INSTITUTO LATINOAMERICANO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA NATURALEZA (ILACVN)

BIOTECNOLOGÍA

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE BIOFERTILIZANTES DE MICROORGANISMOS EFICIENTES Y VERMICOMPOST EN EL CULTIVO DE MAÍZ *(Zea mays* L.*)*

NATALIA RUBI TOLEDO PEREZ

Foz do Iguaçu
2024

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

INSTITUTO LATINOAMERICANO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA NATURALEZA (ILACVN)

BIOTECNOLOGÍA

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE BIOFERTILIZANTES DE MICROORGANISMOS EFICIENTES Y VERMICOMPOST EN EL CULTIVO DE MAÍZ *(Zea mays* L.*)*

NATALIA RUBI TOLEDO PEREZ

Trabajo de Conclusión de Curso presentado al Instituto Latinoamericano de las Ciencias de la Vida y de la Naturaleza de la Universidad Federal de la Integración Latinoamericana, como requisito parcial a la obtención del título de Bachiller en Biotecnología.

Orientador: Prof. Cristian Antonio Rojas
Co-orientadora: María Esther Vivanco Suazo

Foz do Iguaçu
2024

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

NATALIA RUBI TOLEDO PEREZ

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE BIOFERTILIZANTES DE MICROORGANISMOS EFICIENTES Y VERMICOMPOST EN EL CULTIVO DE MAÍZ *(Zea mays* L.*)*

Trabajo de Conclusión de Curso presentado al Instituto Latinoamericano de las Ciencias de la Vida y de la Naturaleza de la Universidad Federal de la Integración Latinoamericana, como requisito parcial a la obtención del título de Bachiller en Biotecnología.

BANCA EXAMINADORA

_____
Orientador: Prof. Dr. Cristian Antonio Rojas
UNILA

_____
Co-Orientadora: B.Sc. María Esther Vivanco Suazo
UNILA

_____
Prof. Dr Samuel Henrique Kamphorst
UNILA

_____
Prof. Dra Tathianne Pastana de Souza Poltronieri
IDOMED

Foz do Iguaçu, 15 de octubre de 2024.

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

Dedico este trabajo a todos los pequeños agricultores que, con gran esfuerzo, cultivan nuestros alimentos, y que muchas veces no reciben el valor justo por lo que producen.

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto representa mucho más que el resultado de meses de estudio. Es la culminación de una aventura que no hubiera sido posible sin el apoyo de tantas almas increíbles que me han acompañado en este camino.

Agradezco, primero a Dios por darme la fuerza, la salud y cada oportunidad que me ha permitido avanzar.

A mis padres, quienes han sido el pilar inamovible de esta travesía, sin su guía y su apoyo incondicional nada de esto hubiera sido imaginable. Gracias por ser mi faro, incluso en los momentos más inciertos.

A mi orientador, profesor Cristian, por su orientación en este trabajo y por permitirme participar en otros proyectos que son de gran interés para mí. Y a mi co-orientadora, María, quien, además de brindarme su amistad, me acompañó y guió en cada etapa de este trabajo.

A mis hermanos: Margine, siempre presente, Cris, Gisell y Josué, que desde la distancia han sido mi refugio emocional. Gracias por estar, por sus palabras cuando más las necesitaba y por creer en mí, incluso cuando yo dudaba.

Al tío Ariel, por haber plantado esa semilla de convicción en mi papá para que diera el valiente paso de permitirnos viajar a este país que, aunque ajeno se convirtió en hogar y también a su familia por todo el apoyo brindado.

A mis amigas Rochi, Vivi, Grecia e Isa, cómplices incansables en esta aventura, que no solo compartimos horas de estudio, sino también risas, lágrimas y recuerdos que atesoro. Ustedes hicieron que este viaje no fuera solo académico, sino también humano. La amistad que forjamos es, sin duda, uno de los regalos más valiosos de esta experiencia.

A mis amigos de facultad (Bernie, Jonathan y Lucas), por ser esa buena onda que alivió las largas jornadas y me recordaron que, al final, no estamos solos en esta carrera. Gracias por las conversaciones, las risas y las experiencias compartidas.

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

En la naturaleza, nada existe solo

Rachel Carson

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

RESUMEN

Los fertilizantes químicos se utilizan ampliamente en la agricultura para aumentar la producción de alimentos; sin embargo, su uso excesivo ha generado preocupaciones sobre los efectos negativos en la salud y el medio ambiente. Por ello, se han adoptado estrategias para mitigar estos impactos y fomentar prácticas agrícolas más sostenibles. En este contexto, los biofertilizantes han ganado relevancia, ya que promueven la biodiversidad y reducen la dependencia de insumos químicos. Estos fertilizantes contienen microorganismos vivos que, al ser aplicados en semillas, plantas o suelo, colonizan la rizosfera o el interior de las plantas, facilitando su crecimiento al mejorar la disponibilidad de nutrientes esenciales. Este trabajo tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de biofertilizantes basados en microorganismos eficientes (EM) y vermicompost (Vc) en el cultivo de maíz (*Zea mays L.).* Se prepararon los EM a partir de hojarasca forestal fermentada y se obtuvo vermicompost para su posterior aplicación en el maíz desde la etapa vegetativa VE hasta V5. Se evaluaron los parámetros agronómicos: altura, tamaño de raíz, peso fresco y seco de la parte aérea y la raíz, y la concentración de clorofila, utilizando el test ANOVA – test Scott-Knott al nivel de significación de 0,05 utilizando el software estadístico Sisvar. Los resultados estadísticos indican que el vermicompost y la combinación de EM con vermicompost mejoraron significativamente el crecimiento aéreo, peso fresco aéreo, peso seco raíz y peso seco aéreo, mientras que no se observaron diferencias significativas en el crecimiento y peso fresco de la raíz. Se demostró que el vermicompost fue el tratamiento más efectivo, debido a su capacidad de retener agua y su rica comunidad microbiana. Aunque la combinación de EM y Vc no mostró mayores beneficios, se sugiere que la competencia entre microorganismos podría haber limitado su efectividad, subrayando la importancia de estudiar las interacciones microbianas en el uso de biofertilizantes.

Palabras clave: biofertilizantes; microorganismos; hongos; bactérias; maíz

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

RESUMO

Os fertilizantes químicos são amplamente utilizados na agricultura para aumentar a produção de alimentos; no entanto, o uso excessivo deles tem gerado preocupações quanto aos impactos negativos na saúde e no meio ambiente. Por isso, estratégias têm sido adotadas para mitigar esses efeitos e promover práticas agrícolas mais sustentáveis. Nesse contexto, os biofertilizantes têm ganhado relevância, pois promovem a biodiversidade e reduzem a dependência de insumos químicos. Esses fertilizantes contêm microrganismos vivos que, ao serem aplicados nas sementes, plantas ou solo, colonizam a rizosfera ou o interior das plantas, facilitando seu crescimento ao melhorar a disponibilidade de nutrientes essenciais. Este trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de biofertilizantes baseados em microrganismos eficientes (EM) e vermicomposto (Vc) no cultivo de milho (*Zea mays L.).* Os EM foram preparados a partir de folhas de mata fermentadas e o vermicomposto foi obtido para aplicação posterior no milho, desde o estágio vegetativo VE até o V5. Foram avaliados parâmetros agronômicos como altura, tamanho da raiz, peso fresco e seco da parte aérea e da raiz, além da concentração de clorofila, utilizando o teste ANOVA – test Scott-Knott ao nível de significância de 0,05 com o software estatístico Sisvar. Os resultados estatísticos indicaram que o vermicomposto e a combinação de EM com vermicomposto melhoraram significativamente o crescimento da parte aérea, peso fresco da parte aérea, peso seco da raiz e peso seco da parte aérea, enquanto não foram observadas diferenças significativas no crescimento e peso fresco da raiz. Foi demonstrado que o vermicomposto foi o tratamento mais eficaz, devido à sua capacidade de reter água e sua rica comunidade microbiana. Embora a combinação de EM e Vc não tenha mostrado maiores benefícios, sugere-se que a competição entre microrganismos pode ter limitado sua eficácia, destacando a importância de estudar as interações microbianas no uso de biofertilizantes.

Palavras-chave: biofertilizantes; microrganismos; fungos; bactérias; milho

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

ABSTRACT

Chemical fertilizers are widely used in agriculture to enhance food production. However, their excessive use has raised concerns about negative impacts on both health and the environment. Consequently, alternative strategies have been adopted to mitigate these effects and promote more sustainable agricultural practices. Biofertilizers, which promote biodiversity and reduce reliance on chemical inputs, have gained prominence in this context. These fertilizers contain living microorganisms that colonize the rhizosphere or plant interiors when applied to seeds, plants, or soil, thereby facilitating growth by improving nutrient availability. This study aimed to evaluate the effectiveness of biofertilizers based on efficient microorganisms (EM) and vermicompost (Vc) in the cultivation of maize (*Zea mays* L.). The EMs were prepared from fermented forest leaves, and vermicompost was obtained for application during maize's vegetative stages, from VE to V5. Agronomic parameters including plant height, root size, fresh and dry weight of shoots and roots, and chlorophyll concentration were assessed using ANOVA with the Scott-Knott test at a 0.05 significance level, analyzed via the statistical software Sisvar. The results indicated that vermicompost and the combination of EM with vermicompost significantly improved shoot growth, fresh shoot weight, root dry weight, and shoot dry weight, whereas no significant differences were found in root growth or fresh root weight. Vermicompost proved to be the most effective treatment due to its water retention properties and rich microbial community. Although the combination of EM and Vc did not show greater benefits, the potential competition between microorganisms may have limited its effectiveness, underscoring the need for further research into microbial interactions in biofertilizer applications.

Keywords: biofertilizers; microorganisms; fungi; bactéria; maize

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Clasificación de los biofertilizantes 15
Figura 2 – Vías clave de transformación/adquisición de nutrientes mediadas por microbios y asociadas a los biofertilizantes. 20
Figura 3 – Mecanismos utilizados por microorganismos eficientes en el suelo y plantas. 22
Figura 4 – Proceso de vermicompost 24
Figura 5 – Lombriz californiana roja (*Eisenia foetida*) 25
Figura 6 – Ubicación de la Trilha do Vietnã, Foz do Iguaçu 28

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1 – Material en descomposición de color blanquecino.....29
Fotografía 2 – Fermentación sólida de microorganismos eficientes - compactación 30
Fotografía 3 – Maíz híbrido variedad BR 106.....31
Fotografía 4 – Compostera casera de lombricultura 32
Fotografía 5 – Fermentación líquida de microorganismos eficientes 35
Fotografía 6 – Tratamientos Experimentales en el Cultivo de Maíz (*Zea mays* L.) en estadio V6 36
Fotografía 7 – Preparación del cultivo de maíz para evaluación morfológica 36

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 – Tratamientos utilizados para el cultivo vegetal 33
Tabla 2 – Análisis Estadístico ANOVA - test Scott - Knott (medias) al 0,05 de significancia.....44

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Altura de planta de maíz 37
Gráfico 2 – Tamaño de la raíz 37
Gráfico 3 – Peso fresco de la parte aérea 38
Gráfico 4 – Peso fresco de las raíces.....38
Gráfico 5 – Peso seco de la parte aérea 39
Gráfico 6 – Peso seco de la raíz 39
Gráfico 7 – Concentración de la clorofila en plantas de maíz por tratamiento 40

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABA	Ácido Abscísico
AL3+	Aluminio
BNF	Fijación Biológica de Nitrógeno
CK	Citoquininas
EM	Microorganismos Eficaces o Eficientes
EPS	Proteínas o Sustancias Exopoliméricas
ET	Etileno
Fe3+	Ion férrico
GA	Giberelinas
H2S	Sulfuro de hidrógeno
IAA	Ácido Indol Acético
K+	Potasio
KSB	Bacterias Solubilizadoras de Potasio
N_2	Gas de nitrógeno
NH_3	Amoníaco
NH4+	Ion de amonio
NO_3^-	Nitrato
P	Fósforo
PSB	Bacterias Solubilizadoras de Fosfato
PSF	Hongos Solubilizadores de Fosfato
PGPB	Bacterias Promotoras de Crecimiento de las Plantas
PGPF	Hongos Promotores de Crecimiento de las Plantas
$SO4^{2-}$	Sulfato
VC	Vermicompost
Zn2+	Ion de zinc

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

SUMARIO

INTRODUCCIÓN ……...12

2 MARCO TEÓRICO 14

2.1 BIOFERTILIZANTES 14

2.1.1 Clasificación de los biofertilizantes 14

2.1.1.1 Bacterias fijadoras de nitrógeno..... 14

2.1.1.2 Biofertilizantes solubilizadores de potasio y movilizadores de potasio15

2.1.1.3 Biofertilizantes solubilizadores de zinc..... 16

2.1.1.4 Biofertilizantes solubilizadores de fósforo 17

2.1.1.5 Biofertilizantes solubilizadores de azufre 17

2.1.1.6 Biofertilizantes productores de sideróforos 18

2.1.1.7 Productores de fitohormonas 19

2.2 MICROORGANISMOS EFICIENTES 20

2.2.1 Beneficios de los microorganismos eficientes 21

2.2.1.1 Salud de los suelos..... 22

2.2.1.2 Control de hongos patógenos..... 23

2.2.1.3 Control de bacterias entomopatogenas 23

2.3 VERMICOMPOST 24

2.3.1 Propiedades físico-químicas..... 24

2.3.2 Vermicompost y sus derivados como promotor de crecimiento vegetal.. 25

2.3.3 Interacción con los microorganismos..... 26

3 OBJETIVOS 27

3.1 OBJETIVO GENERAL..... 27

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... 27

4 METODOLOGÍA..... 28

4.1 PREPARACIÓN DE BIOFERTILIZANTE A PARTIR DE MICROORGANISMOS EFICIENTES..... 28

4.1.1 Fermentación de Microorganismos Eficientes 29

4.2 DISEÑO EXPERIMENTAL..... 31

4.2.1 Cultivo vegetal 31

4.2.2 Evaluación morfológica vegetal 32

4.2.3 Concentración de clorofila 33

4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO 34

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

5 RESULTADOS 35

5.1 PRODUCCIÓN DE BIOFERTILIZANTE A PARTIR DE MICROORGANISMOS EFICIENTES 35

5.1.1 Preparación de biofertilizantes mediante fermentación sólida y líquida ... 35

5.1.2 Cultivo vegetal y tratamientos 36

5.1.3 Concentración de clorofila 43

5.1.4 Ensayos estadísticos 44

6 DISCUSIONES 45

6.1 PARÁMETROS MORFOLÓGICOS 45

6.2 CONCENTRACIÓN DE LA CLOROFILA 47

7 CONSIDERACIONES FINALES 48

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 49

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

1 INTRODUCCIÓN

El uso de fertilizantes químicos en la agricultura ha sido una práctica común para aumentar la productividad de los cultivos y satisfacer la creciente demanda alimentaria mundial. No obstante, su aplicación excesiva ha generado preocupaciones significativas debido a los efectos negativos tanto para la salud humana como para el medio ambiente. En el entorno ambiental, la incorporación de elementos traza o metales presentes en estos insumos puede causar toxicidad en las plantas y también tener repercusiones adversas para la salud humana (Monteiro *et al*., 2010). Además, las elevadas concentraciones de fertilizantes nitrogenados, especialmente en sus formas de amoníaco (NH_3) y nitrato (NO_3^-), pueden desencadenar procesos de eutrofización en cuerpos de agua, alterando el equilibrio de los ecosistemas acuáticos (Cordeiro, 2024). A la vez, el conjunto del amoniaco, con el ion amonio (NH4+), puede acidificar el suelo, provocando un agotamiento de nutrientes esenciales y liberando aluminio (Al3+) en niveles tóxicos, lo que afecta negativamente la salud de las plantas y causa problemas nutricionales. (Tripathi *et al*., 2020). Por lo tanto, la adopción de biofertilizantes es una práctica que mitiga los efectos perjudiciales de los fertilizantes químicos, al mismo tiempo que promueve prácticas agrícolas más sustentables y benéficas para el medio ambiente.

