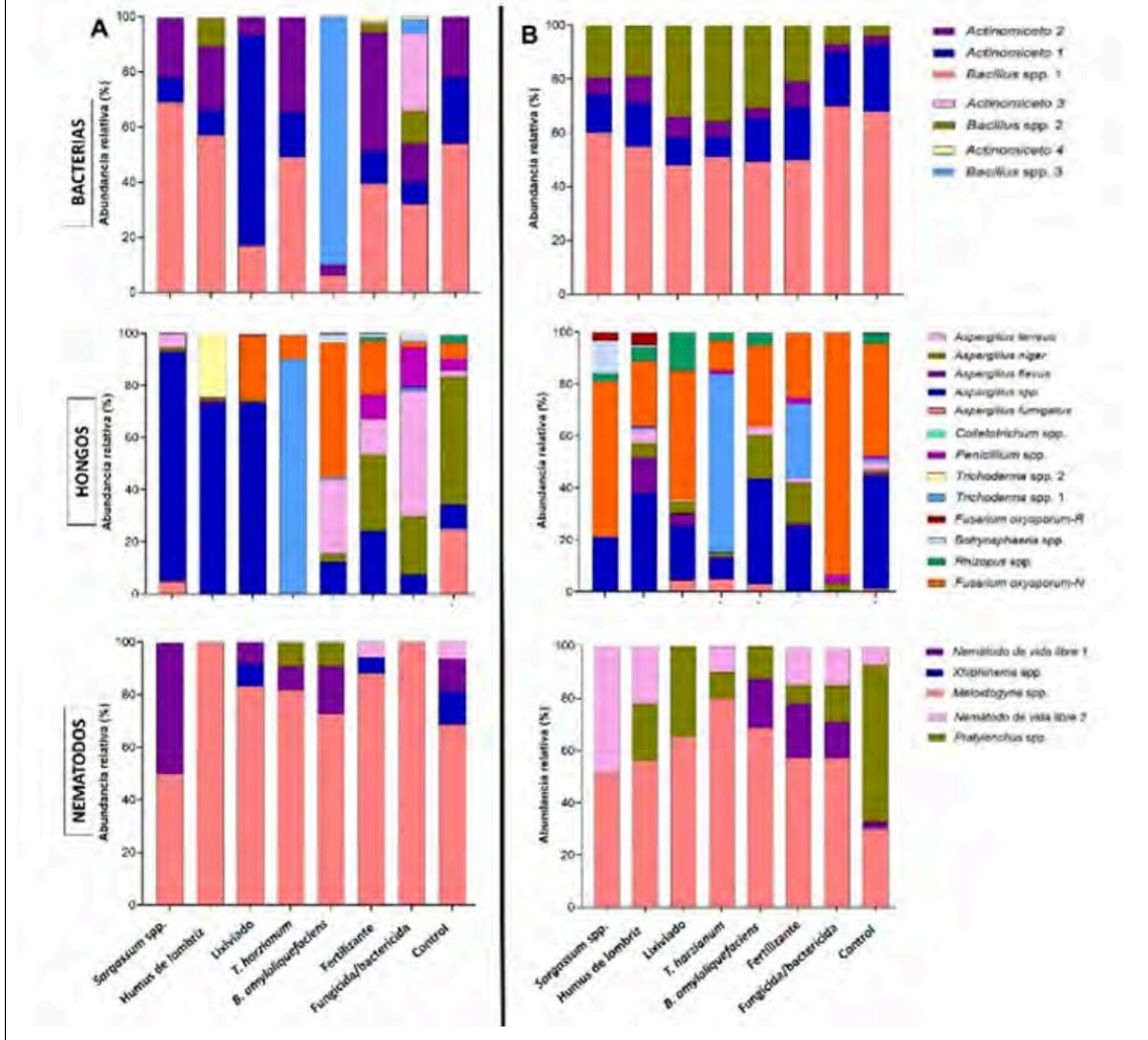
Al final de los 30 días de evaluación, el análisis del microbioma del suelo reveló un total de 264, 816 especímenes por gramo de suelo, donde el 93.37% de esta población correspondió a bacterias, 6.54% a hongos y 0.09% a nematodos. Estos especímenes estuvieron relacionados a ocho clases, nueve órdenes y 20 géneros. Del total de la población fúngica obtenida, se observó que al día 0 y 30, el orden eurotiales fue predominante (100% de abundancia relativa), al estar presente en todas las muestras de suelo evaluadas, seguido del orden Hypocreales con 75 y 100% de abundancia relativa al día 0 y 30 respectivamente.

