

**EM-COMPOST CON *Bacillus subtilis* y *Trichoderma* sp. SOBRE  
LA BIOFERTILIZACIÓN DE MAÍZ (*Zea mays*) Y FRÍJOL (*Phaseolus  
vulgaris*) EN UN HUERTO DE VALLEDUPAR**

*Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de:*

**Microbióloga**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR  
FACULTAD CIENCIAS BÁSICAS  
PROGRAMA DE MICROBIOLOGÍA  
VALLEDUPAR - CESAR  
2023**



**EM-COMPOST CON *Bacillus subtilis* y *Trichoderma* sp. SOBRE  
LA BIOFERTILIZACIÓN DE MAÍZ (*Zea mays*) Y FRÍJOL (*Phaseolus  
vulgaris*) EN UN HUERTO DE VALLEDUPAR**

*Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de:*

**Microbióloga**

**MILEIDIS BADILLO PAYARE  
YEILIS LORENA BARBOSA MISAL**

**DIRECTORA**

**ASLENIS EMIDIA MELO RIO**

**Microbióloga, Msc. Gestión de Auditoria – Orientación en  
tecnología e Ingeniería Ambiental, doctorado en Educación**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR  
FACULTAD CIENCIAS BÁSICAS  
PROGRAMA DE MICROBIOLOGÍA  
VALLEDUPAR - CESAR  
2023**



**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

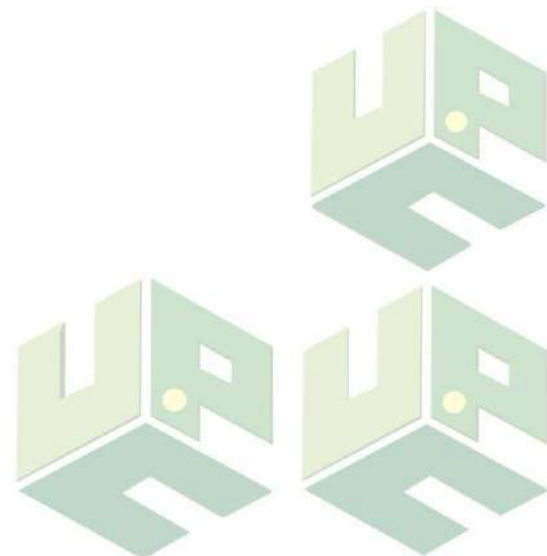
---

**Firma del jurado**

---

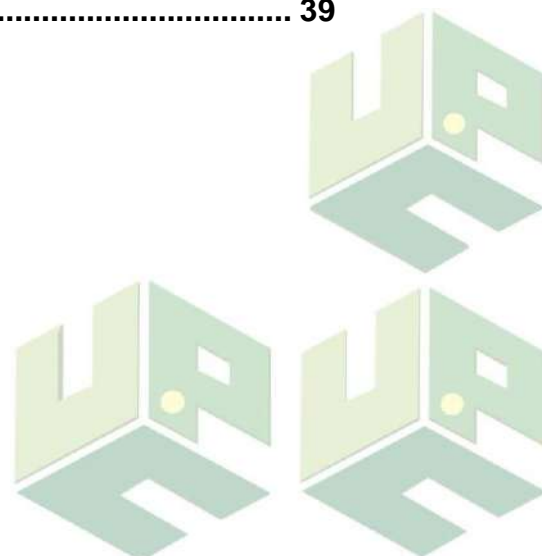
**Firma del jurado**

Valledupar, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ 2023



## TABLA DE CONTENIDO

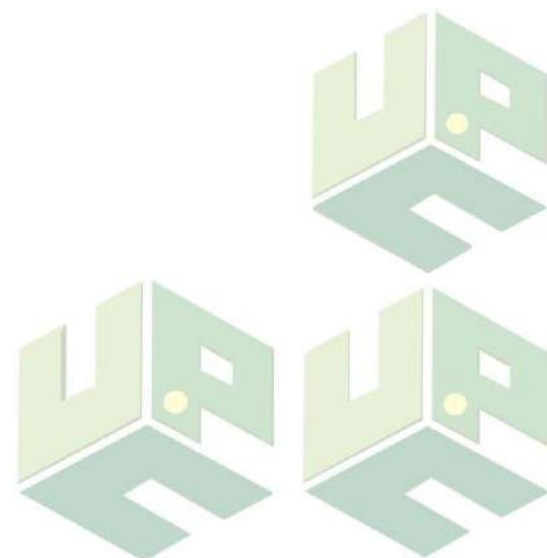
RESUMEN .....	3
ABSTRACT.....	3
INTRODUCCIÓN .....	4
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	5
2. JUSTIFICACIÓN .....	11
3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN .....	12
4. HIPÓTESIS .....	12
5. PROPÓSITO .....	12
6. OBJETIVOS .....	12
6.1. Objetivo General .....	12
6.2. Objetivos Específicos .....	12
7. MARCO TEÓRICO .....	13
7.1. Antecedentes .....	13
7.2. Marco Conceptual .....	16
7.2.1. ¿Qué es un EM-compost? .....	17
7.2.2. Microorganismos empleados .....	17
7.2.2.1. Generalidades de <i>Bacillus</i> .....	17
7.2.2.1. Generalidades de <i>Trichoderma</i> .....	18
7.2.3. Huertos caseros .....	19
8. METODOLOGÍA .....	20
8.1. Tipo de estudio .....	20
8.2. Línea de Investigación .....	20
8.3. Universo, población, muestra y localización del estudio.....	20
8.4. Preparación de la mezcla con m.o eficientes (EM) .....	20
8.5. Características del compost o sustrato.....	21
8.6. Diseño experimental.....	22
8.7. Evaluación del EM-compost .....	23
8.8. Análisis fisicoquímico .....	23
8.9. Evaluación del crecimiento de la planta .....	23
8.10. Unidad de análisis .....	24
8.11. Técnicas de obtención de la información.....	24
9. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	24
10. CONCLUSIONES .....	29
11. RECOMENDACIONES .....	30
12. ANEXOS .....	31
13. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS .....	39



## RESUMEN

Se realizó un experimento en condiciones de laboratorio e invernadero, con el propósito de evaluar la efectividad de la aplicación conjunta de un EM-compost enriquecido con *Bacillus subtilis* y *Trichoderma* sp. sobre el rendimiento y promoción de crecimiento de maíz y frijol. Se emplearon inóculos de *Bacillus subtilis* a  $3 \times 10^6$  UFC/mL y *Trichoderma* sp. a  $4 \times 10^5$  conidias/mL para los tratamientos y se aplicaron a las semillas en un diseño experimental de cuatro tratamientos x cinco repeticiones, incluyendo el control; se evaluó el número de semillas germinadas durante 60 días; se calculó el porcentaje de germinación. Posteriormente las semillas germinadas se llevaron a condiciones de invernadero, transcurridos dos meses se midió la altura de las plantas, peso total húmedo, longitud de la raíz y la carga microbiana presente. En los tratamientos con microorganismos y EM-compost se puede resaltar que la estimulación de biomasa y germinación de maíz aumentó significativamente en promedio 25,66gr y 70 % a comparación del control sin inocular 6,5gr y 19,74 %, sin embargo, para frijol hubo mayor desarrollo con la aplicación de un EM-compost enriquecido con *Bacillus subtilis* y *Trichoderma* sp. en biomasa (11,4gr) y germinación (44 %), siendo más efectivo *Bacillus subtilis* en maíz que en frijol. Los resultados demostraron una acción efectiva de la PGPR *Bacillus subtilis* con EM-compost para mejorar la promoción de crecimiento de maíz y de *Bacillus subtilis* co-inoculado con *Trichoderma* sp. en un EM-compost para promoción de crecimiento en frijol, mostrando potencial en la elaboración de biofertilizantes para el manejo y protección de estos cultivos.