Un biofertilizante es una sustancia que contiene microorganismos vivos que, cuando es aplicado a las semillas, a la superficie de las plantas o al suelo, colonizan la rizosfera o el interior de la planta, promoviendo el crecimiento debido a que aumentan la disponibilidad de nutrientes primarios para la planta. (Vessey, 2003).

De acuerdo con Higa (2003, p. 152 *apud* Pranagal *et al*., 2020, p. 5),

> El papel que desempeñan los microorganismos del suelo en la prevención de la degradación del suelo y la mejora de su fertilidad ha animado a numerosos académicos a investigar el uso de ciertos grupos de microorganismos en la práctica agrícola. Como resultado, hacia finales del siglo XX, se desarrolló en Japón la tecnología de microorganismos eficaces (EM) (Higa, 2003, p. 152 *apud* Pranagal et al., 2020, p.5).

Los microorganismos eficaces o eficientes fueron desarrollados en la Universidad de las Ryukyus, Okinawa Japón, a principios de los años 80 por un distinguido profesor de horticultura. El profesor Dr. Teruo Higa había trabajado sobre el

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

uso intensivo de productos agroquímicos, dándose cuenta del daño que causa a la humanidad y al medio ambiente. Así, desarrolló una mezcla de microorganismos beneficiosos, primero por accidente y después mediante una investigación diligente, para aumentar la productividad de los sistemas convencionales de agricultura ecológica (Kyan *et al*., 1999).

Según los autores Higa y Parr (1994, p.4),

> Los EM consisten en cultivos mixtos de microorganismos beneficiosos que pueden aplicarse como inoculantes para aumentar la diversidad microbiana de suelos y plantas. Los EM contienen especies seleccionadas de microorganismos, entre los que predominan bacterias lácticas, levaduras y un número menor de bacterias fotosintéticas, actinomicetos y otros tipos de organismos. Todos ellos son compatibles entre sí y pueden coexistir en cultivo líquido (Higa; Parr, 1994, p. 4).

Por otro lado, el vermicompostaje es un proceso biológico complejo en el que las lombrices de tierra y una diversa comunidad de microorganismos transforman los residuos orgánicos en un biofertilizante de gran valor agronómico. A través de la acción conjunta de estos organismos, se produce una serie de reacciones bioquímicas que dan lugar a un producto final rico en nutrientes y con propiedades que mejoran las características del suelo (Pathma; Sakthivel, 2012).

El presente trabajo de investigación tiene por objetivo evaluar los microorganismos eficaces colectados en la región de Foz do Iguaçu y vermicompost como potenciales biofertilizantes en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.).

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

2 MARCO TEÓRICO

En la agricultura convencional, se ha recurrido al uso indiscriminado de sustancias químicas, especialmente fertilizantes solubles, que pueden verse afectados por el proceso de lixiviación, lo que resulta en una reducción de la eficiencia y pérdidas económicas por los agricultores (Abranches *et a*l., 2021). En este contexto, es fundamental explorar enfoques innovadores para mejorar la producción agrícola. Siendo relevante el uso de los biofertilizantes como alternativa sostenible para los cultivos.

2.1 BIOFERTILIZANTES

Los fertilizantes biológicos o biofertilizantes son una alternativa adecuada a los fertilizantes químicos. Se definen como una sustancia que contienen microorganismos vivos que, cuando es aplicado a las semillas, a la superficie de las plantas o al suelo, colonizan la rizosfera o el interior de la planta, promoviendo el crecimiento debido a que aumentan la disponibilidad de nutrientes primarios para la planta (Vessey, 2003).

2.1.1 Clasificación de los biofertilizantes

Según Chaudhary *et al*., 2022 los biofertilizantes se pueden clasificar de acuerdo al tipo de microorganismos, ya sea bacterias y hongos, o con base en la función de estos (Figura 1).

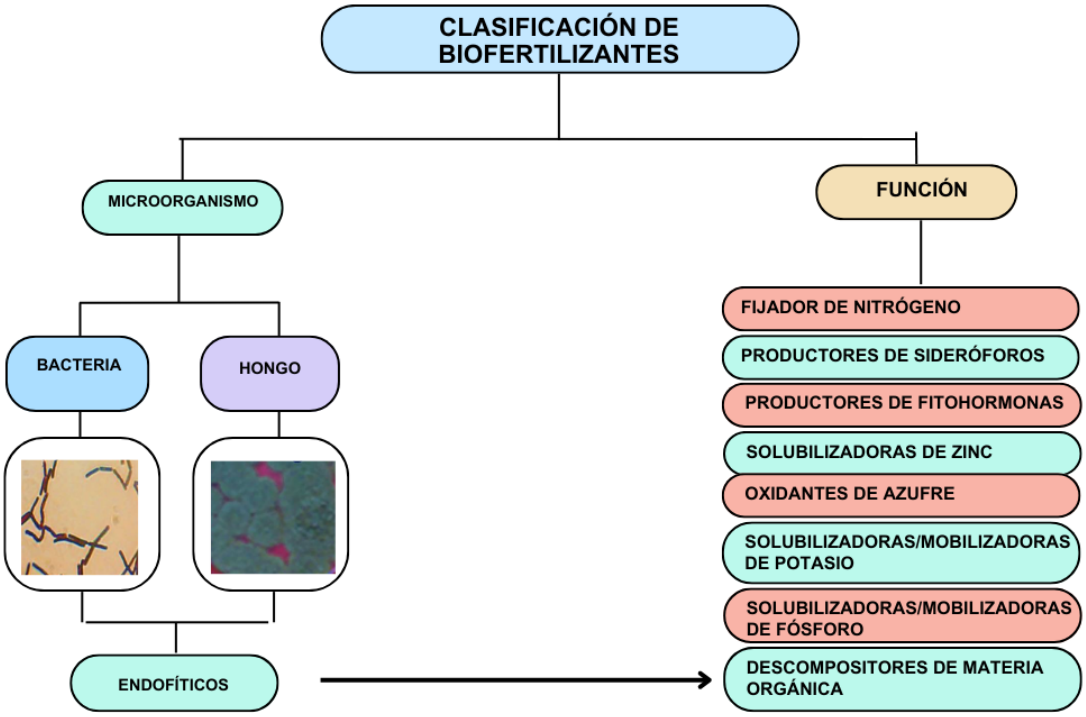
2.1.1.1 Bacterias fijadoras de nitrógeno

La fijación biológica de nitrógeno (BNF, por sus siglas en inglés) implica la conversión del gas nitrógeno (N_2) en NH_3 a través de un proceso biológico (en contraste con la fijación de nitrógeno industrial). Muchos microorganismos (por ejemplo, *Rhizobium*, *Azotobacter* y algas verde azuladas) utilizan el N_2 molecular con la ayuda de la enzima nitrogenasa y reducen el N_2 atmosférico a NH_3. (Roy *et al.*, 2006). Otros

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

ejemplos de microorganismos son *Azotobacter sp, Bacillus sp, Bradyrhizobium sp* y *Pseudomonas sp* (Chaudhary et al., 2022).

Figura 1 - Clasificación de los biofertilizantes



Fuente: Chaudhary *et al.,* 2022. Actualización propia del autor.

2.1.1.2 Biofertilizantes solubilizadores de potasio y movilizadores de potasio

De acuerdo con Bahadur *et al*., (2019), las bacterias solubilizadoras de potasio (KSB) erosionan los minerales que contienen potasio (K+) a través de tres mecanismos principales. El primero es la acidificación, que descompone el complejo de aluminosilicato de potasio, liberando ácidos orgánicos o inorgánicos que convierten el silicato de potasio o silicato de aluminio en formas disponibles para las plantas. El segundo mecanismo es la producción de sideróforos, donde los ácidos orgánicos forman compuestos quelantes con Fe^{2+}, Si^{4+}, Ca^{2+} y Al^{3+}, liberando K+ del grupo de potasio intercambiable (Nawaz *et al*., 2023). El tercer mecanismo implica la síntesis de ciertos polímeros extracelulares, como proteínas o sustancias exopoliméricas (EPS), por microbios que forman biopelículas alrededor de las rocas minerales, erosionándolas y liberando K+ en una forma disponible para las plantas (Jain *et al*.,

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

2022). Algunos ejemplos de estos microorganismos incluyen *Bacillus mucilaginous, B. edaphicus, B. circulans, Acidithiobacillus ferrooxidans, Frateuria aurantia, Herbaspirillum spp. y Clostridium spp*., y los hongos solubilizadores de potasio incluyen *Aspergillus* spp (Chaudhary *et al*., 2022).

2.1.1.3 Biofertilizantes solubilizadores de zinc

El zinc (Zn) es vital para diversas funciones metabólicas, incluyendo la síntesis de auxinas, la activación enzimática y la producción de proteínas. Sin embargo, en muchos suelos, el zinc se encuentra en formas insolubles que las plantas no pueden absorber fácilmente, lo que afecta negativamente su crecimiento y desarrollo. Una solución efectiva para este problema es el uso de microorganismos solubilizadores de zinc, como diversas cepas de *Bacillus sp.* Estas bacterias tienen la capacidad de secretar ácidos orgánicos, como el ácido cítrico, el ácido láctico y el ácido acético, los cuales disuelven las formas insolubles de zinc (como óxidos y carbonatos) y lo convierten en el ion Zn^{2+}, que es fácilmente absorbido por las plantas (Khande et al., 2017).

Además de los ácidos orgánicos, algunas cepas de *Bacillus* también producen agentes quelantes que se unen al zinc formando complejos solubles. Estos complejos son particularmente importantes en suelos con alta presencia de carbonatos o fosfatos, donde el zinc tiende a precipitarse en formas no disponibles. Al unirse a estos agentes quelantes, el zinc es movilizado hacia la rizosfera, facilitando su absorción por las raíces de las plantas (Vaid *et al.,* 2014). Por otro lado, microorganismos como *Pseudomonas*, *Rhizobium* y hongos del género *Aspergillus* también han demostrado ser efectivos en la solubilización de zinc. Estos microorganismos no solo mejoran la disponibilidad de zinc, sino que también promueven el crecimiento de las plantas mediante la producción de fitohormonas y la fijación de nitrógeno (Saravanan *et al.,* 2007).

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

2.1.1.4 Biofertilizantes solubilizadores de fósforo

El fósforo (P) es un nutriente esencial para el crecimiento de las plantas, participando en procesos clave como la fotosíntesis, la respiración y la transferencia de energía celular (Novais; Smith, 1999). Sin embargo, su disponibilidad en el suelo suele ser limitada debido a que gran parte del fósforo se encuentra en formas insolubles que las plantas no pueden absorber fácilmente. Para superar esta limitación, existen microorganismos que tienen la capacidad de transformar el fósforo en formas solubles, haciéndolo accesible para las plantas. Estos microorganismos utilizan varios mecanismos, siendo uno de los más importantes la producción de fitasas, que solubilizan el fósforo a partir del ácido fítico, permitiendo que esté en condiciones asimilables para las plantas (Fernández; Rodríguez, 2006).

Además, los microorganismos promueven la acidificación del medio mediante la producción de ácidos orgánicos, como el cítrico, oxálico y málico. Estos ácidos se unen a los iones metálicos (Fe, Al, Ca) presentes en los fosfatos insolubles, formando complejos solubles, liberando así el fósforo al entorno (Rodríguez; Fraga, 1999). Entre los microorganismos solubilizadores de fosfato más estudiados se encuentran bacterias del género *Bacillus, Rhizobium, Aerobacter* y *Burkholderia*, así como hongos como *Penicillium* (Chaudhary *et al.,* 2022). Asimismo, los géneros bacterianos *Pseudomonas* y fúngicos Aspergillus también han mostrado una alta capacidad para solubilizar fosfatos, lo que contribuye al crecimiento de cultivos en suelos deficientes en fósforo (Vassilev *et al.,* 2006).

2.1.1.5 Biofertilizantes solubilizadores de azufre

Los microorganismos llevan a cabo varios procesos de transformación para que el azufre esté disponible para las plantas. Uno de estos procesos es la mineralización y descomposición del azufre orgánico, lo que libera formas inorgánicas de azufre. Este proceso puede ocurrir tanto en condiciones de aerobiosis como de anaerobiosis, resultando en la formación de sulfato ($SO4^{2-}$) y sulfuro de hidrógeno ($H2S$). Además, la oxidación mediada por microorganismos quimioautotróficos del azufre como *Thiobacillus sp* y la reducción realizada por microorganismos reductores de sulfato, como *Desulfotomaculum sp.,* también contribuyen a la disponibilidad del

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

azufre en el suelo (Colacelli, 2001).