El resto de los órdenes identificados correspondieron a Glomerellales, Mucorales y Botryosphaerales. Los hongos identificados estuvieron asociados a siete generos; *Aspergillus* (*A. fumigatus*, *A. flavus*, *A. niger*, *A. terreus* y una especie desconocida), *Trichoderma* (biotipo 1 y 2), *Fusarium oxysporum*, *Colletotrichum*, *Penicillium*, *Rhizopus* y *Botryosphaeria* (Figura 2).

Cada tratamiento presentó una variabilidad en la diversidad de géneros presentes durante la evaluación, donde al día 0, los tratamientos *Sargassum* spp., *humus*, *lixiviado* y *T. harzianum* presentaron una variabilidad de cinco hongos con diferente proporción de abundancia relativa, mientras que *B. amyloliquefaciens* y el fertilizante registraron ocho hongos (Figura 2).



Figura 2. Abundancia relativa de bacterias, hongos y nematodos. A) población inicial y B) final.



El tratamiento fungicida/bactericida y el control presentaron la mayor diversidad con ocho y 10 hongos en las muestras evaluadas. Sin embargo, al día 30 de evaluación, todos los tratamientos presentaron un aumento en el tipo de géneros fúngicos presentes a excepción del tratamiento a base de *B. amyloliquefaciens* y el fungicida/bactericida, donde esta variable de diversidad se vió disminuida, mientras que en el control se mantuvo. En ambos tiempos de evaluación, los hongos *Aspergillus*, *Trichoderma* y *Fusarium oxysporum* registraron más del 40% de abundancia relativa.

La respuesta de la variabilidad en la abundancia relativa de los géneros identificados a la acción de los bioproductos puede estar asociada al tipo de compuesto de cada tratamiento, el cual puede modificar el pH del suelo, la fertilidad y la temperatura del mismo. Esto coincide con lo reportado por Delgado-Baquerizo *et al.* (2018), quienes evaluaron los patrones ecológicos en la biodiversidad del suelo y la abundancia relativa de grupos ecológicos dentro de una coocurrencia y encontraron que factores tales como temperatura, el carbono del suelo, tipo de vegetación, la aridez y el pH regulan la diversidad de arqueas, bacterias y eucariotes.

En el caso del tratamiento a base del fungicida/bactericida, aunque no presentó un efecto negativo en la población, si influyó en la diversidad no solo de las comunidades fúngicas, si no también de las bacterias al disminuir la acción de algunas especies. Este fenómeno, pudo estar asociado a la acción del ingrediente activo a base de cobre sobre la morfología y metabolismo del hongo.

Esta respuesta es consistente con lo reportado por Golubeva *et al.* (2020), al señalar que un exceso de iones de cobre causa daño celular, debido a su unión a grupos funcionales, reemplazando cationes, induciendo estrés oxidativo y afectando el sistema de transporte de membrana. Estos cambios dentro de las hifas fúngicas, conducen a una producción reducida de población fúngica. Respecto a los hongos que presentaron mayor abundancia dentro del estudio (*Aspergillus*, *Trichoderma* y *Fusarium oxysporum*), los cuales pertenecen a la división Deuteromycota, están considerados como uno de los géneros comunes, los cuales poseen una diversidad de especies y biotipos que pueden distribuirse rápidamente en el suelo (Reverchon *et al.*, 2010).

Además, son considerados uno de los microorganismos saprófitos más eficientes en la degradación de materia orgánica y juegan un papel importante en el ciclo del carbono, nitrógeno y otros nutrientes del suelo, debido a que producen un amplio rango de enzimas lignocelulolíticas (Dix y Webster, 1995). Sin embargo, su distribución y abundancia puede estar condicionada a los diferentes nichos ecológicos.

Al respecto, Zhao *et al.* (2019), evaluaron el efecto de la restauración natural en las comunidades fúngicas y bacterianas en áreas semiáridas del sur de las montañas de Taihang y encontraron que las comunidades fúngicas presentes en el suelo correspondieron al tipo Ascomycota, Basidiomycota, Chytridiomycota, Zygomycota y Glomeromycota, siendo el grupo Ascomycota y Basidiomycota los más dominantes al presentar del 57 al 81% de la composición fúngica.