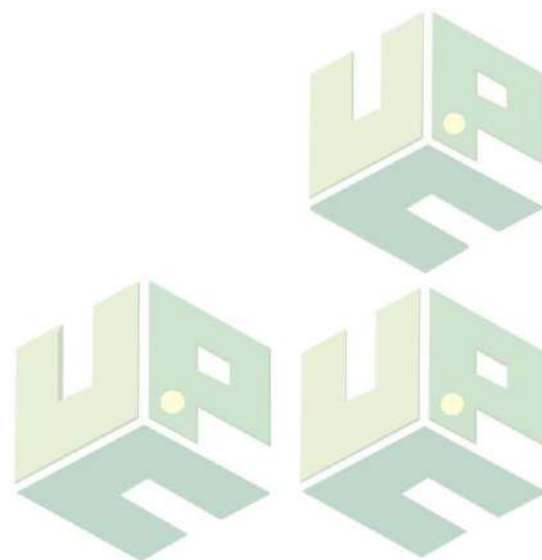
**Palabras claves:** *Biofertilizante, Compostaje, pgpm y Producción agrícola.*



## ABSTRACT

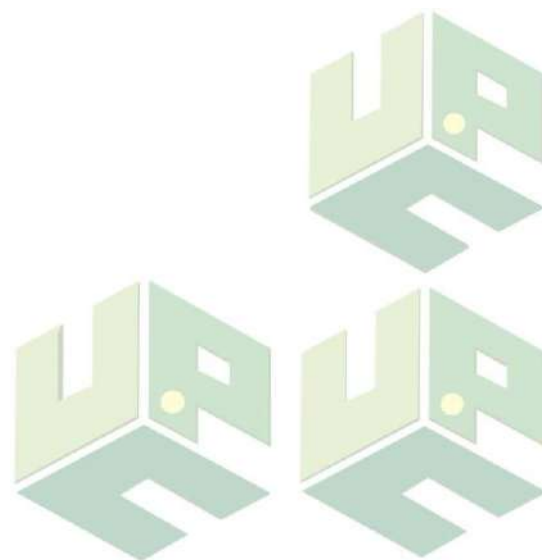
An experiment was conducted under laboratory and greenhouse conditions to evaluate the effectiveness of the joint application of an EM-compost enriched with *Bacillus subtilis* and *Trichoderma* sp. on the yield and growth promotion of maize and beans. Inocula of *Bacillus subtilis* at  $3 \times 10^6$  CFU/mL and *Trichoderma* sp. at  $4 \times 10^5$  conidia/mL were used for the treatments and applied to seeds in an experimental design of four treatments x five replicates, including the control; the number of germinated seeds was evaluated for 60 days; the germination percentage was calculated. After two months, plant height, total wet weight, root length and the microbial load present were measured. In the treatments with microorganisms and EM-compost it can be highlighted that the stimulation of biomass and germination of corn increased significantly in average 25.66gr and 70 % compared to the control without inoculation 6.5gr and 19.74 %, however, for beans there was greater development with the application of an EM-compost enriched with *Bacillus subtilis* and *Trichoderma* sp. in biomass (11.4gr) and germination (44 %), being more effective *Bacillus subtilis* in corn than in beans. The results demonstrated an effective action of the PGPR *Bacillus subtilis* with EM-compost to improve growth promotion in maize and of *Bacillus subtilis* co-inoculated with *Trichoderma* sp. in an EM-compost for growth promotion in beans, showing potential in the elaboration of biofertilizers for the management and protection of these crops.

**Key words: Biofertilizer, Composting, pgpm and Agricultural production.**



## INTRODUCCIÓN

Los fertilizantes minerales tienen efectos significativos en la producción alimentaria mundial, por ende, se les considera un componente esencial en la agricultura actual (Martillo-Romero, EF, 2019). Según la FAO (2016), la menor disponibilidad de fertilizantes ha creado incertidumbre en el mercado de precios de fertilizantes y ante la creciente necesidad de querer emplear cada vez más los fertilizantes sintéticos para suplir la demanda ha llevado a ejercer una presión sobre la disminución rápida de su aplicación, empujando la producción agrícola mundial hacia el desarrollo y uso de biofertilizantes. La biofertilización ha demostrado ser la alternativa más viable, sobre todo en el aprovechamiento de residuos orgánicos ampliamente generados en Colombia, presentándose como solución práctica la aplicación de compost enriquecido y co-inoculado con microorganismos eficientes en promoción de crecimiento vegetal que permitan competir con los fertilizantes y simultáneamente mantener la producción agroalimentaria (Martínez Anaya, M, y Quintero Pechene, J, 2017). El presente proyecto de investigación tuvo como objetivo evaluar la efectividad de un EM-compost enriquecido con *Bacillus subtilis* y *Trichoderma* sp. como promotores de crecimiento vegetal (PGPM) sobre el rendimiento y productividad de maíz (*Zea mays*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*) en un huerto casero en la ciudad de Valledupar, donde pudo determinar el potencial de aplicación como biofertilizante que permita el manejo y protección de estos cultivos.

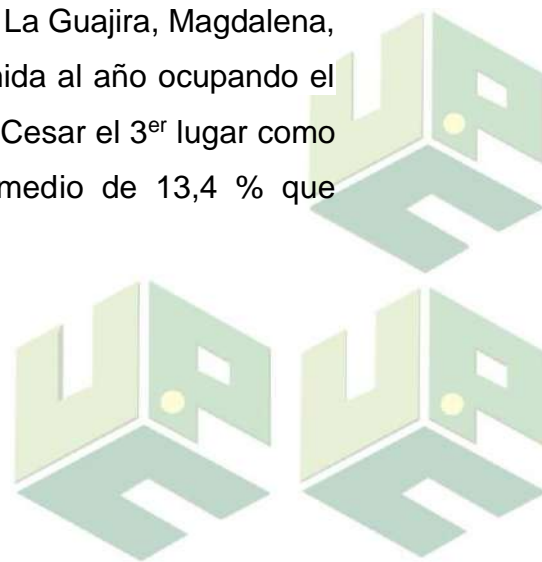


## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una de las principales problemáticas a nivel mundial que afecta al medio ambiente es la excesiva acumulación de residuos orgánicos que cada día se convierte en un problema de contaminación difícil de manejar, la necesidad de plantear soluciones para apoyar la gestión integral de los residuos sólidos biodegradables ha llevado a proponer métodos de tratamiento como el compostaje, el cual consiste en la transformación de residuos sólidos por medios biológicos, bajo condiciones controladas, en productos como abono, sustrato o enmiendas para la agricultura (Ramírez-Ramírez, F, Campos-Rodríguez, R, Jiménez-Morales, M, y Brenes-Peralta, L, 2016).

La producción de residuos orgánicos y su disposición indiscriminada en rellenos sanitarios se traduce en pérdida de nutrientes y contaminación ambiental, debido a la generación de lixiviados combinados con desechos tóxicos altamente desfavorables en términos de salud pública afectando tanto a la fauna como a las comunidades consumidoras de las aguas cercanas y subterráneas, y pueden llegar a producir grandes concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI), tales como el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y metano ( $\text{CH}_4$ ), siendo emisiones que contribuyen al cambio climático mundial y afectan la calidad del aire (CCA, 2017).