La oxidación del azufre elemental por bacterias del género *Thiobacillus sp.* es de particular importancia en la agricultura, ya que convierte el azufre en sulfato, la forma de azufre más accesible para las plantas. Este proceso no solo aumenta la disponibilidad de azufre, sino que también puede mejorar la solubilización de otros nutrientes, como el fósforo, debido a la acidificación del entorno (Schippers *et al*., 1996). De igual manera, el uso de estos biofertilizantes puede reducir la necesidad de fertilizantes químicos, promoviendo una agricultura más sostenible y amigable con el medio ambiente (Scherer, 2001).

Por otro lado, los microorganismos reductores de sulfato, como Desulfotomaculum sp., juegan un papel crucial en la mineralización del azufre en suelos anóxicos. Estos microorganismos pueden reducir el sulfato a sulfuro, el cual puede ser nuevamente oxidado a sulfato por las bacterias oxidadoras de azufre, cerrando así el ciclo del azufre en el suelo (Muyzer; Stams, 2008). La interacción entre estos microorganismos asegura una constante disponibilidad de azufre para las plantas, incluso en condiciones de bajos niveles de oxígeno (Vester; Ingvorsen, 1998).

2.1.1.6 Biofertilizantes productores de sideróforos

Los sideróforos son compuestos orgánicos de bajo peso molecular sintetizados por diversos microorganismos, como bacterias y hongos, para captar hierro del entorno. Estos compuestos tienen una alta afinidad por el hierro férrico (Fe^{3+}), formando complejos solubles que las plantas pueden absorber fácilmente. Además de facilitar la disponibilidad de hierro para las plantas, los sideróforos inhiben el crecimiento de microorganismos patógenos al competir por el hierro, un nutriente esencial para su desarrollo. Este mecanismo de competencia ayuda a proteger las plantas de infecciones y promueve un crecimiento más saludable (Crichton; Charloteaux–Wauters, 1987; Weinberg, 1997; Pandey *et al.,* 1994; Wandersman; Delepelaire, 2004; Greenshields *et al.,* 2007; Harrington; Crumbliss, 2009).

Un aspecto adicional del uso de sideróforos en la agricultura es su capacidad para mejorar la eficiencia en la absorción de otros micronutrientes. Los sideróforos no solo se unen al hierro, sino que también pueden movilizar otros nutrientes esenciales, como el zinc y el manganeso, que son cruciales para el

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

crecimiento y desarrollo de las plantas (Raschke; Hedrich, 2017). Este efecto es particularmente importante en suelos pobres en nutrientes, donde la disponibilidad de micronutrientes es limitada. También algunos sideróforos tienen propiedades que van más allá de la simple solubilización de hierro. Por ejemplo, se ha encontrado que ciertos sideróforos pueden inducir respuestas de defensa en las plantas, activando vías de señalización que fortalecen la resistencia de las plantas contra patógenos (Morrissey; Guerinot, 2009). Esta función dual de solubilización de nutrientes y promoción de defensas naturales hace que los sideróforos sean una herramienta valiosa para la agricultura sostenible.

2.1.1.7 Productores de fitohormonas

Incluyen bacterias promotoras del crecimiento de las plantas (PGPB) y hongos promotores del crecimiento de las plantas (PGPF). Estos microbios pueden producir o modificar los niveles de fitohormonas en la rizosfera o dentro de la planta, influyendo en su desarrollo y en las respuestas al estrés (Hacquard *et al*., 2015; Chanclud; Morel, 2016; Ludwig-Müller, 2022). Entre las fitohormonas producidas por microorganismos se encuentran el ácido indol acético (IAA), citoquininas (CK), giberelinas (GA), ácido abscísico (ABA) y etileno (ET) (Dodd *et al.*, 2010; Spaepen, 2014). Estos microbios no solo benefician a las plantas al mejorar su crecimiento, sino que también las protegen contra patógenos y confieren resistencia a estreses abióticos (Tsukanova *et al*., 2017; Kudoyarova *et al*., 2019). Ejemplos de estos incluyen bacterias como *Pseudomonas simiae*, que aumenta la formación de raíces laterales y *Bacillus megaterium* que promueve la arquitectura del sistema radicular mediante la señalización de CK (Glick, 2012; Zamioudis y Pieterse, 2012; Bakker *et al*., 2018).

Además, hongos como *Trichoderma spp.* y *Laccaria bicolor* también producen fitohormonas que favorecen el crecimiento de raíces y la formación de pelos radiculares (Contreras-Cornejo *et al*., 2015; Felten *et al*., 2009). Estos cambios en el desarrollo de las raíces facilitan la adaptación de las plantas a su entorno y la creación de hábitats para simbiontes beneficiosos (Hacquard *et al*., 2015; Chanclud; Morel, 2016).

Los biofertilizantes, como los EM y el vermicompost, juegan un papel fundamental en la agricultura sostenible, debido a su capacidad para mejorar la

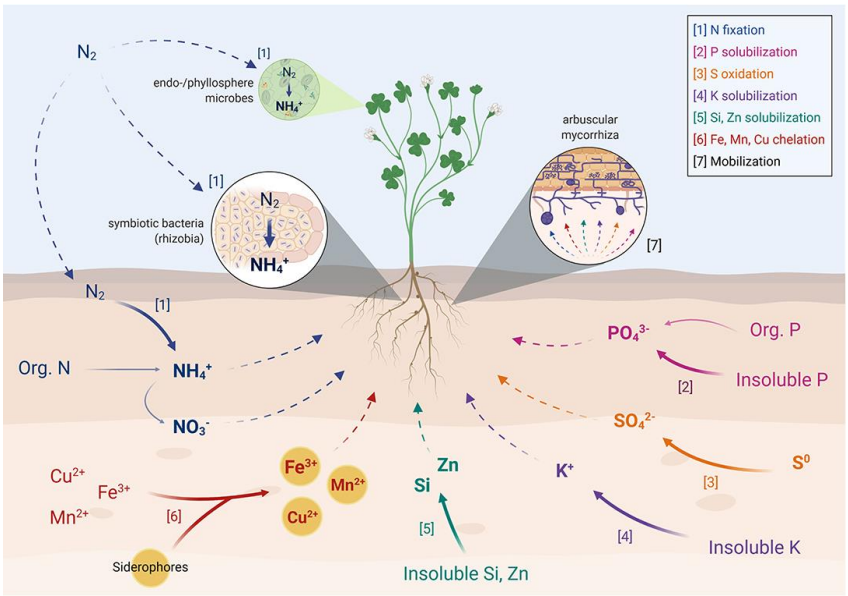
Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

fertilidad del suelo y promover el crecimiento vegetal de manera natural. La Figura 2 representa las diferentes vías utilizadas por los microorganismos, en donde, las flechas completas representan transformaciones microbianas, mientras que las flechas discontinuas representan movilización/movimiento de nutrientes.

2.2 MICROORGANISMOS EFICIENTES

El Dr. Higa comenzó a investigar el potencial de los microorganismos en la agricultura mientras trabajaba en su doctorado en Horticultura en la Universidad de Kyushyu. Inicialmente, aunque interesado en los microorganismos, apoyaba el uso de fertilizantes y pesticidas químicos debido a su experiencia en la agricultura intensiva. Sin embargo, su salud se deterioró debido a la exposición a productos agroquímicos, lo que lo llevó a enfocar su investigación en microorganismos seguros e inofensivos. Después de varios años de pruebas y errores, descubrió que una combinación de diferentes microorganismos mejoraba significativamente el crecimiento de las plantas. Este hallazgo lo llevó a desarrollar la tecnología de EM en 1980, la cual ha ganado reconocimiento internacional y se utiliza para mejorar la salud del suelo y la productividad agrícola (EMRO, 2016).

Figura 2 - Vías clave de transformación/adquisición de nutrientes mediadas por microbios y asociadas a los biofertilizantes.



Fuente: Mitter *et al.*, 2021

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

> EM consiste en cultivos mixtos de microorganismos beneficiosos y de ocurrencia natural que pueden aplicarse como inoculantes para aumentar la diversidad microbiana de los suelos y las plantas. La investigación ha demostrado que la inoculación de cultivos de EM en el suelo/planta puede mejorar la calidad del suelo, la salud del suelo y el crecimiento, rendimiento y calidad de los cultivos (Higa, 2016, p. 4).

Los EM son una mezcla de especies de bacterias fotosintéticas (*Rhodopseudomonas palustris* y *Rhodobacter sphaeroides*), lactobacilos (*Lactobacillus plantarum*, *L. casei* y *Streptococcus lactis*), levaduras (*Saccharomyces* spp.) y actinomicetos (*Streptomyces* spp.) (Javaid, 2010, p. 347).

Estas sintetizan aminoácidos, ácidos nucleicos, sustancias bioactivas y azúcares, utilizando sustancias de las secreciones de las raíces, materia orgánica (carbono), luz solar y calor geotérmico del suelo como fuentes de energía (Olle M; Williams, 2013, p. 380). Diversos estudios han demostrado que la inoculación de estos EM en el ecosistema suelo/planta puede mejorar la calidad y la salud del suelo y el rendimiento y la calidad de los cultivos. Higa y Parr (1994) documentaron mejoras en la estructura del suelo y en la actividad biológica, lo cual lleva a un aumento en la calidad y el rendimiento de los cultivos. El uso de EM, junto con melaza y residuos de cultivos, no solo mejora las propiedades químicas y biológicas del suelo, sino que también ayuda a reducir la compactación del suelo, facilitando un aumento en la porosidad y permeabilidad (Frighetto *et al.,* 2023).

2.2.1 Beneficios de los microorganismos eficientes

La combinación de estos diversos grupos microbianos ofrece numerosos beneficios para la agricultura y el medio ambiente (Figura 3), por ejemplo, las bacterias fotosintéticas anoxigénicas son importantes en los microorganismos del suelo porque transforman compuestos tóxicos, como el H2S, en sustratos útiles, mejorando la fertilidad del suelo. A través de su proceso fotosintético, también liberan oxígeno, lo que beneficia a las raíces de las plantas y ayuda a mantener un ambiente menos anaeróbico. Esto es crucial porque previene la acumulación de sustancias tóxicas que inhiben a otros microorganismos beneficiosos, como los fijadores de nitrógeno. Así, estas bacterias permiten que los microorganismos nitrificadores

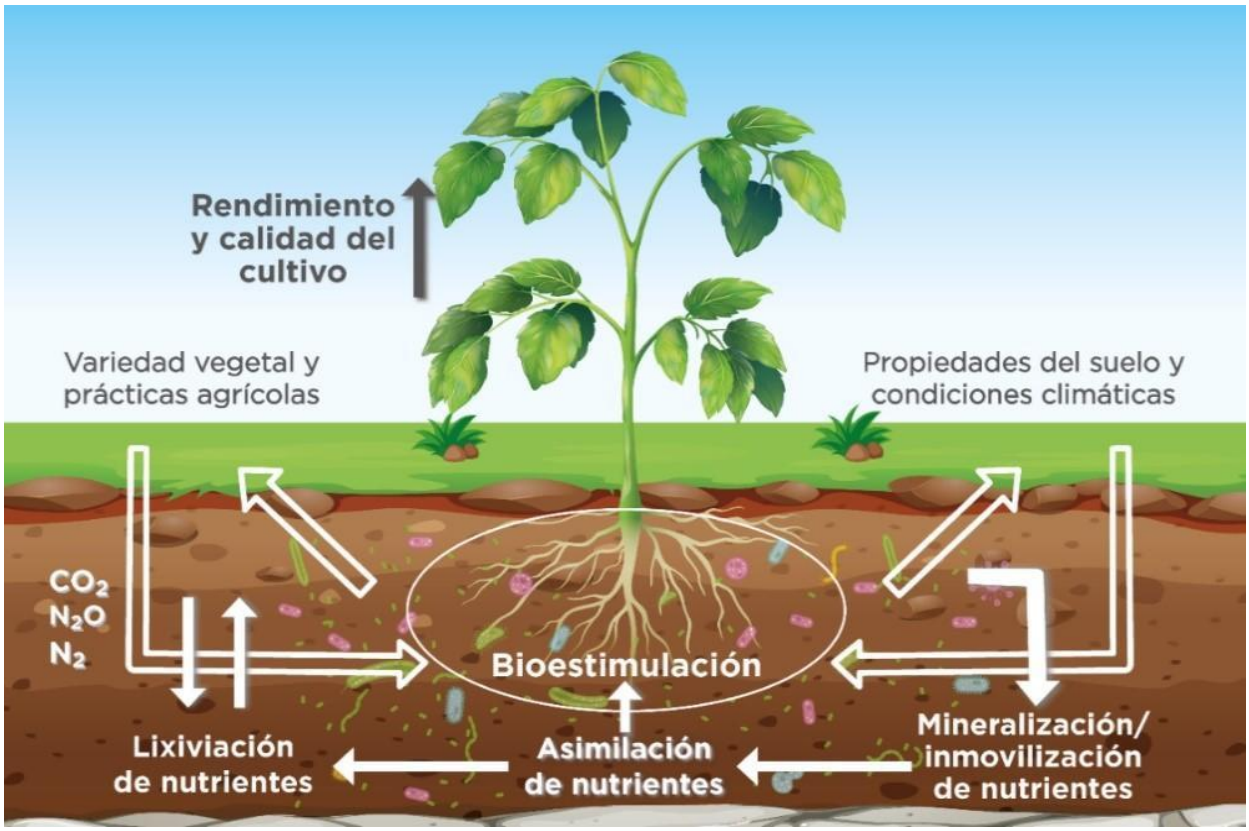
Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

funcionen eficientemente, incluso en suelos con bajas concentraciones de oxígeno (Higa, 1989).

2.2.1.1 Salud de los suelos

La inoculación de EM en el suelo agrícola ofrece múltiples beneficios para la salud del suelo y la mejora de las condiciones de cultivo. Uno de los principales beneficios es la estimulación del "efecto de rotación", que resulta de la regeneración de organismos beneficiosos y la eliminación de bacterias patógenas. Este efecto se traduce en una supresión de enfermedades debido a la competencia por los recursos disponibles entre los microbios causantes de enfermedades y los microorganismos beneficiosos introducidos. La inoculación de EM agota los recursos disponibles en el suelo, lo que lleva a una reducción de microorganismos patógenos debido a la inanición (Schnürer y Magnusson, 2005).

Figura 3 - Mecanismos utilizados por microorganismos eficientes en el suelo y plantas.



Fuente: Cárdenas *et al.*, 2021

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

Igualmente, el ácido láctico presente en los EM tiene efectos esterilizantes, controlando la proliferación de nematodos y ofreciendo protección contra enfermedades de plantas asociadas a estos. Las bacterias ácido-lácticas también participan en la descomposición de materiales orgánicos celulolíticos y lignificados en el suelo, promoviendo un entorno más saludable y fértil para el crecimiento de las plantas (Ouwehand y Vesterlund, 2004).