Asimismo, el incremento de tipos de géneros dentro de cada tratamiento pudo ser debido a la selección de tipos de sustratos para alimentarse que posee cada microorganismo en el suelo, lo que llevó a que otros tipos de hongos se activaran al cabo de los 30 días de evaluación y por lo tanto se mantuviera un equilibrio entre los tipos de microorganismos benéficos y patógenos, lo que ayuda en la regulación de los nichos, evitando que sea mayor la proliferación de organismos patógenos de plantas como es el caso de *Fusarium oxysporum*, *Colletotrichum* spp. y *Botryosphaeria* spp.

Bacterias

De los siete aislados bacterianos, solo se observaron dos clases, Bacilliales (con tres biotipos; *Bacillus* spp. 1, 2 y 3) y actinomicetales, éste último de mayor predominancia (57%) al presentar cuatro biotipos (Actinomiceto 1, 2, 3 y 4). Al cabo de los 30 días, el *Bacillus* 3 y dos actinomicetos (3 y 4), se inactivaron con los tratamientos al no estar presentes en las muestras analizadas (Figura 2, A y B). Como en el caso de los hongos, cada tratamiento presentó una variabilidad en la diversidad bacteriana, donde al día 0, los tratamientos *Sargassum* spp., *T. harzianum*, *B. amyloliquefaciens* y el control registraron una variabilidad de tres bacterias con diferente proporción de abundancia relativa, mientras que *humus* y *lixiviado* presentaron cuatro tipos de bacterias.

El tratamiento fertilizante y el fungicida/bactericida presentaron mayor diversidad con seis y siete bacterias aisladas. Al día 30 de evaluación, todos los tratamientos provocaron una disminución al registrar una diversidad de solo cuatro bacterias en las muestras analizadas. Las bacterias que mayormente predominaron en ambos tiempos de evaluación, fueron las clasificadas como *Bacillus* 1 y los actinomicetos 1 y 2 con una abundancia relativa mayor a 50, 7 y 4% respectivamente al cabo de los 30 días.

Esta respuesta respecto a la abundancia establecida de las bacterias al final del experimento, puede estar asociada a una regulación propia de dichas comunidades, debido al tipo de sustrato favorable como alimento, lo cual lleva a una interacción entre estas durante su crecimiento. Tal como lo reporta Yang *et al.* (2020), al señalar que existe un intercambio común de información entre las bacterias y que los individuos de esta o diferente especie compiten o cooperan a través de su desarrollo en los ambientes.

Estos resultados obtenidos son de gran relevancia en la información generada, ya que en base a estas respuestas de los microorganismos a los diferentes bioproductos se pueden tener mayor conocimiento de sus biología. Al respecto, Mulawarman *et al.* (2001), evaluaron el efecto de

productos naturales tales como TerraPy, Magic Wet y Quitosan considerados como revitalizadores del suelo sobre la densidad poblacional de hongos, bacterias y nematodos del suelo y la estimulación del crecimiento de la planta de tomate durante 15 días.

Los resultados mostraron que la población de bacterias aumento hasta cuatro veces más, pero su diversidad no se vio alterada o disminuida. En el tipo de bacterias identificadas, las del género *Bacillus* fue mayor al presentar 42% de abundancia. Mientras que, en el caso de nematodos, los de tipo saprofíticos fue mayor, respecto a los fitoparásitos. Estos resultados muestran el efecto positivo que los productos naturales en la estimulación de la actividad microbiana del suelo, donde los potenciales antagonistas reducen la infestación de los patógenos y mejoran el crecimiento de las plantas.

Nematodos

Para el caso de la abundancia relativa en nematodos, los órdenes identificados tales como Tylenchida y Dorylaimida, registraron dos y un género cada uno correspondiente a *Meloidogyne* spp., *Pratylenchus* spp. y *Xiphinema* spp. Además, se encontró la presencia de dos tipos de nematodos de vida libre (Figura 2). La relación e interacción de estos tipos de nematodos dentro de un ecosistema es crucial importancia para el mantenimiento de los nichos ecológicos.

Tal como lo señala Laasli *et al.* (2022), quienes mencionan que la coocurrencia de nematodos fitoparásitos con nematodos de vida libre es parte crucial en la diversidad del suelo, ya que estas relaciones ecológicas de coexistencia de especies de nematodos que comparten el mismo recurso tienen usos potenciales para un control biológico más efectivo y el uso de enmiendas orgánicas para fomentar la supresión de enfermedades.