En Colombia anualmente se producen aproximadamente 28,5 millones de toneladas, de los cuales se estima una pérdida de 9,76 millones de toneladas equivaliendo al 34 % del total de alimento disponible por un año. Partiendo de la pérdida de 9,76 millones de toneladas, el valor de 6,1 millones de toneladas estaría correspondiendo a las frutas y verduras provenientes en su mayoría supermercados, tiendas de barrio, plazas de mercado y hogares (DNP, 2016). Donde la región Caribe (Atlántico, Bolívar, Cesar, Córdoba, La Guajira, Magdalena, San Andrés y Sucre) se pierden 18,2 % toneladas de comida al año ocupando el 2do lugar en todas las regiones colombianas, ocupando el Cesar el 3<sup>er</sup> lugar como departamento con mayor desperdicio con una cifra promedio de 13,4 % que equivale a 1,21 millones de toneladas diarias (DNP, 2016).





Es necesario plantear estrategias que permitan mitigar o disminuir posibles impactos ambientales generados en las centrales de abastos, y posteriormente en menor medida dentro de los hogares del municipio de Valledupar, esta problemática enfatiza la necesidad de estandarizar el proceso de transformar los residuos sólidos en compostaje orgánicos con el fin de lograr un sistema de producción más sustentable desde el punto de vista económico y ambiental, aunque estos residuos no representen el valor principal de la transformación pueden ser la materia prima para otro nuevo producto que podría llegar a ser de alto valor agregado (Martínez Anaya, M, y Quintero Pechene, J, 2017)

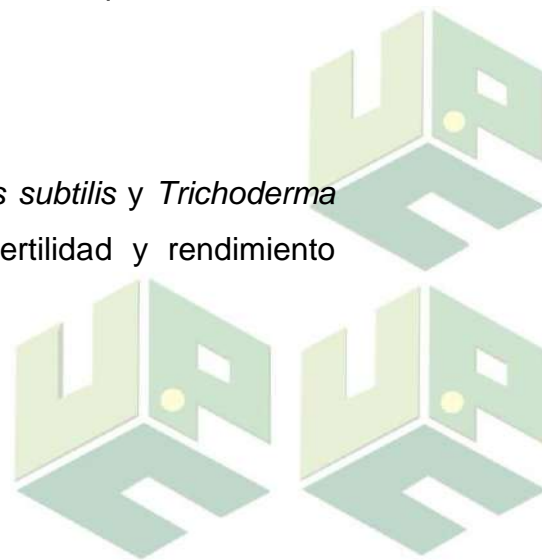
Cuando se habla de compostaje se enfatiza en los residuos sólidos biodegradables para su utilización en huertas caseras los cuales se podría convertir en una opción viable, siempre y cuando se acompañe de programas de educación ambiental para la comunidad, y con esto se mitigaría el escaso o nulo aprovechamiento de este tipo de residuos. Es una actividad que no requiere de técnicas complejas y los insumos necesarios para hacerlas son mínimos; por ende, su importancia no radica en la productividad, ya que los productos cosechados serán destinados a la mesa del propietario (Cubillos P, 2018).

El compostaje es una de las mayores técnicas que tiene la ventaja de convertir los residuos en un compost generado de la transformación biológica de las materias orgánicas que puede ser utilizados para el crecimiento de plantas ya que estos abonos mejoran las características del suelo tanto físicas como su fertilidad en cuanto al medio que se pretende mantener.

En la actualidad se busca implementar una técnica que escoja los residuos o bien sea material a descartar para transformarlo en aprovechamiento para el bien del medio ambiente.

## 2. HIPÓTESIS

La aplicación de un EM-Compost enriquecido con *Bacillus subtilis* y *Trichoderma* sp. tiene capacidad para mejorar las condiciones de fertilidad y rendimiento productivo de maíz y fríjol en un huerto casero.



### 3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

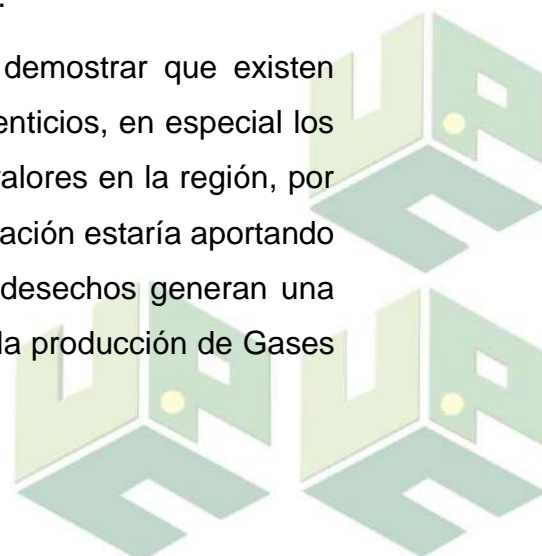
¿Puede un EM-Compost enriquecido con microorganismos *Bacillus subtilis* y *Trichoderma* sp. mejorar las condiciones de fertilidad y rendimiento productivo de maíz y frijol en un huerto casero?

### 4. JUSTIFICACIÓN

En los últimos años, ha aumentado el interés en el aprovechamiento de residuos agroalimentarios en diferentes ámbitos debido al bajo costo, a su alta disponibilidad, y a la necesidad de reducir el impacto ambiental causado. La FAO (2016), estima que a nivel mundial se desperdicia cada año más de 1.300 millones de toneladas de alimentos de consumo humano en todo el mundo, lo que supone un tercio de la producción global, estos residuos se van acumulando desde el cultivo de la materia prima hasta su comercialización, derivándose en un coste económico cercano al billón de euros, 700.000 millones de euros en costes ambientales y casi 900.000 millones de euros en costes sociales (Hidalgo M, y Martín-Marroquín JM., 2020).

La necesidad de plantear soluciones para apoyar la gestión integral de los residuos orgánicos biodegradables, para mantener e incrementar la fertilización del terreno, esto ha llevado a que las industrias que deseen ofertar sus productos en los diferentes mercados asuman posiciones más amigables con el medio ambiente, integrando a su misión la protección de los recursos (Olivera y Avellanera, 2018), implementando métodos de tratamiento a partir de la incorporación de materia orgánica al suelo, la cual puede obtenerse a partir de diferentes tipos de desechos tales como cáscaras de huevo, restos de frutas, verduras, hojas secas, estiércol de vaca, borras del café etc., (INTI, 2018), para emplear diversas prácticas como, el proceso de compostaje (Campos, Brenes y Jiménez, 2016).

La importancia de implementar este proyecto radica en demostrar que existen métodos y aplicaciones para aprovechar los residuos alimenticios, en especial los residuos de frutas y verduras que presentan los mayores valores en la región, por otro lado, el desarrollo de este tipo de proyectos de investigación estaría aportando a la mitigación del cambio climático, debido a que estos desechos generan una considerable liberación de CO<sub>2</sub>, lo cual estaría reduciendo la producción de Gases



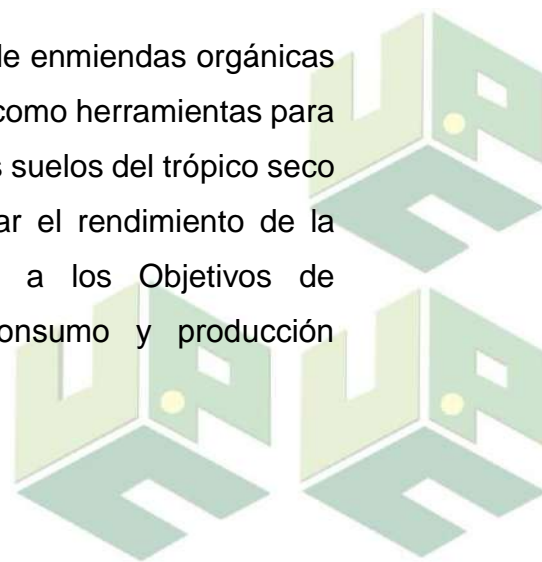
de efecto invernadero (GEI) plasmados dentro de las políticas públicas departamentales como uno de los objetivos centrales a considerar, ya que afecta en materia de salud ambiental.