2.2.1.2 Control de hongos patógenos

Los EM controlan patógenos en el suelo, como *Sclerotinia homoeocarpa*, mediante varios mecanismos que incluyen la inhibición del crecimiento de los patógenos, la producción de compuestos antimicrobianos y la competencia por nutrientes y espacio. Kremer *et al.,* (1999) demostraron en estudios in vitro y de invernadero que estos microorganismos, en particular las bacterias ácido-lácticas, producen ácido láctico, un agente esterilizante que crea un ambiente desfavorable para los hongos patógenos, reduciendo su viabilidad. De igual manera, los EM no solo controlan *Sclerotinia homoeocarpa*, sino también otros patógenos del suelo como *Sclerotinia sclerotiorum* y *Rhizoctonia fragariae*, disminuyendo la incidencia de enfermedades en diversos cultivos. Así, los EM se presentan como una alternativa sostenible al uso intensivo de fungicidas, favoreciendo el manejo biológico de enfermedades en plantas.

2.2.1.3 Control de bacterias entomopatogenas

En un estudio realizado en el suroeste de Etiopía, se demostró que el compost enriquecido con microorganismos eficientes y mezcla de Burdeos (caldo bordelés) es eficaz para reducir la incidencia de la marchitez bacteriana del jengibre (*Ralstonia Solanacearum*), disminuyendo su progresión y mejorando la productividad del cultivo (Jibat; Asfaw, 2022).

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

2.3 VERMICOMPOST

El vermicompost (VC) se define como un proceso bio-oxidativo en el que las lombrices de tierra y los microorganismos descomponedores (bacterias, hongos y actinomicetos) actúan sinérgicamente para gestionar los residuos orgánicos de manera científica. Es un material fino, similar a la turba, con alta porosidad, aireación, drenaje, capacidad de retención de agua, lo que lo convierte en un excelente acondicionador del suelo (Figura 4) (Meena *et al.*, 2022; Singh *et al.*, 2020).

Figura 4 - Proceso de vermicompost

Fuente: VIDAVERDI, 2020

2.3.1 Propiedades físico-químicas

El VC es una enmienda orgánica única que ofrece numerosos beneficios para el manejo de plagas en cultivos de cereales. Se caracteriza por una alta

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

actividad microbiana y una composición rica en nutrientes, que incluye elementos esenciales como N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y Cu. Estos nutrientes están fácilmente disponibles y son fácilmente absorbidos por las plantas, gracias a los efectos biológicos del compost, como el aumento de la actividad enzimática, las poblaciones microbianas beneficiosas y las sustancias que promueven el crecimiento de las plantas, como las hormonas (Oyege; Bhaskar, 2023).

El VC mejora las propiedades físicas del suelo principalmente mediante la acción de las lombrices de tierra, como la lombriz californiana roja (Figura 5) que producen humus, favorecen la meteorización mineral y mezclan materia orgánica para formar agregados del suelo. Esto mejora la estructura del suelo, incrementando su capacidad para retener agua y reducir la pérdida de suelo y agua. Además, las lombrices crean macroporos que permiten la percolación del agua y reducen la escorrentía superficial. Sus actividades también ayudan a estabilizar la estructura del suelo y aumentar su porosidad, controlando la erosión, especialmente en suelos tropicales y templados (Rheman *et al.*, 2023).

2.3.2 Vermicompost y sus derivados como promotor de crecimiento vegetal

El VC contiene sustancias que mejoran el crecimiento, el rendimiento y la calidad de los cultivos debido a sus características promotoras del crecimiento de las plantas. El VC estimula la emergencia de las plantas debido a la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas (Rheman *et al.*, 2023). También puede contener sustancias húmicas que pueden influir en la absorción de nutrientes modificando la anatomía de la raíz para una mejor intercepción de nutrientes, mejorando los exudados de la raíz, apoyando las interacciones planta-microbio y alterando la expresión de los transportadores involucrados en la adquisición de nutrientes (Rheman *et al.*, 2023). Así como también posee reguladores de crecimiento de las plantas como las auxinas, giberelinas y las citoquininas (Ravildran *et al.*, 2016).

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

Figura 5 - Lombriz californiana roja (*Eisenia foetida*)

Fuente: Humus Chile, 2024

2.3.3 Interacción con los microorganismos

La interacción de los microorganismos en el VC es fundamental para mejorar la disponibilidad de nutrientes en el suelo y estimular el crecimiento de las plantas. Las lombrices de tierra, a través de su microflora intestinal, juegan un papel crucial en este proceso al triturar la hojarasca y aumentar la actividad microbiana en el suelo. Durante el proceso de vermicompostaje, ingieren bacterias rizosféricas promotoras del crecimiento vegetal, como *Pseudomonas* spp. y *Rhizobium* spp., las cuales se activan en el ambiente favorable del intestino de la lombriz. Esto incrementa las poblaciones de microorganismos beneficiosos que, a su vez, facilitan la solubilización de nutrientes, la fijación de nitrógeno, y la producción de hormonas de crecimiento vegetal, como la ACC desaminasa (Pathma y Sakthivel, 2012).

Además, los microorganismos asociados con las lombrices de tierra, como bacterias y actinomicetos, pueden incrementar su número hasta mil veces al pasar por su sistema digestivo, lo que enriquece el suelo con nutrientes fácilmente disponibles. Esta simbiosis entre lombrices y microbios también promueve la descomposición de la materia orgánica y la supresión de patógenos del suelo, contribuyendo a un entorno más saludable para las plantas (Pathma y Sakthivel, 2012).

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficiencia de biofertilizantes producidos a partir de microorganismos eficientes y vermicompost aplicados en plantas de maíz (*Zea mays L*.) en ambiente condicionado.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Preparar biofertilizante a partir de microorganismos eficientes para su uso en los tratamientos experimentales;
- Evaluar los efectos de los biofertilizantes de microorganismos eficientes y vermicompost en plantas de maíz con relación a parámetros morfológicos (altura de las plantas y el desarrollo radicular);

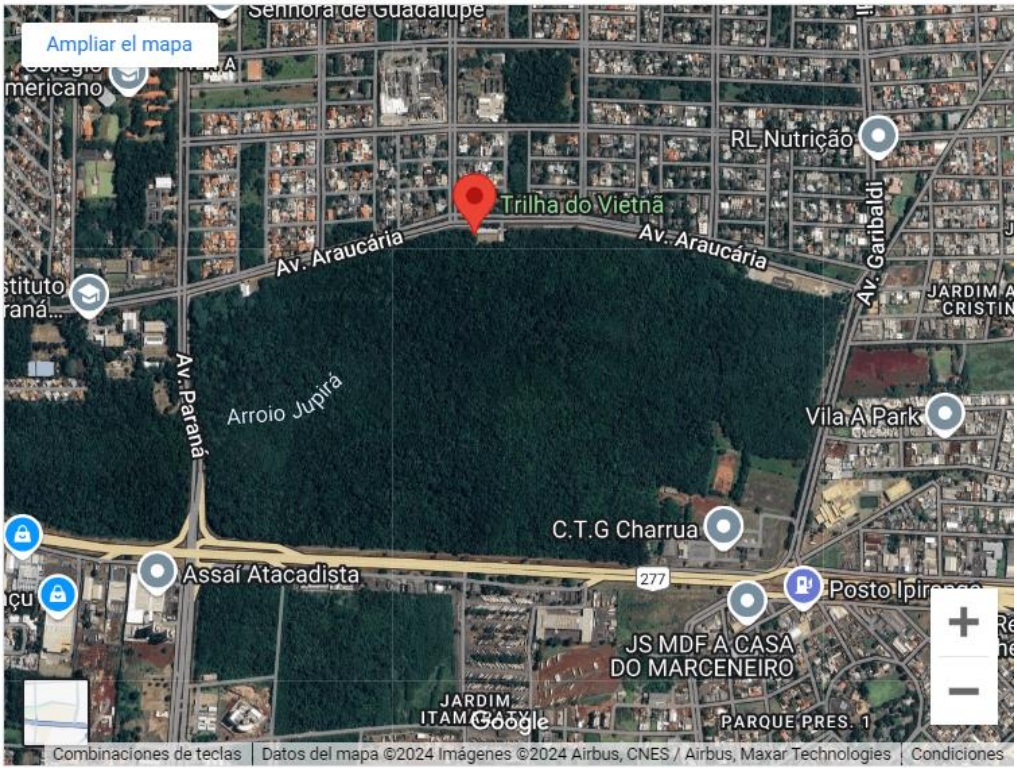
Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

4 METODOLOGÍA

4.1 PREPARACIÓN DE BIOFERTILIZANTE A PARTIR DE MICROORGANISMOS EFICIENTES

Fueron colectados 2 Kg de hojarasca (materia vegetal en descomposición) según la metodología empleada por Dufumier (2021), localizados en la Trilha do Vietnã, Foz do Iguaçu (-25.50232, -54.56687) (Figura 6). Esta área fue seleccionada por su biodiversidad y las condiciones ambientales propicias para el desarrollo de microorganismos.

Figura 6 - Ubicación de la Trilha do Vietnã, Foz do Iguaçu



Fuente: Google Maps, 2024.

Las muestras fueron retiradas cuidadosamente a partir de los primeros 2 cm de la capa de vegetación, con el objetivo de recolectar material en proceso de descomposición. Siguiendo las recomendaciones de Dufumier (2021), la capa debe exhibir un color que varía entre marrón oscuro y negro, y en ciertas zonas, puede presentar matices blanquecinos, lo cual indica la actividad microbiana en desarrollo, como se muestra en la Fotografía 1.

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

Fotografía 1 - Material en descomposición de color blanquecino.

Fuente: Autoría propia, 2024.

4.1.1 Fermentación de Microorganismos Eficientes

Fueron realizadas dos fermentaciones para la producción de biofertilizante de microorganismos eficientes. La primera de ellas, fue una fermentación sólida y la segunda una fermentación líquida, como se detalla a continuación:

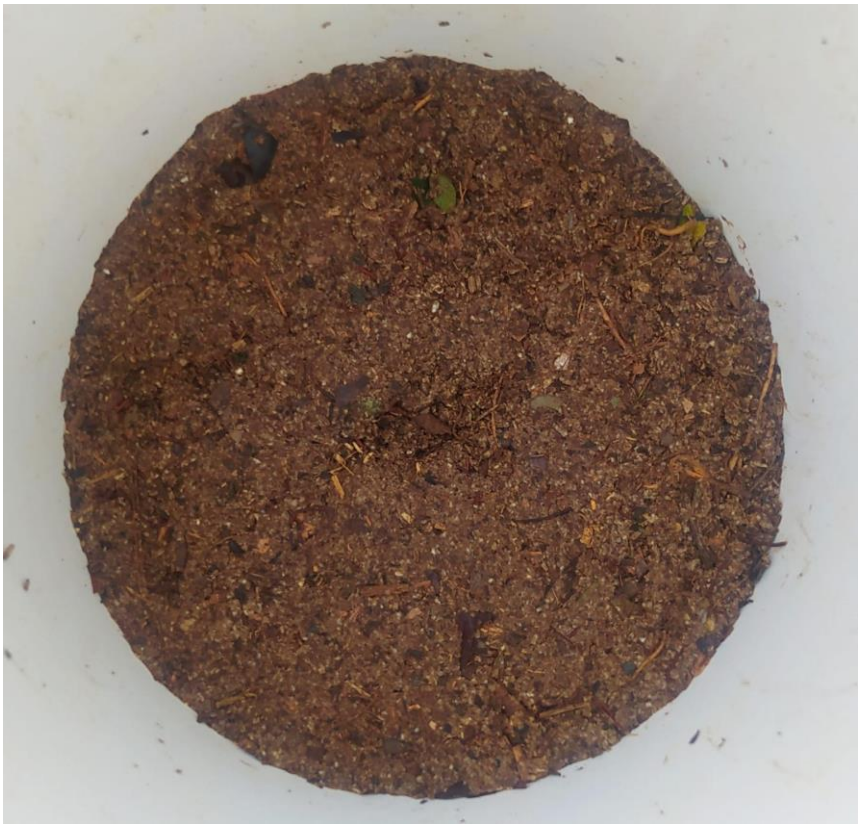
Para la fermentación sólida se realizó siguiendo el protocolo de Dufumier (2021), en donde se designó un área con suelo firme y se utilizó una lona como base para realizar la mezcla. Se distribuyó la muestra de hojarasca y se trituró para obtener partículas más pequeñas, utilizando un palo o una pala para fragmentar la muestra. Se eliminaron los elementos más duros y descompuestos. A continuación, se incorporó la fuente de fibra (salvado de avena 1,66 kg), y se mezcló hasta lograr una consistencia homogénea (mezcla sólida). En un recipiente aparte, fue realizada una mezcla líquida, en donde fueron diluidos melaza como fuente de azúcar (208,5 gr) en una parte de agua tibia y posteriormente fue adicionado suero (600 ml).

La mezcla líquida se vertió sobre la mezcla sólida (hojarasca y fibra), los cuales fueron incorporados hasta obtener una muestra homogénea. Para facilitar la fermentación, fue adicionada más agua tibia hasta obtener una humedad del 40-50%. Posteriormente, se vertió la mezcla en un balde en capas delgadas, compactando con

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

las manos o con una herramienta casera a medida que se avanzaba (Fotografía 2). El balde se llenó hasta 10 cm del borde y se selló herméticamente, dejándolo reposar en un lugar sombreado durante 30 días.

Fotografía 2 - Fermentación sólida de microorganismos eficientes - compactación.



Fuente: Autoría propia, 2024.

Para la fermentación líquida se seleccionó un recipiente de 2 L en donde fueron diluidos azúcar (100 gr) y yogurt (100 ml) (ácidos lácticos) en agua tibia (666,66 ml), utilizando un tercio del volumen total. Se mezcló bien hasta generar un vórtice para luego añadir lentamente la fermentación sólida (100 gr) mientras se continuaba removiendo. El volumen total corresponde a 3 a 5 cm por debajo del borde del recipiente, este volumen fue completado adicionando agua tibia. Finalmente, el recipiente fue cerrado con una tapa y se dejó reposar en un lugar sombreado durante siete días.

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

4.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para la evaluación de los biofertilizantes fue utilizado como modelo maíz híbrido (*Zea mays* L.) de la variedad (BR 106) (Fotografía 3).