Además, Villenave *et al.* (2009), señalan que el conocimiento de la estructura de la comunidad de nematodos proporciona información relacionada con los diferentes procesos realizados en el suelo, la red alimentaria en el mismo y el estado de estabilidad de los agroecosistemas y su biodiversidad. Además, se ha demostrado que los nematodos mejoran las propiedades físicas del suelo, en las que pueden promover la transformación de carbono y nitrógeno.

En el caso de los nematodos fitoparásitos, estos son considerados polífagos en la naturaleza, en particular el nematodo agallador (*Meloidogyne* spp.), el cual es capaz de infectar un amplio rango de plantas hospederas (Saroj *et al.*, 2018). Además, junto con el nematodo daga (*Xiphinema* spp.) y el nematodo lesionador (*Pratylenchus* spp.), son unos de los grupos más comunes en el suelo y provocan pérdidas económicas significativas a nivel mundial. Esto hace extremadamente difícil su control mediante la rotación de cultivos (Seid *et al.*, 2021).

Al día 0, *Meloidogyne* spp., se encontró en el 100% de los tratamientos con una abundancia relativa mínima de 80% y máxima de 100%, seguido de *Xiphinema* spp., al estar presente solo en tres de los ocho tratamientos (37%), con una abundancia relativa mínima y máxima de 5 a 12%. En el caso de *Pratylenchus* spp., su presencia se registró en solo dos tratamientos (25%), con una abundancia promedio de 9%. Los nematodos de vida libre (1 y 2), mostraron una abundancia de 62 y 25% respectivamente.

Sin embargo, al día 30 de evaluación, la abundancia de los microorganismos varió significativamente, donde *Meloidogyne* spp., se mantenía presente en todos los tratamientos solo que su abundancia relativa varió al disminuir su valor mínimo a 30% y su máximo a 79%. El género *Xiphinema* spp., ya no estuvo presente en ningún tratamiento, mientras que *Pratylenchus* spp., se registró en el 87% de todos los tratamientos con una abundancia relativa alta al presentar una abundancia mínima de 7% y una máxima de 60%.

Asimismo, en el caso de los nematodos de vida libre 1 y 2, al estar presentes en el 50 y 75% de los tratamientos respectivamente, con una abundancia relativa mínima de 2 y 5% y una máxima de 21 y 49%. En estos dos últimos organismos, se observó que su población aumento independientemente de la aplicación de bioproductos, lo que puede estar asociado a su amplia capacidad de adaptación a los diferentes tipos de sustratos.

Al respecto, diversos estudios señalan que los nematodos de vida libre pueden estar presentes hasta en ambientes extremos, debido a su adaptación ecofisiológica asociada a su capacidad para cambiar entre las etapas de actividad y ‘anhidrobiosis’ en estaciones húmedas versus estaciones secas (extremas) (Levi *et al.*, 2012).

Diversidad microbológica del suelo

El índice de diversidad microbiana se presenta en el Cuadro 2. Los resultados muestran que los tratamientos evaluados poseen una influencia en la diversidad de microorganismos presentes en el suelo y por ende, es posible considerar que estas sustancias pueden incidir también sobre las características del mismo. Esto es consistente con lo que reporta Doran (2002), al señalar que la diversidad y las funciones del suelo determinan su calidad, debido a su capacidad para funcionar dentro de un ecosistema dado para sostener la producción orgánica, mantener la calidad ambiental y promover la salud de las plantas.

Cuadro 2. Efecto de bioproductos en la índice diversidad de Shannon.

| Tratamientos | 0 días | | 30 días | |
|-----------------------------|---------|---------------------|---------|---------------------|
| | Media | Desviación estándar | Media | Desviación estándar |
| <i>Sargassum</i> spp. | 0.2127 | 0.3683 | 0.1423 | 0.1277 |
| Humus de lombriz | 0.119 | 0.1094 | 0.111 | 0.1503 |
| Lixiviado | 0.2203 | 0.1101 | 0.1293 | 0.1219 |
| <i>T. harzianum</i> | 0.4983 | 0.3143 | 0.2743 | 0.2587 |
| <i>B. amyloliquefaciens</i> | 0.08433 | 0.07123 | 0.1173 | 0.1032 |
| Fertilizante | 0.6187 | 0.1487 | 0.445 | 0.2845 |
| Fungicida/bactericida | 0.097 | 0.168 | 0.03167 | 0.03814 |
| Control | 0.3893 | 0.3375 | 0.1183 | 0.117 |