Por otro lado, tenemos que la pertinencia de este estudio puede significar un llamado a realizar propuestas de cambio en la cultura social hacia el manejo que se le da a los alimentos en estas centrales de abastos, mercados e inclusive dentro de los hogares, además supone un medio para atraer y proliferar géneros microbianos patógenos como *Salmonella* y otros géneros pertenecientes a las enterobacterias, siendo un punto crítico para la salud pública, demostrándonos el considerar seriamente el desarrollo de este tipo de iniciativas dentro del departamento del Cesar.

De igual forma estos residuos bien aplicados, pueden mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas, aumentando el contenido en macronutrientes (N, P, K), micronutrientes, y a su vez la capacidad de intercambio catiónico (CIC) (Yanez, Cantu, y Gonzales, 2018), reponiendo también la diversidad de la flora microbiana benéfica, la fertilidad y la fauna del suelo que a largo plazo tiene un efecto beneficioso en la producción de cultivos (Acosta, W & Peralta, M, 2015).

Los microorganismos inoculados al suelo corrigen la salinidad, facilitan el intercambio de los iones en el suelo y aceleran la descomposición de la materia orgánica. El género *Bacillus* comprende un grupo de especies de bacterias filogenética y fenotípicamente heterogéneas. Incluye más de 100 especies y consideradas en su mayoría ubicuas que pueden llegar a adoptar estructuras de protección y/o resistencia frente a condiciones estresantes conocidas como endosporas.

Por esta razón se plantea que la formulación y aplicación de enmiendas orgánicas enriquecidas con microorganismos puedan ser empleadas como herramientas para la conservación y/o mejoramiento de las propiedades de los suelos del trópico seco colombiano, y a su vez puedan ser capaces de potenciar el rendimiento de la producción agroalimentaria contribuyendo directamente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2 “Hambre cero”, ODS 12 “Consumo y producción



responsable”, Objetivos de Desarrollo Sostenible 13 “Acción por el clima” y Objetivos de Desarrollo Sostenible 15 “Vida de ecosistemas terrestres”.

El presente estudio consistió en evaluar el efecto de un EM-Compost como producto biológico desarrollado a partir de residuos orgánicos suplementado con los microorganismos eficientes *Bacillus subtilis* y *Trichoderma* sp., para aplicarse sobre un huerto casero buscando mejorar su fertilidad y el rendimiento productivo de maíz (*Zea mays*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*).

## 5. PROPÓSITO

El propósito de esta investigación fue realizar un experimento que permitiera demostrar el potencial de uso y aplicación de los desechos caseros y residuos orgánicos dentro del municipio de Valledupar, Cesar a través del desarrollo de un EM-compost enriquecido con *Bacillus subtilis* y *Trichoderma* sp. ampliamente reconocidos como microorganismos eficientes en promoción de crecimiento vegetal y como una posible fuente de biofertilización en cultivos de maíz (*Zea mays*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*), mejorando así el manejo y protección de estos cultivos. Por otro lado, esta investigación estuvo enfocada al área ambiental, respaldada por el Grupo de investigación Parasitología Agroecología Milenio de la Universidad Popular del Cesar y enmarcada dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible para la Agenda 2030, principalmente para mitigar el daño al medio ambiente donde puede llegar a contribuir directa e indirectamente a 3 de los 17 objetivos planteados en la misma Agenda.

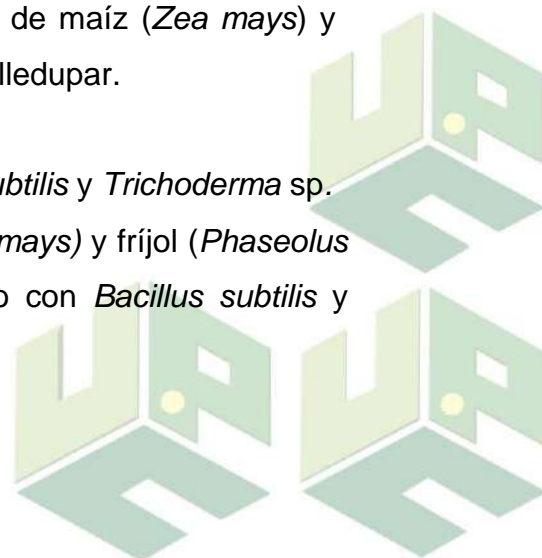
## 6. OBJETIVOS

### Objetivo general

- Evaluar el efecto de un EM-compost enriquecido con *Bacillus subtilis* y *Trichoderma* sp. sobre la biofertilización de plantas de maíz (*Zea mays*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*) en un huerto casero de Valledupar.

### Objetivos específicos

- Elaborar un EM-compost enriquecido con *Bacillus subtilis* y *Trichoderma* sp.
- Determinar el rendimiento de plantas de maíz (*Zea mays*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*) abonado con un EM-compost enriquecido con *Bacillus subtilis* y *Trichoderma* sp.



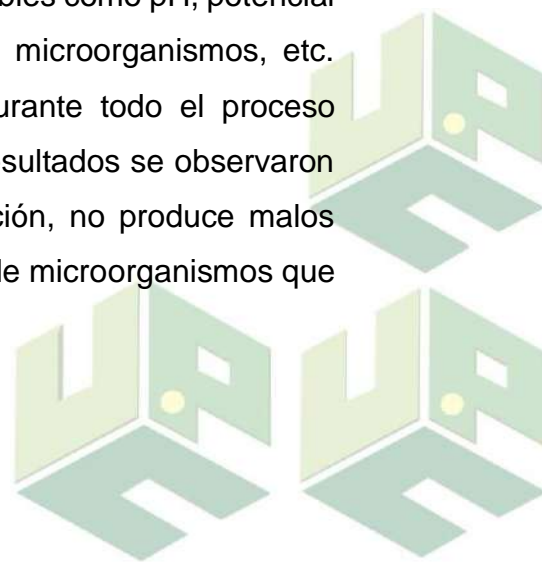
## 7. MARCO TEÓRICO

### 7.1. Antecedentes

La recuperación físico-ambiental de las zonas urbanas y rurales se ha vuelto prioridad debido al aumento poblacional y la producción de desechos en masa que estos producen, el proceso de determinación de los desechos hacen que estos lleguen hasta lugares en los que causan un impacto negativo el cual puede llegar interferir no solo en el medio ambiente si no en la salud de la comunidad con base a esto, Moreno F, (2008), en su estudio logró impulsar la agricultura urbana en la que se da un intercambio socioeconómico y ambiental a través de la utilización de los recursos biomásicos (desechos) provenientes de mercados centrales de frutas y verduras para fertilización de diversos tipos de plantas.

En el estudio Influencia de la separación en la fuente sobre el compostaje de residuos sólidos municipales llevado a cabo por Marmolejo, L, Oviedo, É, Ricardo, J, Juan Carlos, & Torres, P (2010), obtuvieron como resultado que la selección y separación de los residuos puede incidir en el aumento de la calidad del compost, observando relación en las diferencias presentadas en los residuos no separados con respecto al tiempo de descomposición, calidad, temperatura ambiente alcanzada en el menor tiempo posible, pH neutro y concentración de microorganismos benéficos.

Con el fin de disminuir el porcentaje de residuos orgánicos, Fernández I. y Roberth E., (2014), realizaron una campaña de recolección de desechos en los canales y de forma domiciliaria fueron empleadas como materia prima para la elaboración de compost a través de dos métodos llamados EM y Takukara, para la identificación del método con mayor rendimiento, evaluaron algunas variables como pH, potencial de conductividad, porosidad, humedad, concentración de microorganismos, etc. Además, pudieron evaluar el proceso de maduración durante todo el proceso (Fernández I. & Roberth E., (2014), por otro lado, en los resultados se observaron que un EM-compost tiene menor tiempo de descomposición, no produce malos olores, no atrae insectos y tiene una mayor concentración de microorganismos que benefician el desarrollo de las plantas.