Fotografía 3 - Maiz hibrido variedad BR 106

Fuente: Autoría propia, 2024.

4.2.1 Cultivo vegetal

El cultivo vegetal fue realizado en ambiente condicionado, en la ciudad de Foz de Iguazú, Paraná. Las temperaturas promedio oscilaron entre mínimas de 18 °C y máximas de 28 °C, con un promedio de humedad del 68,48% según datos de AccuWeather. El diseño experimental utilizado fue aleatorio, con tres tratamientos y un grupo control. Los tratamientos incluían microorganismos eficientes (ME), Vermicompost (Vc) proveniente de una compostera casera (ver fotografía 4) y la combinación de vermicompost con microorganismos eficientes, con un total de 10 repeticiones por tratamiento.

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

Fotografía 4 - Compostera casera

Fuente: Autoría propia, 2024.

Fueron utilizados sacos de plástico para el cultivo (35 x 35) y sustrato autoclavado. Una vez acondicionados, fueron colocadas tres semillas de maíz por cada saco a una profundidad aproximada de 2,5 cm. Tras la emergencia de las plántulas, se realizó el desbaste, eliminando las plántulas excedentes y dejando solo una por saco. Una semana después de la siembra, se comenzaron a aplicar los tratamientos correspondientes, los cuales se detallan en la Tabla 1, siguiendo las condiciones específicas de cada tratamiento.

4.2.2 Evaluación morfológica vegetal

Los cultivos vegetales fueron quitados del saco con cuidado y lavadas las raíces. Se realizaron medidas en relación con la altura de la planta, largura de la

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

raíz, peso fresco de la raíz, peso fresco parte aérea, peso seco raíz y peso seco parte aérea.

Para el cálculo de los pesos secos, se realizó siguiendo la metodología de Fiallos y Forcelini, 2011, en donde con la ayuda de un bisturí fueron separadas las partes aéreas y raíz, para posteriormente ser secadas en estufa a 65 °C por 48 horas.

Tabla 1 - Tratamientos utilizados para el cultivo vegetal

Tratamiento	Momento de aplicación	Método de aplicación	Frecuencia	Condiciones
Microorganismos eficientes (EM)	Desde la etapa vegetativa VE hasta V5	Aplicación al suelo	Semanal durante 4 semana	Mañanas frescas
Vermicompost	VE e V3	Aplicación al suelo	Quincenal	Mañanas frescas
Control	N/A	N/A	N/A	N/A

Fuente: Autoría propia, 2024.

4.2.3 Concentración de clorofila

Se colectaron 10 mg de hoja por cada tratamiento (muestra representativa). En un tubo tipo Falcon de 15 mL fueron adicionados 7 mL de DMSO (dimetilsulfóxido) y colocada la muestra de hoja. Se incubaron por 1 hora a 65 °C en el baño María. Posteriormente, se realizaron lecturas en espectrofotometría a 663 y 645 nm, según Hiscox y Israeltam, (1978).

Para el cálculo de concentración de clorofila fue utilizada la fórmula de Mackinney, (1941).

$$\text{Clorofila total (mg/L)} = 20.2 * A_{645} + 8.02 * A_{663}$$

Donde A_{645} y A_{663} representan la absorbancia medida a 663 nm y 645 nm respectivamente.

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Fueron realizados test de ANOVA – test Scott-Knott (medias) al nivel de significación de 0,05 utilizando el software estadístico Sisvar. En los análisis de Estadística descriptiva sobre la morfología vegetal, fue utilizado el programa BioEstat 5.3.

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

5 RESULTADOS

5.1 PRODUCCIÓN DE BIOFERTILIZANTE A PARTIR DE MICROORGANISMOS EFICIENTES

5.1.1 Preparación de biofertilizantes mediante fermentación sólida y líquida

A partir de la fermentación en estado sólido de los microorganismos eficientes, se obtuvieron dos kilogramos de biofertilizante con una apariencia marrón clara y un olor agradable. De esta producción, se utilizó 100 gr para la preparación del fertilizante líquido. El proceso resultó en la obtención de dos litros de biofertilizante líquido (Fotografía 5), los cuales fueron almacenados en refrigeración para asegurar la viabilidad de los microorganismos presentes.

Fotografía 5 - Fermentación líquida de microorganismos eficientes

Fuente: Autoría propia, 2024.

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

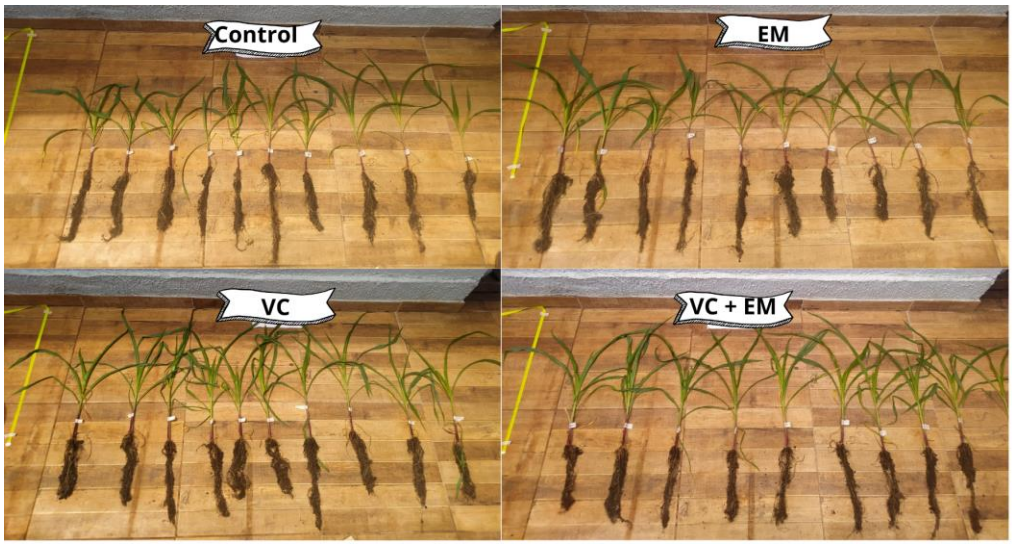
5.1.2 Cultivo vegetal y tratamientos

El cultivo de maíz fue analizado en el estadio V6 (Fotografía 6). Siendo preparadas las plantas mediante lavado de raíz para el posterior análisis de crecimiento, como se muestra en la Fotografía 8.

Fotografía 6 - Tratamientos Experimentales en el Cultivo de Maíz (*Zea mays* L.) en estadio V6.

Fuente: Autoría propia, 2024.

Fotografía 7 - Preparación del cultivo de maíz para evaluación morfológica.

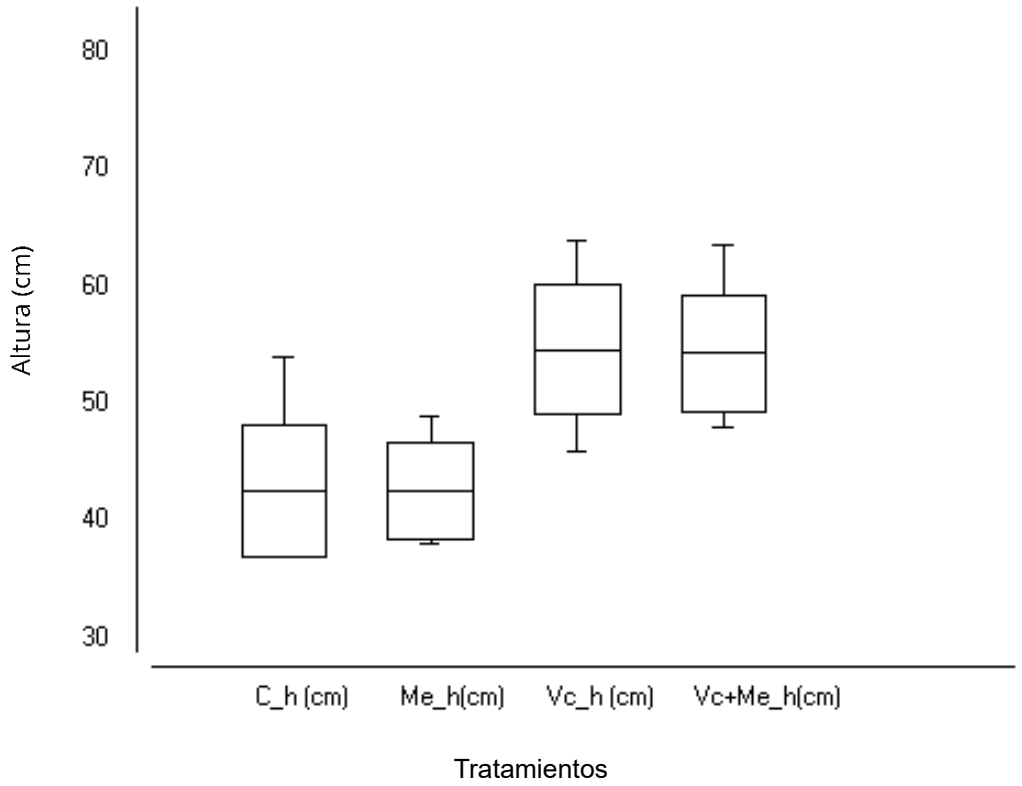


Fuente: Autoría propia, 2024.

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

Los parámetros morfológicos analizados fueron los siguientes:

Gráfico 1 - Variación de Altura de las plantas de maíz (*Zea mays L.)* bajo diferentes tratamientos.

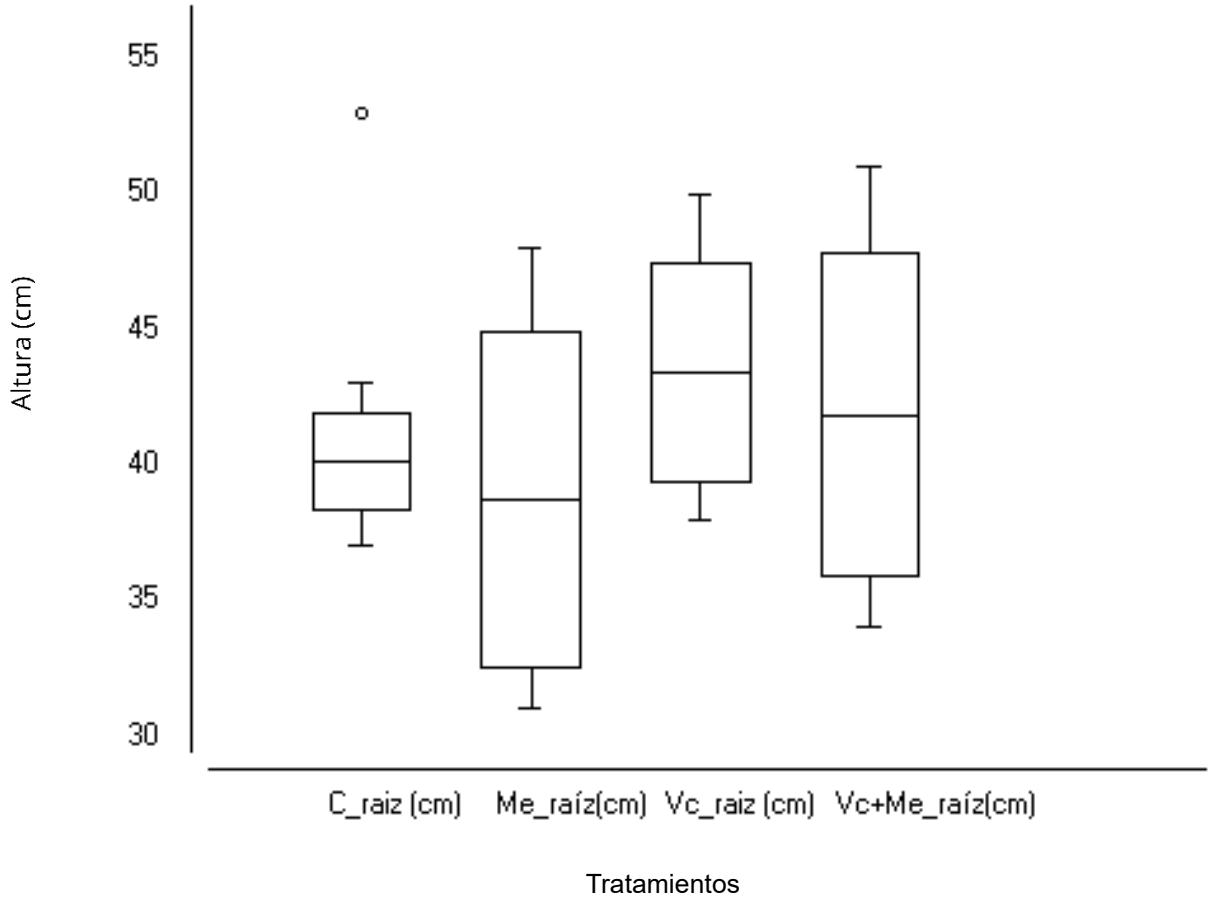


Fuente: Autoría propia, 2024.

El gráfico presenta los cuatro tratamientos aplicados: Control, Microorganismos Eficientes (EM), Vermicompost (VC) y la combinación de Microorganismos Eficientes con Vermicompost (EM + VC). En este se muestra la altura promedio de las plantas en centímetros. Los valores medios de altura observados fueron: Control (42,55 cm), Microorganismos Eficientes (42,65 cm), Vermicompost (54,65 cm) y Microorganismos Eficientes + Vermicompost (54,25 cm).

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

Gráfico 2 - Variación de tamaño de raíz de las plantas de maíz (*Zea mays L.)* bajo diferentes tratamientos.