Se puede destacar que en el tratamiento a base de fertilizante la diversidad fue mayor en ambos tiempos de evaluación (0 y 30 días) comparado con el resto de los tratamientos, seguido del tratamiento correspondiente a *T. harzianum*, así como el tratamiento control. En orden de importancia, siguieron *Sargassum* spp. y lixiviado con una diversidad menor. Mientras que los tratamientos que redujeron significativamente el índice de diversidad fueron *B. amyloliquefaciens*, fungicida/bactericida y el *humus*.

Conclusiones

En resumen, nuestros resultados mostraron que la composición de la microbiota bacteriana, fúngica y nematológica presente en el suelo, está influenciada por la acción de los bioproductos aplicados al suelo y estos microbiomas presentaron una respuesta diferencial a los mismos. La reducción en la población y el aumento de la diversidad microbiana fueron asociados al tipo de bioproducto y la capacidad de los microorganismos para adaptarse a los cambios en el suelo.

Estos resultados proveen evidencia nueva sobre los cambios en la abundancia relativa y la diversidad del microbioma dentro de los nichos ecológicos en suelos de zonas áridas, al ser modificados mediante la aplicación de productos naturales. Esta información es relevante en el entendimiento de la respuesta de las comunidades microbianas y provee nuevas perspectivas para el manejo de suelos agrícolas.

Bibliografía

- 1 Baerman, G. K. T. F. 1917. Eine einfache methode zur auffindingvon ankylostomum (Nematoden) Larven in erdproben. Geneesk. Tijdschr. Nederl. Indie. 57(1):131-137.

- 2 Bardgett, R. D. and Van-Putten, W. H. 2014. Belowground biodiversity and ecosystem functioning. *Nature*. 515(1):05-511.
- 3 Barnett, H. L. and Hunter, B. B. 1972. Illustrated genera of imperfect fungi. EE. UU. Burgess Publ. Co. 241 p.
- 4 Cevallos, S. M.; Urdaneta, O. F. y Jaimes, J. E. 2019. Desarrollo de sistemas de producción agroecológica: Dimensiones e indicadores para su estudio. *Revista de Ciencias Sociales*. 25(3):172-185.
- 5 Chaves-Bedoya, G.; Ortíz-Moreno, M. L. y Ortiz-Rojas, L. Y. 2013. Efecto de la aplicación de agroquímicos en un cultivo de arroz sobre los microorganismos del suelo. *Ciencia del suelo. Acta Agronómica*. 62(1):66-72.
- 6 Delgado-Baquerizo, M.; Reith, F.; Dennis, P. G.; Hamonts, K.; Powell, J. R.; Young, A.; Singh, B. K. and Bissett, A. 2018. Ecological drivers of soil microbial diversity and soil biological networks in the Southern Hemisphere. *Ecology*. 99(3):583-596. Doi: 10.1002/ecy.2137. 29315.
- 7 Dix, N. J. and Webster, J. 1995. Fungal ecology. Universidad de Dundee. Primera edición. Editorial Chapman & Hall. London. ISBN-13 978-0412641305. 568 p.
- 8 Doran, J. W. 2002. Soil health and global sustainability: translating science into practice. *Agriculture Ecosystems and Environment*. 88(2):119-127.
- 9 Eisenback, J. D. and Triantaphyllou, H. H. 2020. Root-knot nematodes: *Meloidogyne* species and races. *In: Manual of Agricultural Nematology*. W. R. Nickle. (Ed). Marcel Dekker, New York. 281-286 pp.
- 10 Fatriana, M. W.; Caronge, Y. A.; Djawad, N.; Bourgougnon, A. T.; Makkulawu, and Jumadi O. 2020. Effect of application of algae *Sargassum* sp. extract to corn plants (*Zea mays* L.) and microbial response. *Earth and Environmental Science*. 484(1):1-9. Doi: 10.1088/1755-1315/484/1/012058.
- 11 FAO. 2017. Food and Agriculture Organization of the United Nations. The future of food and agriculture: Trends and challenges. Rome, Italia.
- 12 Gazolla, V. C.; Bruno, B. L.; Freitas, B. J.; de São, J. F. Beneduzi A.; Eichelberger, G. C. and Kayser, L. V. 2022. Soil-plant-microbiota interactions to enhance plant growth. *Revista Brasileira de Ciencias*. 46(1). DOI: 10.36783/18069657rbc20210098.
- 13 Golubeva, P.; Ryo, M.; Muller, L. A. H.; Ballhausen, M. B.; Lehmann, A.; Sosa-Hernández, M. A. and Rillig, M. C. 2020. Soil saprobic fungi differ in their response to gradually and abruptly delivered copper. *Frontiers in Microbiology*. 17(11):1-7. Doi: 10.3389/fmicb.2020.01195.
- 14 Laasli, S. E.; Mokrini, F.; Lahlali, R.; Wuletaw, T.; Paulitz, T. and Dababat, A. A. 2022. Biodiversity of nematode communities associated with wheat (*Triticum aestivum* L.) in Southern Morocco and their contribution as soil health bioindicators. *Diversity*. 14(194):1-27. Doi.org/ 10.3390/d14030194.
- 15 Levi, T.; Sherman, C.; Pen-Mouratov, S. and Steinberger, Y. 2012. Changes in soil free-living nematode communities and their trophic composition along a climatic gradient. *Open Journal of Ecology*. 2(2):79-89. Doi.org/ 10.4236/oje.2012.22010.
- 16 Li, S. and Wu, F. 2018. Diversity and co-occurrence patterns of soil bacterial and fungal communities in seven intercropping systems. *Frontiers in Microbiology. Plant Pathogen Interactions*. 9:1-13. Doi.org/ 10.3389/fmicb.2018.01521.
- 17 Lip#a, F. D. and Ulea, E. 2018. Practicum de microbiologie alimentar#, Ed. Ion Ionescu de la Brad Ia#. Editura Ion Ionescu de la Brad. 163 p. ISBN 978-973-147-286-7.
- 18 Luo, Z.; Ma, J.; Chen, F.; Li, X.; Zhang, Q. and Yang, Y. 2020. Adaptive development of soil bacterial communities to ecological processes caused by mining activities in the Loess Plateau, China. *Microorganisms*. 8(4):1-22. Doi.org/ 10.3390/microorganisms8040477.