Según Yang, L, Zhao, F, Chang, Q, Li, T, & Li, F, (2015), la aplicación de un vermicompost pudo causar efectos significativos sobre el aumento del rendimiento de hasta un 69,30 % y calidad del tomate (*Lycopersicon esculentum* P. Miller var. LFZ-3), a comparación de las parcelas no tratadas, además de presentar valores de aumento de rendimiento en un 21,52 – 22,29 % a un nivel de riego bajo, demostrando así que este tipo de compost puede mejorar la calidad del tomate y sobre la fertilidad del suelo a nivel de invernadero.

Con el fin de solucionar y dar una buena gestión al proceso de eliminación de los residuos orgánicos, Campos-Rodríguez, R, Brenes-Peralta, L, y Jiménez-Morales, MF, (2016), en su investigación llevaron a cabo dos métodos para la producción de compost, donde se utilizó los residuos locales en condiciones controladas de pH, temperatura y humedad para identificar el método con mayor viabilidad, para la preparación utilizaron los métodos MK y PK con los cuales se obtuvieron resultados como: No producción de lixiviados, malos olores, aparición de insectos y en ambos métodos el resultado de la carga microbiana fue aceptable con ausencia total de patógenos, en otras palabras se considera inocuo, lo cual nos demuestra que el compost producido se encuentra en óptimas condiciones para la aplicación sobre huertas orgánica caseras.

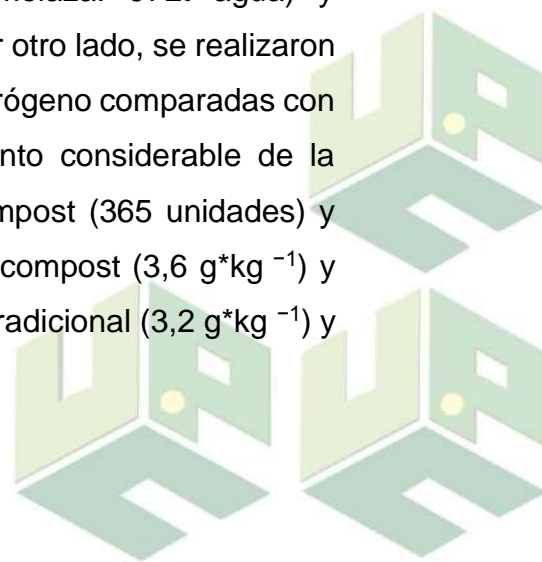
En la investigación de Mohamed, O, Yassine, B, Hilali Rania, E, El Hassan, A, Abdellatif, H, y Rachid, B, (2020), pudieron evaluar la calidad de un compost bioformulado de desechos de palma datilera frente a 3 compost comerciales, demostrando que variables como la composición fisicoquímica del compost, están ampliamente relacionadas, ya que el compost bioformulado a partir de desechos de palma presentó alta madurez, baja fitotoxicidad y nivel de patógenos permitidos en comparación a los compost comerciales, esto ocurrió porque presentó baja salinidad, baja relación C/N y menor concentración de fenoles solubles totales que se correlacionaron negativamente para los 3 compost comerciales, por otro lado, analizaron la influencia de estas variables sobre la capacidad de biocontrol de los extractos del compost de desechos de palma datilera sin esterilizar al 10 % presentando una efectividad del 100 % después del día 6 por medio de la concentración mínima inhibitoria (CMI) contra el marchitamiento causado por

*Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* siendo el más alto potencial antagónico a nivel *in vitro* de los ensayos, indicando que este hallazgo está relacionado principalmente al efecto supresor de los microorganismos autóctonos.

En la investigación desarrollada por Palacios H, y Vanessa E, (2019), desarrollaron una integración y/o participación de la comunidad como vecinos y dueños de huertos para llevar a cabo la elaboración de una prueba piloto para el reciclaje de residuos degradables en la producción de compost, posteriormente se logró establecer un plan de manejo de residuos orgánicos y elaborar compost para la fertilización de plantas el cual fue supervisado cada 15 días con el fin de optimizar el proceso y, con la finalidad de crear una fuente de producción económica en hogares familiares.

En el estudio de Rivas-Nichorzon, M., & Silva-Acuña, R. (2020), utilizaron los desechos orgánicos para la producción de compost, para esto llevaron a cabo la investigación para identificar el sustrato que elevara la eficiencia y calidad del compost, en los que se evaluaron factores físicos (la porosidad total (PT), porosidad de aireación (PA), capacidad de retención de agua (CRA), densidad aparente (Da) y densidad de partículas (Dp) y factores físico-químicos (pH, conductividad eléctrica, porcentaje materia orgánica y carbono, relación N-C, contenido de macro y micronutrientes). De los tres tratamientos, con el pergamino de café se obtuvo un compost de calidad resultando el más viable para su uso como sustrato o fertilizante.

En el estudio de Bezabeh, M., Haile, M., Sogn, T. & Eich-Greatorex, S. (2021), emplearon compost tradicional, EM-compost y vermicompost a partir de residuos vegetales y frutas frescas en igual proporción, a diferencia del EM-compost que se le adicionó una proporción de 1:2:97 (1Lt EM: 2Lt melaza: 97Lt agua) y vermicompost con 1Kg de lombrices de *Eisenia faecida*, por otro lado, se realizaron tratamientos con o sin compost adicionando 3 niveles de nitrógeno comparadas con fertilizante mineral, obteniendo como resultado un aumento considerable de la cantidad de nódulos en las parcelas tratadas con EM-compost (365 unidades) y vermicompost (369 unidades) y nitrógeno residual de EM-compost ( $3,6 \text{ g*kg}^{-1}$ ) y vermicompost ( $3,6 \text{ g*kg}^{-1}$ ) a comparación con el compost tradicional ( $3,2 \text{ g*kg}^{-1}$ ) y



el fertilizante mineral, esto se vio reflejado sobre un alto rendimiento promedio de granos con EM-compost (3231–3937 kg\*ha<sup>-1</sup>) y vermicompost (3218–3594 kg\*ha<sup>-1</sup>) y la biomasa aérea del frijol faba (*Vicia faba L.*) aumentó significativamente con las tasas de nitrógeno presentando mayor biomasa con altas cantidades de EM-compost (7625 kg\*ha<sup>-1</sup>) en comparación con el fertilizante mineral (6718. Kg\*ha<sup>-1</sup>).

Cabe resaltar que en este estudio se determinó la aplicación de un EM-compost a dosis medias, altas de nitrógeno y adicionado junto con fertilizante mineral resultan en un mejor rendimiento productivo-económico a comparación de los demás tratamientos.