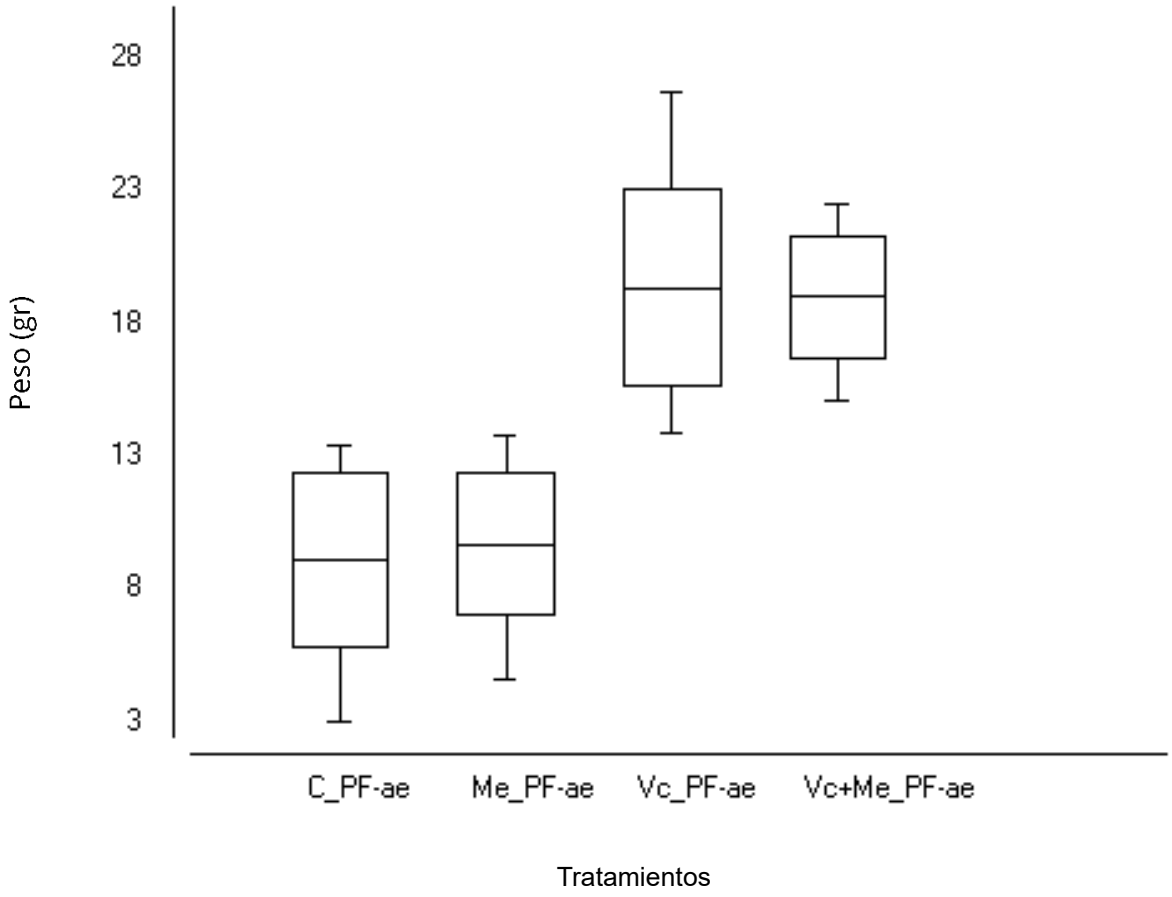


Fuente: Autoría propia, 2024.

Este gráfico ilustra el tamaño promedio de las raíces en plantas de maíz bajo diferentes tratamientos de biofertilizantes. Se observa que el tratamiento con Vermicompost resultó en el mayor tamaño de raíz promedio (43,40 cm), seguido por la combinación de Microorganismos Eficientes con Vermicompost (41,85cm), el control (41,40 cm) y Microorganismos Eficientes solo (38,70 cm).

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

Gráfico 3 - Variación Peso Fresco parte Aérea de las plantas de maíz (*Zea mays L.)* bajo diferentes tratamientos

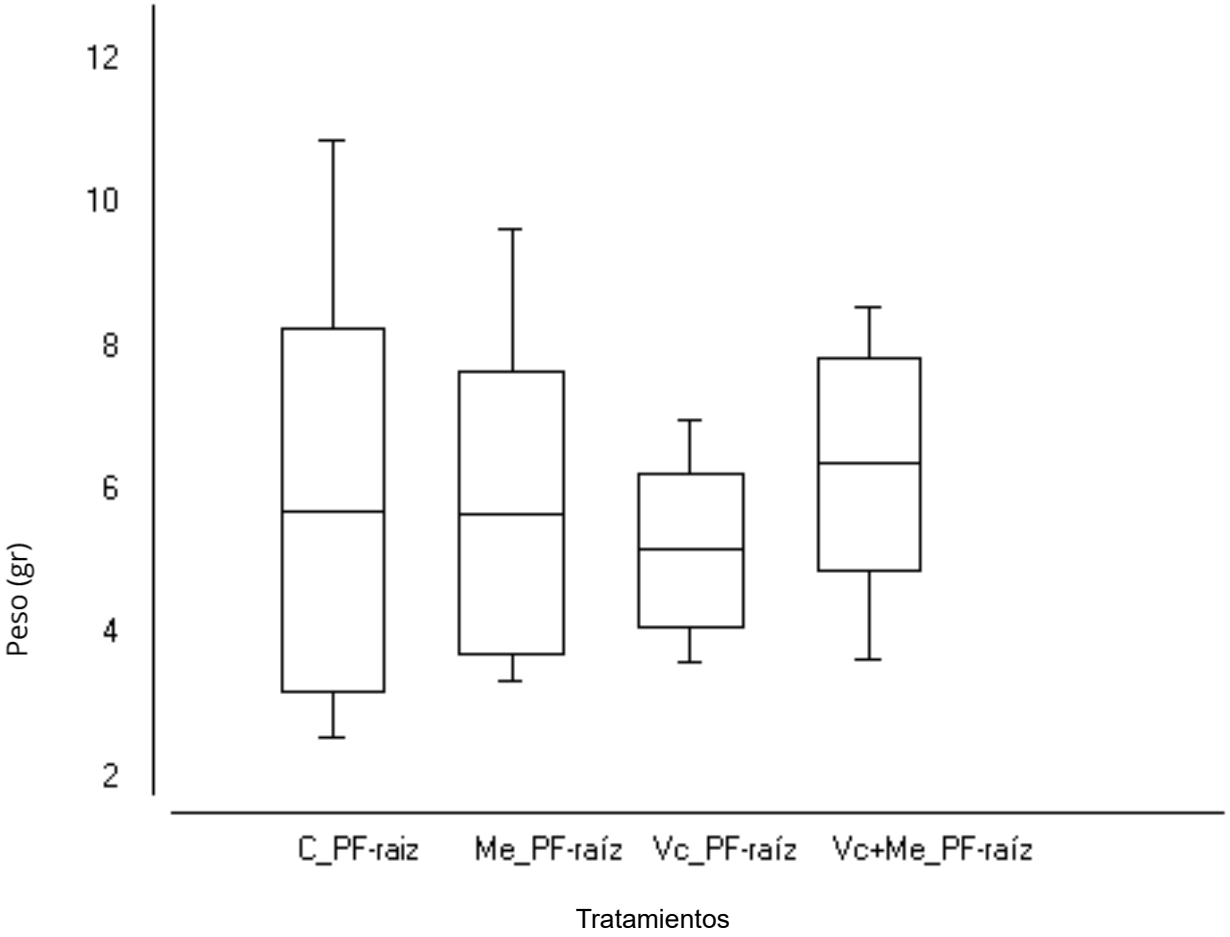


Fuente: Autoría propia, 2024.

El gráfico compara el peso fresco promedio de la parte aérea en plantas de maíz bajo diferentes tratamientos de fertilización. Se observa que el tratamiento con Vermicompost generó el mayor peso fresco promedio (19,464 g), seguido de la combinación de Microorganismos Eficientes y Vermicompost (19,097 g), el tratamiento con Microorganismos Eficientes únicamente (9,792 g), y el Control (9,227 g). Estos valores reflejan el impacto de cada tratamiento en la biomasa fresca de las plantas.

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

Gráfico 4 - Variación Peso Fresco Raíz de las plantas de maíz (*Zea mays L.)* bajo diferentes tratamientos

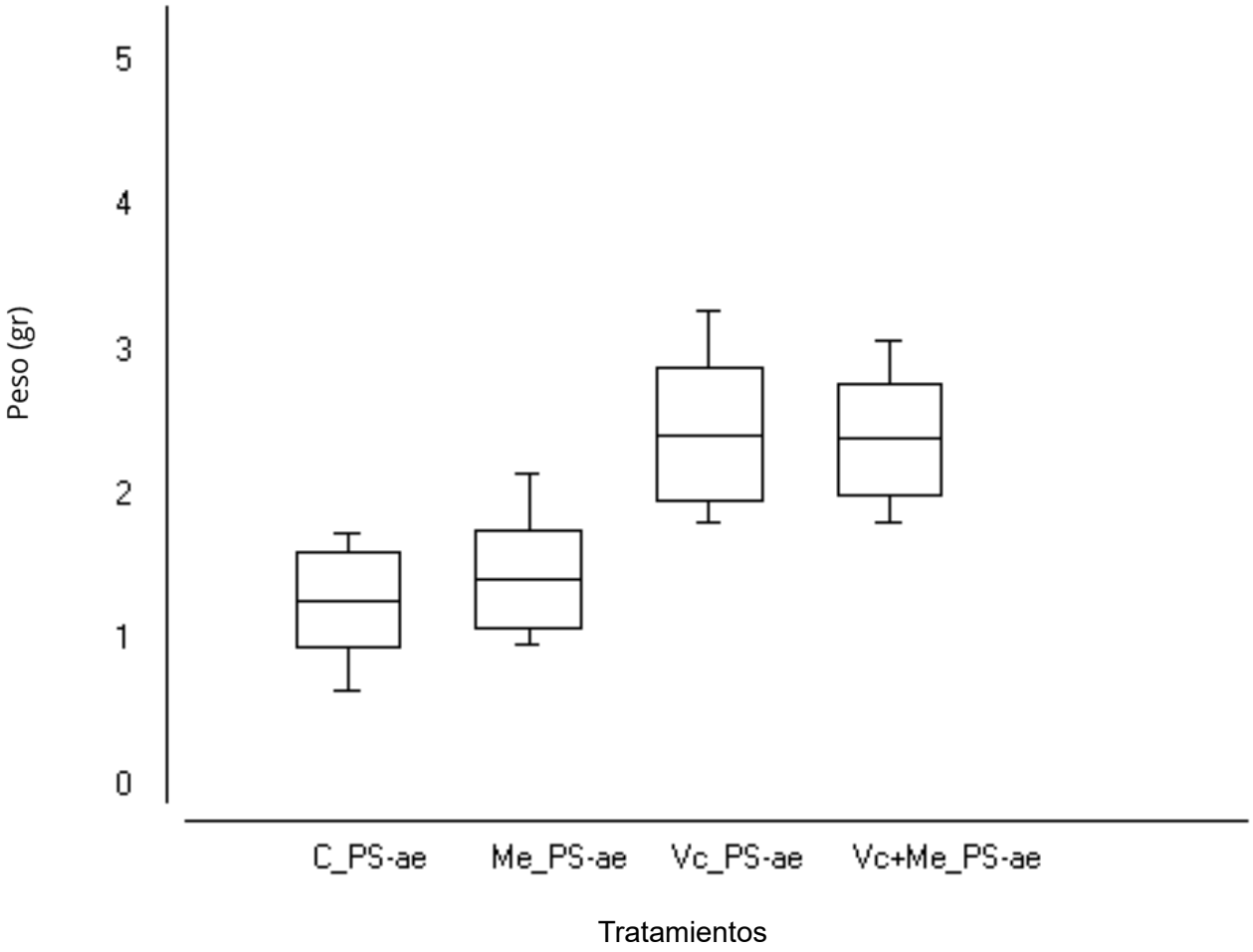


Fuente: Autoría propia, 2024.

El gráfico representa el peso fresco promedio de la raíz en plantas de maíz sometidas a distintos tratamientos. La combinación de Microorganismos Eficientes y Vermicompost alcanzó el mayor peso promedio en las raíces (6,381 g), mientras que el Control, los Microorganismos Eficientes y el Vermicompost obtuvieron valores de 5,721 g, 5,693 g y 5,170 g, respectivamente.

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

Gráfico 5 - Variación Peso Seco parte Aérea de las plantas de maíz (*Zea mays L.)* bajo diferentes tratamientos

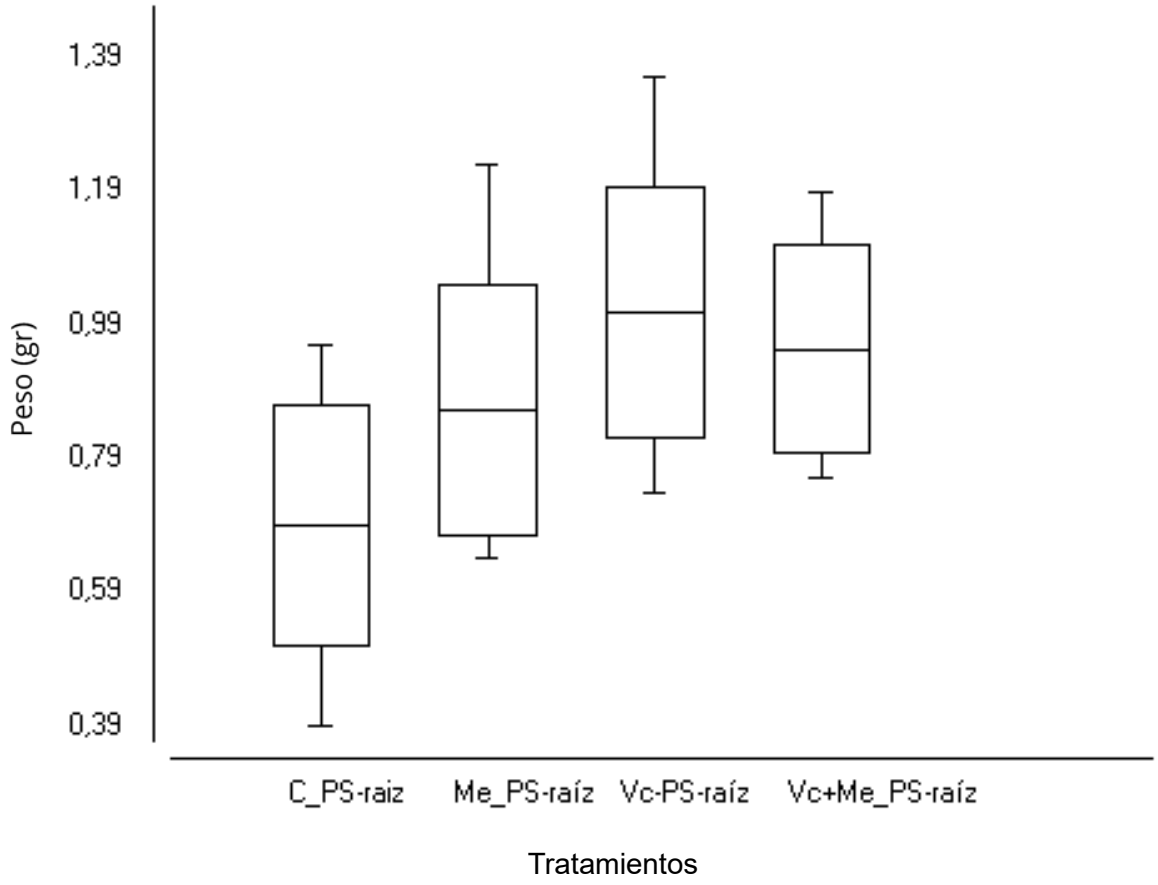


Fuente: Autoría propia, 2024.