- 19 Manfredini, A.; Malusà, E.; Costa, C.; Pallottino, F.; Mocali, S.; Pinzari, F. and Canfora, L. 2021. Current methods, common practices, and perspectives in tracking and monitoring bioinoculants in soil. *Frontiers in Microbiology*. 12:1-22. Doi: 10.3389/fmicb.2021.698491.
- 20 Massaglia, S.; Borra, D.; Peano, C.; Sottile, F. and Merlino, V. M. 2019. Consumer preference heterogeneity evaluation in fruit and vegetable purchasing decisions using the best-worst approach. *Foods*. 8:1-19. Doi: 10.3390/foods8070266.
- 21 Mulawarman, J. H.; Bell, D.; Kopp-Holtwiesche, B. and Sikora, R. A. 2001. Effects of natural products on soil organisms and plant health enhancement. *Meded Rijksuniv Gent Fak Landbouwkd Toegep Biol Wet*. 66(2b):609-17.
- 22 Muniappan, V. and Muthukumar, T. V. 2014. Influence of crop species and edaphic factors on the distribution and abundance of *Trichoderma* in Alfisol soils of southern India. *Acta Botanica Croatica*. 73(1):37-50. Doi: 10.2478/botcro-2013-0004.
- 23 Ranjha, M. M. A. N.; Shafique, B. and Wang, L. 2021. A comprehensive review on phytochemistry, bioactivity and medicinal value of bioactive compounds of pomegranate (*Punica granatum*). *Adv. Tradit. Med*. 23. 1-22 pp. <https://doi.org/10.1007/s13596-021-00566-7>.
- 24 Ranjha, M. M. A. N.; Shafique, B.; Khalid, W.; Nadeem, H. R.; Mueen-ud-Din, G. and Khalid, M. Z. 2022. Applications of biotechnology in food and agriculture: a MiniReview, *Proc. Natl. Acad. Sci., India. Sect. B. Biol. Sci*. 92(1):11-15 <https://doi.org/10.1007/s40011-021-01320-4>.
- 25 Reverchon, F.; Ortega-Larrocea, P. M. and Pérez-Moreno, J. 2010. Saprophytic fungal communities change in diversity and species composition across a volcanic soil chronosequence at Sierra del Chichinautzin, Mexico. *Annals of Microbiology*. 60:217-226. Doi: 10.1007/s13213-010-0030-7.
- 26 Russo, R. O. and Beryln, G. P. 1990. The use of organic biostimulants to help low input sustainable agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture*. 1(2):19-42.
- 27 Sangiorgio, D.; Spinelli, F. and Vandelle, E. 2022. The unseen effect of pesticides: The impact on phytobiota structure and functions. *Frontiers in Agronomy*. 4:1-13. Doi: 10.3389/fagro.2022.936032.
- 28 Saroj, Y.; Jaydeep, P. and Kanwar, R. S. 2018. The role of free-living nematode population in organic matter recycling. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 7(06):1-10. doi.org/ 10.20546/ijcmas.2018.706.
- 29 Seid, A.; Imren, M.; Ali, M. A.; Toumi, F.; Paulitz, T. and Dababat, A. A. 2021. Genetic resistance of wheat towards plant-parasitic nematodes: status and future prospects. *Biotech Studies*. 30(1):43-62.
- 30 Shannon, C. E. 1948. A mathematical theory of communication. *Bell Syst. Technol*. 27(1):379-423.
- 31 Sher, S. A. 1966. Revision of the Hoplolaiminae (Nematoda) VI. *Helicotylenchus* Steiner, 1945 1. *Nematologica*. 12(1):1-56.
- 32 Suman, J.; Rakshit, A.; Ogireddy, S. D.; Singh, S.; Gupta, C. and Chandrakala, J. 2022. Microbiome as a key player in sustainable agriculture and human health. *Frontiers in Soil Sciences*. 2(1):1-13. Doi: 10.3389/fsoil.2022.821589.
- 33 Swaroop, R. M.; Kumar, S.; Datta, R.; Lal, R.; Vijayakumar, V.; Brtnicky, M.; Sharma, M. P.; Yadav, G. S.; Jhariya, M. K.; Jangir, C. K.; Pathan, S. I.; Dokulilova, T.; Pecina, V. and Marfo, T. D. 2020. Impact of agrochemicals on soil microbiota and management: A Review. *Land*. 9(2):1-21. Doi.org/ 10.3390/land9020034.
- 34 Villenave, C. P.; Ba, A. O. and Rabary, B. 2009. Analyse du fonctionnement biologique du sol par l'étude de la nématofaune: Semis direct versus labour sur les hautes terres près d'Antsirabé (Madagascar). *Etude Gest. Sols*. 6(3):369-378.