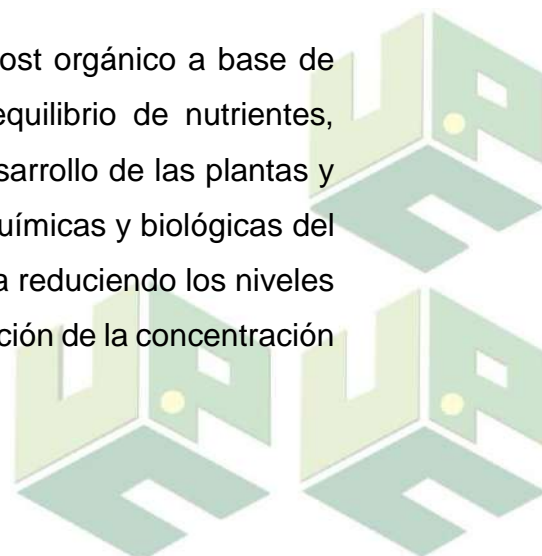
## **7.2. Marco conceptual**

### **7.2.1. ¿Qué es un EM Compost?**

EM compost es un término atribuido de Efficient Microorganism Compost, el cual se considera como un biofertilizante orgánico fitoprotector que simultáneamente contiene un consorcio microbiano altamente eficientes con amplias capacidades para estimular el crecimiento vegetal y mejorar la fertilidad del suelo (Sharma, Saha, Arora, Shah & Nain, 2017). Este concepto fue desarrollado por el profesor Teruo Higa, Universidad de Ryukyus, Okinawa, Japón, en 1971 (Higa y Wididana, 1991), que constituyó la base para el desarrollo de compost EM y su metodología fue optimizada por Sharma, Saha, Arora, Shah & Nain, 2017).

La aplicación de este compost bioaumentado con microorganismos puede dar como resultado un mejor crecimiento de los cultivos y aumentar la actividad microbiana en el suelo (Sharma, Saha, Arora, Shah & Nain, 2017), además de mejorar las propiedades del suelo.

Según Martillo-Romero, EF, (2019), el desarrollo de compost orgánico a base de residuos o desechos orgánicos comunes contribuye al equilibrio de nutrientes, incorporando nuevamente minerales esenciales para el desarrollo de las plantas y a la vez restaura las condiciones y/o propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, este proceso de reincorporación de nutrientes estaría reduciendo los niveles de costo de producción de los cultivos, en términos de reducción de la concentración





de fertilizantes químicos o el remplazo de estos por los abonos orgánicos, radicando suma importancia para evitar aparición de procesos de desertificación y salinización.

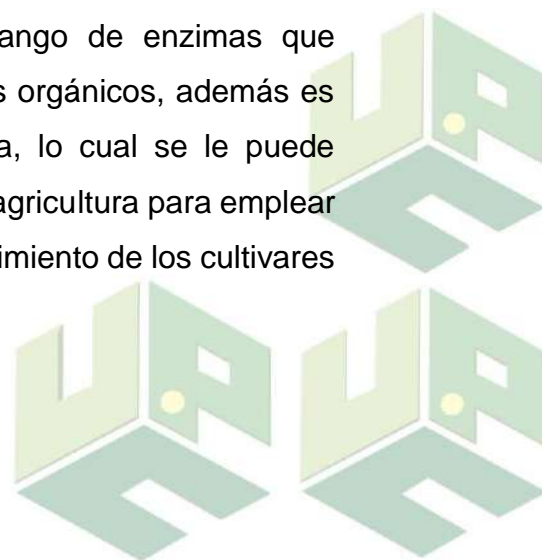
Debido a la gran importancia de la calidad y de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, estas juegan un papel importante y están ampliamente relacionadas con un mayor aporte de contenido de materia orgánica (MO), aumento de la actividad microbiana, contenido de nutrientes de las plantas y la disponibilidad de agua (Aw) para el sostenimiento biológico.

Esta enmienda orgánica enriquecida permite aprovechar óptimamente los recursos biomásicos, anteriormente declarados como desechos orgánicos sin ninguna aplicación, siendo una fuente de contaminación que transmite enfermedades y muchas más problemáticas a nivel de salud pública y que pese a sus grandes volúmenes acumulados en diversas áreas municipales, urbanas y rurales sin ningún tipo de control, todas estas complicaciones socioambientales solventadas mediante la aplicación de este método práctico y aplicable para mejorar la producción alimentaria en una región.

## **7.2.2. Microorganismos empleados**

### **7.2.2.1. Generalidades de *Bacillus***

El género bacteriano *Bacillus* es uno de los más numerosos dentro de las aplicaciones de bacterias de interés industrial, siendo sumamente importante del proceso de compostaje, y constituyen entre el 80 % y el 90 % de los microorganismos existentes en el compost. Se trata de un microorganismo de gran diversidad metabólica con capacidad para ser aprovechados sus compuestos metabólicos, especialmente, porque posee un amplio rango de enzimas que degradan químicamente una gran variedad de compuestos orgánicos, además es considerado un gran controlador biológico por excelencia, lo cual se le puede desarrollar inóculos en bajas y altas concentraciones en la agricultura para emplear sus múltiples mecanismos de acción, mejorando así el rendimiento de los cultivos



y permitiendo una mayor protección de las plantas frente a condiciones extremas (De Souza, Ambrosini & Passaglia, 2015).

La forma esporulada es muy resistente a la desecación, a los desinfectantes y a las altas temperaturas, por lo que es posible encontrarla aun después de la fase termófila del compostaje (De la mora, Vázquez & Galván, 2016). El género *Bacillus* posee una amplia diversidad de propiedades bioquímicas y ejerce un efecto positivo en las plantas, tanto de manera directa como indirecta (Rojas, Contreras, & Santoyo, 2013). Este género comprende una amplia diversidad de tipos fisiológicos, donde se destacan características como la degradación de la mayoría de los sustratos derivados de plantas y animales, incluyendo celulosa, almidón, pectina, proteínas, agar, hidrocarburos y otros; (Tejera, Rojas, & Heydrich, 2011; Ballardo, 2016).

#### **7.2.2.2. Generalidades de *Trichoderma***

El género de hongo *Trichoderma* está subdividido por múltiples especies con una amplia gama de aplicaciones, incluyendo en las áreas de producción agrícola por su gran diversidad enzimática que le permite desarrollar una inmensidad de aplicaciones en producción industrial de enzimas, agricultura y biorremediación (Hermosa, R, Cardoza, RE, Rubio, MB, Gutiérrez, S, & Monte, E, 2014).

*Trichoderma* es un género de hongos que está presente en la mayoría de los tipos de suelos, de donde provienen los hongos cultivables más usados. *Trichoderma* sp. frecuentemente es aislado de suelos forestales o agrícolas y de la madera, algunos también se han encontrado creciendo sobre otros hongos debido a su capacidad micoparasitaria y hay alrededor de 90 especies en el género (Gupta, Schmoll, Herrera-Estrella, Upadhyay, Druzhinina & Tuohy, 2014; Ravindran, Hassan, Williams & Jaiswal, 2018).

Las especies de *Trichoderma* son ubicuas por estar extremadamente adaptadas a diferentes nichos ecológicos constituyentes del suelo y juegan un papel muy importante en la descomposición de material vegetal, como agentes productores de metabolitos secundarios naturales entre ellas se hallan especies identificadas



*Trichoderma harzianum*, *T. viride*, *T. atroviride*, etc. (Felix, CR, Noronha, EF, & Miller, R, 2014).

Sus metabolitos secundarios desempeñan un papel fundamental en la comunicación y la defensa química, y algunos de ellos han demostrado importantes capacidades antibióticas en aplicaciones de biocontrol que causa mejoras en la prosperidad agrícola beneficiando en la seguridad y producción alimentaria (Hermosa, et al., 2014; Filiatrault-Chastel, Heiss-Blanquet, Margeot & Berrin, 2021).

Por otro lado, esta gran producción enzimática en su metabolismo se debe a que es notablemente capaz de catabolizar y degradar una gran variedad de sustratos, de los cuales los más estudiados son los peptaiboles, policétidos, pirones, terpenos y compuestos tipo dicetopiperazina (Hermosa, et al., 2014).