El gráfico muestra el peso seco promedio de la parte aérea de las plantas de maíz en cada tratamiento aplicado. Los tratamientos con Vermicompost y la combinación de Microorganismos Eficientes con Vermicompost presentaron valores más elevados, con promedios de 2,423 g y 2,398 g respectivamente. En contraste, el Control y el tratamiento solo con Microorganismos Eficientes mostraron menores incrementos, con promedios de 1,281 g y 1,424 g.

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

Gráfico 6 - Variación Peso Seco de las raíces de las plantas de maíz (*Zea mays L.)* bajo diferentes tratamientos



Fuente: Autoría propia, 2024.

El gráfico muestra el peso seco promedio de la parte aérea de las plantas de maíz en cada tratamiento aplicado. Los tratamientos con Vermicompost y la combinación de Microorganismos Eficientes con Vermicompost presentaron valores más elevados, con promedios de 2,423 g y 2,398 g respectivamente. En contraste, el Control y el tratamiento solo con Microorganismos Eficientes mostraron menores incrementos, con promedios de 1,281 g y 1,424 g.

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

5.1.3 Concentración de clorofila

Se obtuvieron los siguientes cálculos por tratamiento:

- Control:

$$C = 20{,}2 * 0{,}304 + 8{,}02 * 1{,}038 = 14{,}47 mg de\ clorofila/cc$$

- Microorganismos eficientes:

$$C = 20{,}2 * 0{,}298 + 8{,}02 * 1{,}014 = 14{,}15 mg de\ clorofila/cc$$

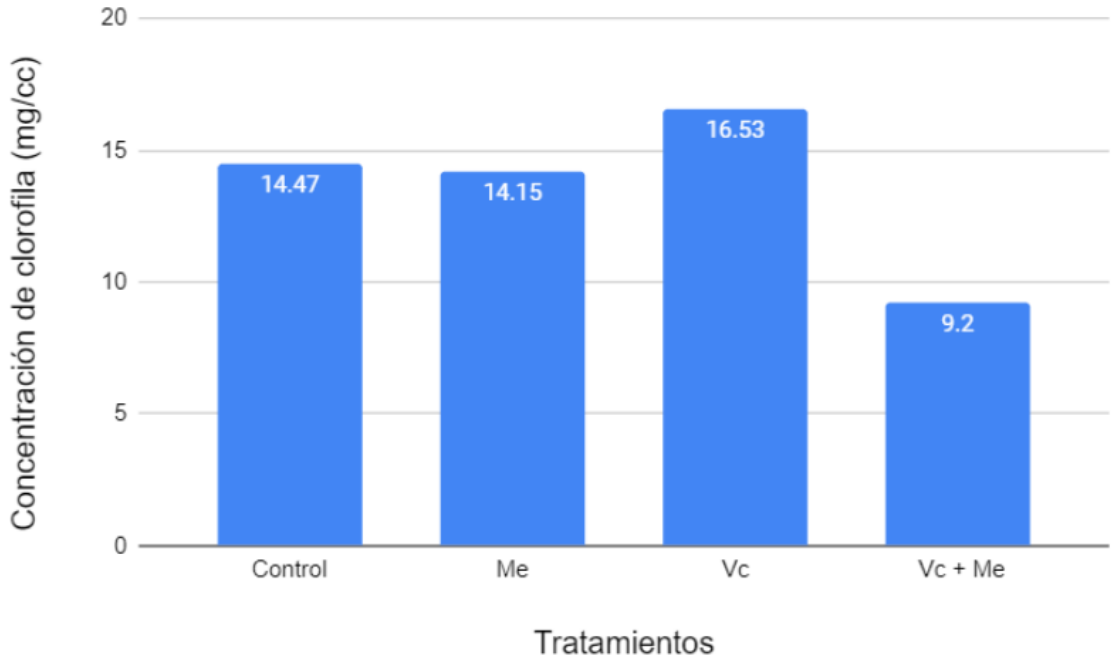
- Vermicompost:

$$C = 20{,}2 * 0{,}346 + 8{,}02 * 1{,}190 = 16{,}53 mg de\ clorofila/cc$$

- Microorganismos eficientes + vermicompost:

$$C = 20{,}2 * 0{,}199 + 8{,}02 * 0{,}646 = 9{,}20 mg de\ clorofila/cc$$

Gráfico 7 - Concentración de la clorofila en plantas de maíz *(Zea mays L.)* bajo diferentes tratamientos, expresada en mg/cc.



Fuente: Autoría propia, 2024.

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

5.1.4 Ensayos estadísticos

La Tabla 2 presenta el análisis estadístico de los datos utilizando el método ANOVA, seguido del test de comparaciones múltiples Scott-Knott, con un nivel de significancia de 0,05. Los tratamientos incluyen variaciones en altura, longitud de raíz, peso fresco de la parte aérea y de la raíz, así como peso seco de ambas partes. Este análisis demostró que las variables de crecimiento aéreo, peso fresco aéreo, peso seco raíz y peso seco aéreo hubo significancia para los tratamientos vermicompost y microorganismos eficientes + vermicompost.

Para las variables crecimiento de raíz y peso fresco raíz no hubo resultado significativo para ninguno de los tratamientos.

Tabla 2 - Análisis Estadístico ANOVA - test Scott-Knott, con un nivel de significancia del 0,05.

Tratamiento	Altura	Raíz	PF aérea	PF raíz	PS aérea	PS raíz
Control	42,55 a1	41,40 a1	9,227 a1	5,721 a1	1,281 a1	0,690 a1
EM	42,65 a1	38,70 a1	9,792 a1	5,693 a1	1,424 a1	0,864 a2
Vc	54,65 a2	43,40 a1	19,464 a2	5,170 a1	2,423 a2	1,009 a2
EM + Vc	54,25 a2	41,85 a1	19,097 a2	6,381 a1	2,398 a2	0,954 a2

Fuente: Autoría propia, 2024

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

6 DISCUSIONES

6.1 PARÁMETROS MORFOLÓGICOS

En este experimento se optó por dos enfoques distintos para el uso de biofertilizantes en el cultivo de maíz. Por un lado, se emplearon microorganismos eficientes (EM) diluidos al 10%, mientras que el otro tratamiento consistió en la aplicación directa de vermicompost sobre las plantas de maíz. Además, se aplicó una combinación de ambos tratamientos. Los resultados obtenidos indicaron que el tratamiento con vermicompost fue el más efectivo, mostrando mejores resultados en comparación con los demás tratamientos.

Este estudio sugiere que el tratamiento con EM no mostró resultados significativos en comparación con el control y los otros tratamientos. Aunque es bien sabido que los EM ofrecen diversos beneficios a las plantas, como la modificación de la morfología radicular, la mejora de la estructura microbiana en la rizosfera, el aumento de la altura y tamaño de las raíces, el incremento del peso fresco y seco, y la optimización de la capacidad fotosintética (Iriti *et al.*, 2019; Avila *et al*., 2021), en este experimento no se observaron estos efectos. Esto podría deberse a varios factores, como baja concentración de microorganismos en el fertilizante utilizado o la competencia entre ellos, lo que podría haber llevado a que un microorganismo predominante inhibiera el crecimiento de otros microorganismos beneficiosos.

Según la literatura los microorganismos que más poseen capacidad de disponibilizar nutrientes como el nitrógeno son las especies de bacterias fotosintéticas (*Rhodopseudomonas palustris* y *Rhodobacter sphaeroides*), (Javaid, 2010, p. 347), en cambio, Vc posee una comunidad más diversa de microorganismos lo que facilita una disponibilidad de nutrientes más inmediata y variada. Por otra parte, EM contiene actinomicetos que se destacan por producir sustancias antimicrobianas derivadas de los aminoácidos secretados por bacterias fotosintéticas. Estas sustancias tienen la capacidad de suprimir hongos y bacterias perjudiciales, lo que sugiere la necesidad de realizar más estudios sobre este fertilizante como posible agente de control biológico (Olle; Williams, 2013).

Dentro de los artículos publicados en plataformas académicas como Google Académico, Springer, ResearchGate, MDPI y Science Direct, reportan resultados positivos al utilizar microorganismos eficientes. Sin embargo, este estudio no

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

logró replicar los resultados esperados mencionados en la literatura. La falta de fuentes científicas pertinentes se presentó como un obstáculo, dificultando la comprensión de las razones detrás de la discrepancia en los resultados obtenidos. Esta situación subraya la necesidad de realizar más investigaciones en este campo para esclarecer los factores que pueden influir en la efectividad de los microorganismos eficientes en diferentes contextos y condiciones.

Por otro lado, el uso de vermicompost generó resultados significativos en varios parámetros de crecimiento del maíz, tales como la altura de las plantas, el peso fresco y seco de la parte aérea, y el peso seco de las raíces en comparación con el control. Estos efectos se atribuyen, en parte, a la capacidad mejorada del vermicompost para retener agua y reducir la lixiviación de nutrientes (Talaat; Salam, 2024). Esto fue particularmente relevante, ya que el experimento se realizó bajo condiciones climáticas naturales, que incluyeron periodos de lluvias intensas y temperaturas que superaron los 36 °C. Además, debido a que el material orgánico pasa a través del intestino de la lombriz de tierra el vermicompost resultante es abundante en actividad microbiana como las bacterias solubilizadoras de fosfato, fijadoras de nitrógeno, solubilizadoras de zinc, actinomicetos, de igual forma de que es alto en humus y hormonas de crecimiento como citoquininas, auxinas y giberelinas (Talaat; Salam, 2024; Oyege; Bhaskar, 2023).

En el tratamiento combinado de EM y Vc, se observaron diferencias significativas en las mismas variables que en el tratamiento de solo vermicompost (Vc); sin embargo, los valores fueron inferiores en comparación con el Vc. Aunque diversos estudios sugieren que la mezcla de estos dos fertilizantes puede mejorar la absorción de nutrientes, aumentar la estructura de las raíces y favorecer los procesos fotosintéticos en las plantas (Talaat; Salam, 2024), este experimento mostró resultados contrarios. Una posible explicación podría ser la competencia entre los microorganismos presentes en ambos fertilizantes, donde los microorganismos de EM inhibieron el crecimiento de la población microbiana del Vc. Esto resalta la importancia de considerar las interacciones microbianas al evaluar el impacto de los biofertilizantes en el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

6.2 CONCENTRACIÓN DE LA CLOROFILA

En cuanto a la concentración de la clorofila, se obtuvo que el tratamiento Vc fue el que presentó mayor contenido de clorofila, seguido por el grupo de control, el tratamiento Me y por último, la combinación de Me+Vc. El tratamiento con Vermicompost presentó los mejores resultados en cuanto a la concentración de clorofila, lo que coincide con estudios previos que destacan que el Vc tienen un índice positivo en el contenido de clorofila (Jankauskien; LLaužikė, 2022; Kováčik *et al.,* 2022).

Los microorganismos eficientes también mostraron resultados positivos, aunque menos marcados en comparación al Vc y el control. Según investigaciones de Ayan *et al.,* (2022), los EM obtuvieron efecto significativo en características fisiológicas como la clorofila a, clorofila b y clorofila total sin embargo en este estudio demostró lo contrario. Y ya la combinación de ambos tratamientos (Vc+Me) no mostró un efecto sinérgico como se esperaba, posiblemente debido a la interacción competitiva entre los dos biofertilizantes.

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

7 CONSIDERACIONES FINALES

Los Microorganismos Eficientes (EM) no generaron efectos significativamente superiores en comparación con el vermicompost (Vc) o la combinación de ambos (Me + Vc). En cambio, el vermicompost demostró un mayor impacto en términos de altura de las plantas, así como en el peso fresco y seco de la parte aérea, lo que sugiere su eficacia como un biofertilizante de bajo costo y con múltiples beneficios para la agricultura sostenible. Sin embargo, es crucial continuar investigando las interacciones entre estos dos biofertilizantes (EM y vermicompost) para determinar si su combinación es sinérgica o contraproducente. De igual forma, debido a que este experimento fue desarrollado como un experimento piloto se sugiere la necesidad de estudios adicionales en el campo y con un mayor número de muestras.

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRANCHES, Mikaela de Oliveira *et al*. Contribuição da adubação verde nas características químicas, físicas e biológicas do solo e sua influência na nutrição de hortaliças. **Research, Society And Development**, Brasil, v. 10, n. 7, 14 jun. 2021. Research, Society and Development. http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16351.

ACCUWEATHER. Temperatura y humedad de Foz do Iguaçu, agosto de 2024. Disponível em: https://www.accuweather.com. Acceso en: 13 out. 2024.

AVILA, Giovani Mansani de Araujo *et al*. Use of efficient microorganisms in agriculture. Research, **Society And Development**, Brasil, v. 10, n. 8, 15 jul. 2021. Research, Society and Development. http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i8.17515.

AYAN, Sezgin *et al*. The influence of effective microorganisms on physiological characteristics of containerized taurus cedar (Cedrus libani A. Rich.) seedlings. **Cerne**, Turquia, v. 28, 2022. Http://dx.doi.org/10.1590/01047760202228013018.

BAHADUR, Indra *et al*. Potassium-Solubilizing Bacteria (KSB): a microbial tool for k-solubility, cycling, and availability to plants. **Plant Growth Promoting Rhizobacteria For Agricultural Sustainability**, p. 257-265, 2019. Springer Singapore. http://dx.doi.org/10.1007/978-981-13-7553-8_13.

BAKKER, P. A. H. M. et al. **The Rhizosphere as a Laboratory for Sustainable Agriculture**. *Annual Review of Phytopathology*, v. 56, p. 165-188, 2018.

CÁRDENAS, Carlos Iván Cruz *et al*. Utilización de microorganismos para una agricultura sostenible en México: consideraciones y retos. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, Mexico, v. 12, n. 5, p. 1-23, ago. 2021.