- 35 Yang, M.; Meng, F.; Gu, W.; Li, F.; Tao, Y.; Zhang, Z.; Zhang, F.; Yang, X.; Li, J. and Yu, J. 2020. Effects of natural products on bacterial communication and network-quorum sensing. *Hindawi BioMed. Research International*. 10 p. Doi.org/ 10.1155/2020/8638103.
- 36 Zhao, H.; Li, X.; Zhang, Z.; Yang, J. T.; Zhao, Y.; Yang, Z. and Hu, Q. 2019. Effects of natural vegetative restoration on soil fungal and bacterial communities in bare patches of the southern Taihang Mountains. *Ecology and Evolution*. 9(18):10432-10441. Doi: 10.1002/ece3.5564.
- 37 Zou, Q.; An, W. H. and Wu, C. 2017. Red mud-modified biochar reduces soil arsenic availability and changes bacterial composition. *Environm. Chem. Lett.* 16(1):615-622. Doi.org/ 10.1007/s10311-017-06881.



Eficacia de bioproductos sobre la población y diversidad microbiana de un suelo agrícola en zonas áridas

| |
|--|
| Journal Information |
| Journal ID (publisher-id): remexca |
| Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas |
| Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc |
| ISSN (print): 2007-0934 |
| Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias |

| |
|---------------------------------------|
| Article/Issue Information |
| Date received: 01 September 2024 |
| Date accepted: 01 January 2025 |
| Publication date: 03 March 2025 |
| Publication date: Jan-Feb 2025 |
| Volume: 16 |
| Issue: 1 |
| Electronic Location Identifier: e3366 |
| DOI: 10.29312/remexca.v16i1.3366 |

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

ecología
microbioma
microorganismos
riqueza

Counts

Figures: 2
Tables: 2
Equations: 2
References: 37
Pages: 0