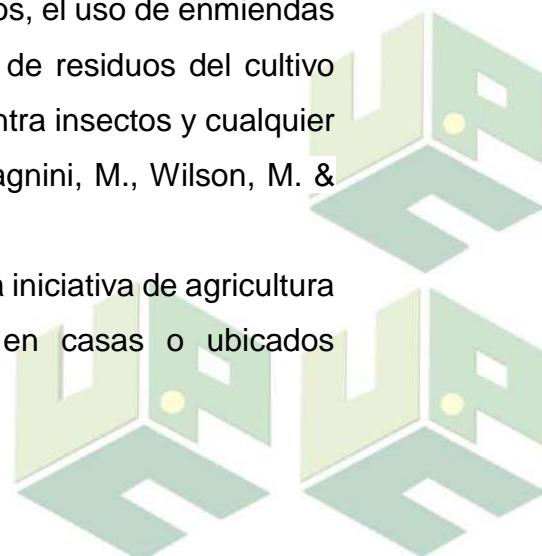
Además, en bajas concentraciones, algunos *Trichoderma* han mostrado efectos beneficiosos para las plantas, aumentando el crecimiento y desarrollo de las plantas e induciendo respuestas de defensa frente al estrés abiótico y patógenos (Hermosa, et al., 2014; Jurys & Feiziené, 2021).

### **7.2.3. Huertos caseros**

Son considerados como espacios o áreas verdes de pequeñas dimensiones para el sembradío de plantas de corta y mediana producción, donde se emplean bases agroecológicas fundamentadas en la producción orgánica libre de agroinsumos químicos, comúnmente sobre cultivos hortofrutícolas y plantas aromáticas. (Martínez, A, 2020)

Algunos de los métodos más usados para su mantenimiento a largo plazo se encuentra la labranza de conservación, la rotación de cultivos, el uso de enmiendas orgánicas como compost, lombricompost o bioles a partir de residuos del cultivo anterior y el uso de plantas aromáticas como repelentes contra insectos y cualquier organismo patógeno que pueda afectar los cultivos (Zaccagnini, M., Wilson, M. & Osgust, J., 2014).

En la actualidad se han desarrollado ampliamente como una iniciativa de agricultura familiar a través de la creación de huertos urbanos en casas o ubicados



estratégicamente en instituciones como acción promotora, pedagógica y formativa que permita a los niños participar en la apropiación de estrategias comunitarias y ambientales, buscando mejorar las condiciones de la región y solventar la baja producción alimentaria nacional

Según the World Congress of Soil Science (2022), afirma que a nivel mundial la importancia de los huertos orgánicos radica principalmente en que son una fuente de alta captura de carbono atmosférico convirtiéndose en una fábrica de inyección de energía al suelo que paulatinamente mitiga la contaminación y las emisiones antrópicas.

## **8. METODOLOGÍA**

### **8.1. Tipo de estudio**

Se desarrolló una investigación de tipo experimental con cohorte transversal, donde los tratamientos fueron los factores.

### **8.2. Línea de investigación**

Este estudio se desarrolló bajo la línea de investigación de Bioprospección dentro del programa de Microbiología de la Universidad Popular del Cesar.

### **8.3. Universo, población, muestra y localización del estudio**

El universo estudiado en este proyecto fueron los microorganismos, la población evaluada fueron las plantas de maíz y frijol, y los microorganismos promotores de crecimiento vegetal *Bacillus subtilis* y *Trichoderma* sp. Este estudio se desarrolló durante dos meses en un huerto casero ubicado en los altos 450 años de la ciudad de Valledupar, Cesar.

### **8.4. Preparación de la mezcla con microorganismos eficientes (EM)**

Los microorganismos *Bacillus subtilis* y *Trichoderma* sp. fueron seleccionados por ser promotores de crecimiento vegetal, tomados del cepario del Laboratorio de Microbiología de la Universidad Popular del Cesar.



A partir de la selección se tuvo en cuenta el que presentara mayor eficacia, previamente se preparó un inóculo para bioaumentación, en el cual se tomó un Erlenmeyer y se agregó 1 Litro de melaza con un inóculo de *Bacillus subtilis* y *Trichoderma* sp., luego se depositó en un shaker, y se dejó reposar durante 3 días, para permitir el crecimiento, se evaluó la concentración microbiana hasta obtener una concentración deseada de  $1 \times 10^6$  UFC/ml para *Bacillus subtilis* y para *Trichoderma* sp. de  $4 \times 10^5$  conidias/mL, por último, se agregó la mezcla formulada para enriquecer el compost que fue aplicado a las plantas de maíz (*Zea mays*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*).

### 8.5. Características del compost o sustrato

Para la elaboración total del EM compost, inicialmente se emplearon los desechos orgánicos o desperdicios de frutas, hortalizas, hojas y residuos de poda en trozos pequeños, cascarilla de arroz y como fuente de nitrógeno se usó estiércol de animales rumiantes provenientes de vaca, caballo, entre otros (Rastogi, Nandal, & Khosla, 2020).

Cabe resaltar que la relación C/N es un índice en función del porcentaje de materia orgánica (%MO) obtenido de acuerdo a la constante de Jackson y del porcentaje de Nitrógeno total (%N), que se halló a partir del producto final:

Para determinar el contenido de carbono se multiplica el % de materia orgánica x0.58, donde:

0.58 = Constante dada por Jackson (1970)

Por lo tanto, la ecuación para determinar la relación C/N es:

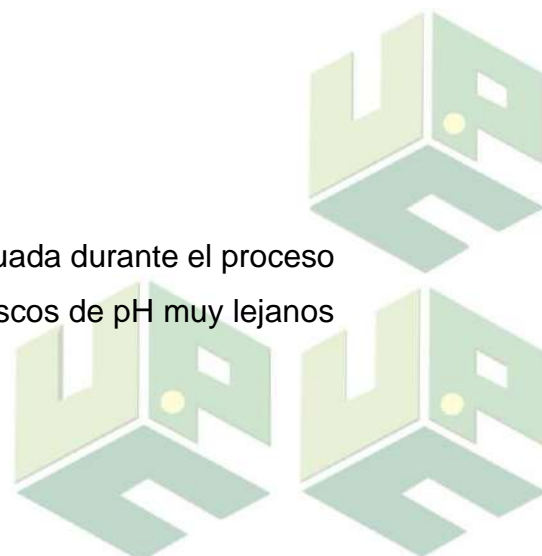
$$C/N = \frac{(\%MO) \times 0.58}{\%N}$$

Donde:

%N = %Nitrógeno total obtenido

%MO = %Materia orgánica obtenida

De igual forma, se pudo distinguir que la relación C/N adecuada durante el proceso por la emanación de olores analizados por los cambios bruscos de pH muy lejanos



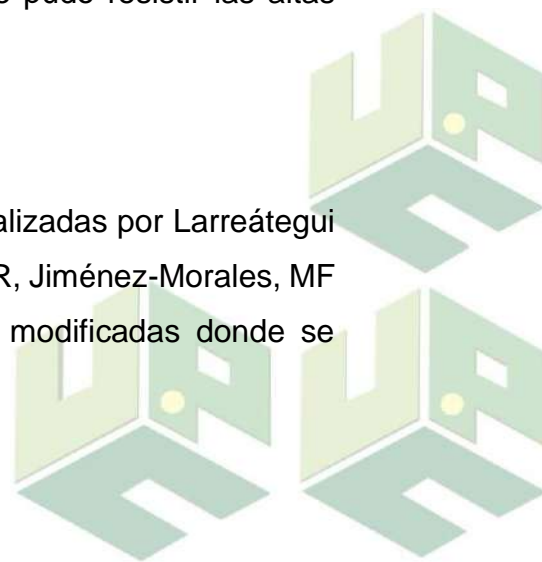
al neutro, por esta razón se debió equilibrar la cantidad de residuos empleados, buscando estimar un punto de equilibrio que inclusive pueda nivelarse aplicando más residuos orgánicos para aumentar el carbono o urea para nitrógeno (De Sousa A, Spolador Fernandes, L, de Sousa Vaz, A, Santos Reis de Andrade da Silva, M, dos Santos, F, Teles dos Santos, D & Fernandes Correia, M, 2022).