CHAUDHARY, Parul *et al*. Overview of biofertilizers in crop production and stress management for sustainable agriculture. **Frontiers In Plant Science**, India, v. 13, 23 ago. 2022. Frontiers Media SA. http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2022.930340.

CHANCLUD, S.; MOREL, J. **Interaction Between Plants and Microbes**. *Annual Review of Phytopathology*, v. 54, p. 185-210, 2016.

COLACELLI, N. A. **Azufre en el suelo.** Biblioteca electrónica Alsina. Ed. 1. Buenos Aires. 2001.

CONTRERAS-CORNEJO, H. A. et al. **The Role of Trichoderma in Plant Growth**. *Journal of Plant Growth Regulation*, v. 34, p. 701-712, 2015.

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

CRICHTON, R. R.; CHARLOTEAUX-WAUTERS, M. Iron transport and storage. European Journal of Biochemistry, v. 164, n. 3, p. 485-506, 1987.

DODD, I.C. *et al*. Rhizobacterial mediation of plant hormone status. **Annals Of Applied Biology**, v. 157, n. 3, p. 361-379, 18 out. 2010. Wiley. http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7348.2010.00439.x.

DUFUMIER, Marc. **Manual de la Litière forestière fermentée**: une préparation simple et économique pour des cultures vigoureuses. France: Editions Du Rouergue, 2021. 142 p.

EMRO, What is EM?. 2016. Disponible en: https://www.emrojapan.com/what/

FELTEN, J. *et al*. **Laccaria bicolor and Its Role in Ectomycorrhizal Symbiosis**. *Mycorrhiza*, v. 19, p. 257-265, 2009.

FERNÁNDEZ, Maria Teresa; RODRÍGUEZ, Hilda. Aplicaciones biológicas de las fitasas: papel en los fertilizantes microbianos. **Instituto Cubano de Investigaciones de Los Derivados de La Caña de Azúcar**, La Habana, Cuba, p. 27-34, 2006

GLICK, B. R. **Plant Growth-Promoting Bacteria: Mechanisms and Applications**. *Scientific World Journal*, v. 12, p. 1750-1762, 2012.

GREENSHIELDS, R. N.; REES, C. E. D.; SMITH, A. W. **Iron uptake and metabolism in pathogenic bacteria**. FEMS Microbiology Reviews, v. 31, n. 2, p. 215-229, 2007.

HACQUARD, S. *et al*. **The Plant Microbiome**. *Annual Review of Plant Biology*, v. 66, p. 225-246, 2015.

HARRINGTON, J. M.; CRUMBLISS, A. L. **The redox hypothesis in siderophore-mediated iron uptake**. Biometals, v. 22, n. 4, p. 679-689, 2009

HIGA, Teruo; PARR, James F.. **Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment**. Atami, Japón: International Nature Farming Research Center, 1994.

HIGA, T. **Microorganismos benéficos y efectivos para una agricultura y medio ambiente sostenible**. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Beltsville, Maryland, Estados Unidos. 1989. Disponible en: https://cdn.goconqr.com/uploads/media/pdf_media/42178589/ef577365-1bb5-4922-a61b-1e268f8784d6.pdf

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

HIGA, Teruo. Kyusei Nature Farming and Environmental Management Through Effective Microorganisms - The Past, Present and Future. **Department of Horticulture**. 2016.

HISCOX, J. D.; ISRAELSTAM, G. F. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. **Canadian Journal of Botany**, v. 57, p. 1332-1334, 1979

IRITI, Marcello *et al*. Soil Application of Effective Microorganisms (EM) Maintains Leaf Photosynthetic Efficiency, Increases Seed Yield and Quality Traits of Bean (Phaseolus vulgaris L.) Plants Grown on Different Substrates. **International Journal Of Molecular Sciences**, Milan, Italy, v. 20, n. 9, p. 2327, 10 maio 2019. Http://dx.doi.org/10.3390/ijms20092327.

JAIN, Devendra et al. Potassium solubilizing microorganisms as soil health engineers: an insight into molecular mechanism. Rhizosphere Engineering, p. 199-214, 2022. Elsevier. http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-323-89973-4.00007-7.

JANKAUSKIENė, Julė *et al*. Effects of Vermicompost on Quality and Physiological Parameters of Cucumber (*Cucumis sativus L.)* Seedlings and Plant Productivity. **Horticulturae**, Babtai, Lituania, v. 8, n. 11, p. 1009, 31 out. 2022. Http://dx.doi.org/10.3390/horticulturae8111009

JAVAID, A. **Beneficial Microorganisms for Sustainable Agriculture**. Institute of Mycology and Plant Pathology, University of the Punjab, Quaid-e-Azam Campus, Lahore, Pakistan. p. 347. 2010.

JIBAT, G, M.; ASFAW, M. **Compost enriched with effective microorganism and Bordeaux mixture on ginger bacterial wilt (*Ralstonia solanacearum*) Epidemics in southwestern, Ethiopia**. International Journal on Food, Agriculture, and Natural Resources. v. 03, p. 40-44. 2022.

KHANDE, Rajesh *et al*. Zinc solubilizing Bacillus strains that modulate growth, yield and zinc biofortification of soybean and wheat. Rhizosphere, [S.L.], v. 4, p. 126-138, dez. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.rhisph.2017.09.002.

KYAN, Takashi *et al*. Kyuse nature farming and technology of effective microorganisms. Bangkok, Thailand: Ravi Sangakkara, 1999. 49 p.

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

KOVÁčIK, Peter et al. The Effect of Vermicompost and Earthworms (Eisenia fetida) Application on Phytomass and Macroelement Concentration and Tetanic Ratio in Carrot. Agronomy, v. 12, n. 11, p. 2770, 7 nov. 2022. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/agronomy12112770.

KREMER, R. J. *et al.* Control of Sclerotinia homoercarpa in Turfgrass Using Effective Microorganisms. International Nature Farming Research Center, Columbia, Usa, 1999.

KUDOYAROVA, Guzel *et al*. Phytohormone Mediation of Interactions Between Plants and Non-Symbiotic Growth Promoting Bacteria Under Edaphic Stresses. **Frontiers In Plant Science**, v. 10, 29 out. 2019. Frontiers Media SA. http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2019.01368.

LIMA, Ana Luíza Cordeiro. Fertilizantes nitrogenados: uma revisão bibliográfica sobre impactos ambientais. 2024. 47 f. TCC (Graduação) - Curso de Química Industrial, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2024.

LUDWIG-MÜLLER, Jutta. Auxins in the right space and time regulate pea fruit development. **Journal Of Experimental Botany**, Dresden, Germany, v. 73, n. 12, p. 3831-3835, 24 jun. 2022. Oxford University Press. http://dx.doi.org/10.1093/jxb/erac237.

MACKINNEY, G. Absorption of light by chlorophyll solutions. From the Division of Fruit Products, University of California, Berkeley. Received for publication, Marzo 13, 1941.

MEENA, Vijay. et al. **Sustainable Crop Productio**n. London: Intech Open, 2022.

MITTER, Eduardo K. *et al*. Rethinking Crop Nutrition in Times of Modern Microbiology: innovative biofertilizer technologies. **Frontiers In Sustainable Food Systems**, v. 5, 19 fev. 2021. Frontiers Media SA. http://dx.doi.org/10.3389/fsufs.2021.606815.

MONTEIRO, Alessandra*. et al.* Impactos ambientais causados pelo uso de fertilizantes agrícolas. In: MENDES, Alessandra Monteiro Salviano *et al*. Impactos ambientais causados pelo uso de fertilizantes agrícolas. In: BRITO, Luiza Teixeira de Lima *et al*. **Impactos ambientais causados pela agricultura no Semiárido brasileiro**. 5. ed. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. p. 55-99.

MORRISSEY, Joe; GUERINOT, Mary Lou. Iron Uptake and Transport in Plants: the good, the bad, and the ionome. Chemical Reviews, [S.L.], v. 109, n. 10, p. 4553-4567, 16 set. 2009. American Chemical Society (ACS). http://dx.doi.org/10.1021/cr900112r.

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

MUYZER, G.; STAMS, A. J. M. The ecology and biotechnology of sulphate-reducing bacteria. Nature Reviews Microbiology, v. 6, p. 441-454, 2008.

NAWAZ, Aniqa et al. Contribution of potassium solubilizing bacteria in improved potassium assimilation and cytosolic K+/Na+ ratio in rice (*Oryza sativa L*.) under saline-sodic conditions. Frontiers In Microbiology, Pakistán,v. 14, 28 ago. 2023. Frontiers Media SA. http://dx.doi.org/10.3389/fmicb.2023.1196024.

NOVAIS, R. F., & SMITH, T. J. (1999). Fósforo em solo e planta em condições tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23(1), 181-189.

OYEGE, Ivan; BHASKAR, Maruthi Sridhar Balaji. Effects of Vermicompost on Soil and Plant Health and Promoting Sustainable Agriculture. **Soil Systems**, Miami, Usa, v. 7, n. 4, p. 101, 10 nov. 2023. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/soilsystems7040101.

OLLE, M.; WILLIAMS, H. Effective microorganisms and their influence on vegetable production - a review. p. 380-386. 2013. https://doi.org/10.1080/14620316.2013.11512979

OUWEHAND, Arthur; VESTERLUND, Satu. Antimicrobial Components from Lactic Acid Bacteria. Lactic Acid Bacteria, USA, 23 jul. 2004. http://dx.doi.org/10.1201/9780824752033.ch11.

PANDEY, A.; SOCCOL, C. R.; MITCHELL, D. **New developments in solid state fermentation**: I-bioprocesses and products. Process Biochemistry, v. 35, n. 10, p. 1153-1169, 2000.

PATHMA, J.; SAKTHIVEL, N. **Microbial diversity of vermicompost bacteria that exhibit useful agricultural traits and waste management potential**. 2012. https://doi.org/10.1186/2193-1801-1-26

PRANAGAL, Jacek *et al*. Impact of Effective Microorganisms (EM) Application on the Physical Condition of Haplic Luvisol. **Agronomy**, Lublin, Poland, v. 10, n. 7, p. 1049, 21 jul. 2020. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/agronomy10071049.

RAVILDRAN, B.; *et al*. **Influence of microbial diversity and plant growth hormones in compost and vermicompost from fermented tannery waste**. v. 217, p. 200-204. 2016. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.03.032

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

REHMAN, Sami Ur *et al*. Vermicompost: enhancing plant growth and combating abiotic and biotic stress. **Agronomy**, Lecce, Italia, v. 13, n. 4, p. 00-00, 16 abr. 2023.

TRIPATHI, Sachchidanand *et al*. Influence of synthetic fertilizers and pesticides on soil health and soil microbiology. **Agrochemicals Detection, Treatment and Remediation**, India, p. 25-54, 2020. http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-08-103017-2.00002-7.

RODRÍGUEZ, H.; FRAGA, R. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. Biotechnology Advances, v. 17, n. 4, p. 319-339, 1999.

ROY, R N. *et al*. **Plant nutrition for food security**: a guide for integrated nutrient management. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of The United Nations, 2006. 336 p.

SARAVANAN, V.s. et al. Solubilization of zinc compounds by the diazotrophic, plant growth promoting bacterium Gluconacetobacter diazotrophicus. Chemosphere, v. 66, n. 9, p. 1794-1798, jan. 2007. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.07.067.

SINGH, Archana *et al*. Earthworms and vermicompost: an eco-friendly approach for repaying nature. **Environmental Geochemistry and Health**, [S.L.], v. 42, n. 6, p. 1617-1642, 23 jan. 2020. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1007/s10653-019-00510-4.

SPAEPEN, Stijn. Plant Hormones Produced by Microbes. **Principles Of Plant-Microbe Interactions**, p. 247-256, 5 dez. 2014. Springer International Publishing. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-08575-3_26.

SCHIPPERS, A.; JØRGENSEN, B. B. Microbial oxidation of sulfur compounds in mining-impacted environments. **Journal of Geomicrobiology,** v. 14, n. 3, p. 197-211, 1996.

SCHERER, H. W. Sulfur in crop production—invited paper. **European Journal of Agronomy,** v. 14, n. 2, p. 81-111, 2001.

SCHNÜRER, Johan; MAGNUSSON, Jesper. Antifungal lactic acid bacteria as biopreservatives. Trends In Food Science & Technology, [S.L.], v. 16, n. 1-3, p. 70-78, jan. 2005. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2004.02.014.

TALAAT, N.; SALAM, A. **A novel eco-friendly approach of combining vermicompost and effective microorganisms sustains wheat (Triticum aestivum L.) drought**

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03

tolerance by modulating photosynthetic performance and nutrient acquisition. 2024. https://doi.org/10.1007/s11738-024-03698-w

TSUKANOVA, K.A. *et al*. Effect of plant growth-promoting Rhizobacteria on plant hormone homeostasis. **South African Journal Of Botany**, [S.L.], v. 113, p. 91-102, nov. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.sajb.2017.07.007.

Universidad Politécnica de Madrid. Práctica de viabilidad de semillas. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=x3H_JKjJ4FE&t=189s. Acceso en: 07 de octubre del 2024.

VAID, S. K. *et al.* Plant growth promoting rhizobacteria and their role in alleviating zinc deficiency in plants. **International Journal of Agriculture Sciences**, v. 6, n. 5, p. 482-485, 2014.

VASSILEV, N.; VASSILEVA, M.; NIKOLAEVA, I. Simultaneous P-solubilizing and biocontrol activity of microorganisms: potentials and future trends. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 71, n. 2, p. 137-144, 2006.

VESSEY, Kevin. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. **Plant and soil,** Winnipeg, Canada, p. 571-586, mar 2003.

VESTER, F.; INGVORSEN, K. A sulfur cycle in a soil of an agricultural field. v. 64, n. 7, p. 2738-2741, 1998.

VIDAVERDI (ed.). **Cómo hacer una vermicompostera paso a paso**. 2022. Disponible en: https://vidaverdi.es/acceso/. Acesso el: 08 set. 2024.

WANDERSMAN, C.; DELEPELAIRE, P. Bacterial iron sources: from siderophores to hemophores. **Annual Review of Microbiology**, v. 58, p. 611-647, 2004.

WEINBERG, E. D. The Lactobacillus anomaly: total iron abstinence. Perspectives in Biology and Medicine, v. 40, n. 4, p. 578-583, 1997.

ZAMIOUDIS, C.; PIETERSE, C. M. J. **Beneficial Microbes in Agriculture**. *Annual Review of Phytopathology*, v. 50, p. 197-219, 2012.

Versão Final Homologada
04/11/2024 11:03