Por otro lado, se tuvo en cuenta la aireación periódica del proceso por medio de volteos frecuentes y la adición de agua para mantener la humedad sin sobresaturarlo para no limitar el intercambio gaseoso que perjudica la actividad microbiana haciéndola anaerobia, lo cual es importante para mantener la actividad enzimática de los microorganismos más descomponedores del material residual (De Sousa A., et al, 2022).

La evolución de la temperatura a lo largo del proceso de compostaje permite la elevación de la tasa biodegradativa de los componentes y la higienización del material residual que suele venir con una microbiota acompañante como los coliformes y en algunos valores pequeños suele aparecer microorganismos patógenos que no lograrán resistir la fase termófila, estos cambios en los niveles térmicos juegan un papel importante porque permiten un adecuado desarrollo de los procesos internos del compostaje (Greff, Szigeti, Nagy, Lakatos & Varga, 2022). De este modo los requerimientos durante el compostaje, en términos de temperatura, deben contener: La higienización que es la fase termofílica donde alcanza valores cercanos a los 60° C, la máxima degradación ocurre en el intervalo de 45 - 60° C y la máxima diversidad microbiana se hallará entre los 35 - 40° C, ésta última fase es la determinante para el enriquecimiento de los microorganismos, lo cual garantiza la expresión de mecanismos benéficos sobre la planta sino que contribuye a la eliminación de la microbiota resultante que pudo resistir las altas temperaturas (Greff, et al., 2022).

## **8.6. Diseño experimental**

Una vez obtenido el inóculo, se siguió las metodologías realizadas por Larreátegui R., Ruth (2013); Ramírez-Ramírez, F, Campos-Rodríguez, R, Jiménez-Morales, MF & Brenes-Peralta, L., (2016); Cubillos P., Danny (2018), modificadas donde se



realizaron cuatro tratamientos con cinco repeticiones para plantas de maíz (*Zea mays*) y cuatro tratamientos con cinco repeticiones para plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris*), a cada planta se le agregaron 500 gramos de compost, para el tratamiento 1, se adicionó 1 mL de *Bacillus subtilis* a  $3 \times 10^6$  UFC/mL, al tratamiento 2, se le agregó 1 mL de la mezcla de *Trichoderma* sp. a  $4 \times 10^5$  conidias/mL, en el tratamiento 3, a cada planta se le agregó 0,5 mL de la mezcla de *Bacillus subtilis* y 0,5 mL de *Trichoderma* sp., y el tratamiento 4 comprendió un control sin inóculo microbiano con 5 repeticiones por cada planta.

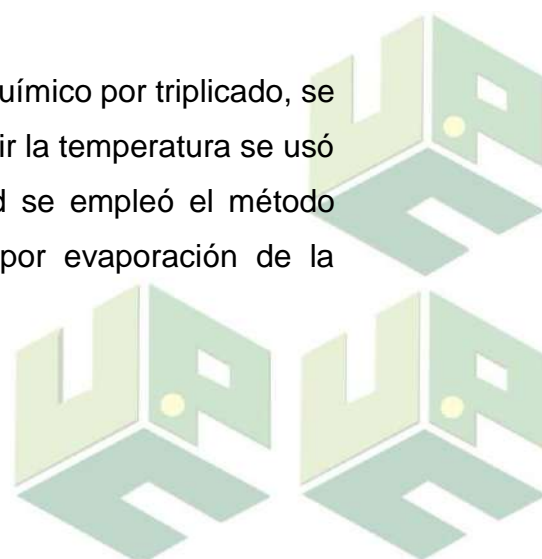
### **8.7. Evaluación del EM-compost**

Se evaluaron los diferentes tratamientos siguiendo las metodologías realizadas por Larreátegui R., Ruth (2013); Ramírez-Ramírez, F, Campos-Rodríguez, R, Jiménez-Morales, MF & Brenes-Peralta, L., (2016); Cubillos P., Danny (2018), modificadas, en tal caso estos estudios estaban enfocados en determinar cómo las variables (sustrato inicial, temperatura, pH, humedad, aireación, actividad microbiana, entre otros) influyen sobre la calidad del producto final (compost o *bocashi*), de tal manera que todas estas variables fueron determinadas a través de diversos métodos de análisis físicos, químicos y microbiológicos.

A la metodología se le modificó aspectos como los residuos empleados provenientes de centrales de abastos y mercados, que junto a la suplementación con microorganismos PGPR para aumentar su maduración y/o calidad y, finalmente identificar si el tratamiento presenta mayor efectividad que un compost sin inoculación de microorganismos a través de la evaluación del crecimiento de la planta (aumento en la biomasa e índice del área foliar) por 30 días.

### **8.8. Análisis fisicoquímico**

Para la determinación de los parámetros del análisis fisicoquímico por triplicado, se midió el pH usando el método de potenciometría, para medir la temperatura se usó un termómetro y para calcular el porcentaje de humedad se empleó el método termogravimétrico que consiste en la pérdida de peso por evaporación de la humedad aplicando la ecuación siguiente:



$$\% \text{ Humedad} = \frac{P \text{ muestra húmeda}}{P \text{ suelo seco}} \times 100$$

### 8.9. Evaluación del crecimiento de la planta

A cada tratamiento con las plantas de maíz y frijol se le realizó una evaluación de los parámetros de crecimiento de biomasa e índice del área foliar al cabo de 60 días de desarrollo, buscando determinar en cual es más eficiente el producto preparado biológicamente.

### 8.10. Unidad de análisis

### 8.11. Técnicas de obtención de la información

Se utilizaron las bases de datos proporcionadas por la Universidad Popular del Cesar, como Scopus, Science direct, repositorio institucional y algunos otros buscadores bibliográficos especializados.

## 9. Técnicas de análisis de resultados

Los datos obtenidos fueron organizados y graficados en el software Microsoft Excel, a través de un ANOVA, siendo la comparación de medias realizadas por la prueba de Duncan ( $p < 0,05$ ), utilizando el software estadístico IBM SPSS Statistics 25.

## 10. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- **Efecto de un EM-compost enriquecido con *Bacillus subtilis* y *Trichoderma* sp.**

Con base a los resultados de las Tablas 1 y 2, los microorganismos presentaron una disminución significativa en la población microbiana del compost con respecto a los controles en ambas plantas evaluadas, por otro lado, la aplicación de un EM-compost co-inoculado y enriquecido con *Bacillus subtilis* y *Trichoderma* sp. son capaces de higienizar el compost y/o reducir la carga microbiana en valores de  $68 \times 10^2$  a  $42 \times 10^2$  UFC para hongos y  $6 \times 10^4$  a 0 UFC para bacterias en maíz.





**Tabla 1.** Efecto de EM-compost enriquecido con *Bacillus subtilis* y *Trichoderma* sp. sobre la reducción de carga microbiana en maíz.

<b>Tratamientos</b>	<b>Hongos (UFC)</b>	<b>Bacterias (UFC)</b>
<b>Control</b>	68 x 10 <sup>2</sup> d	6x 10 <sup>4</sup> b
<b>MCB</b>	31 x 10 <sup>2</sup> b	0 a
<b>MCT</b>	20,25 x 10 <sup>2</sup> a	0 a
<b>MCBT</b>	42 x 10 <sup>2</sup> c	0 a

\*Letras similares en la misma columna no tienen diferencias significativas (p<0,05) según la Prueba de Duncan.

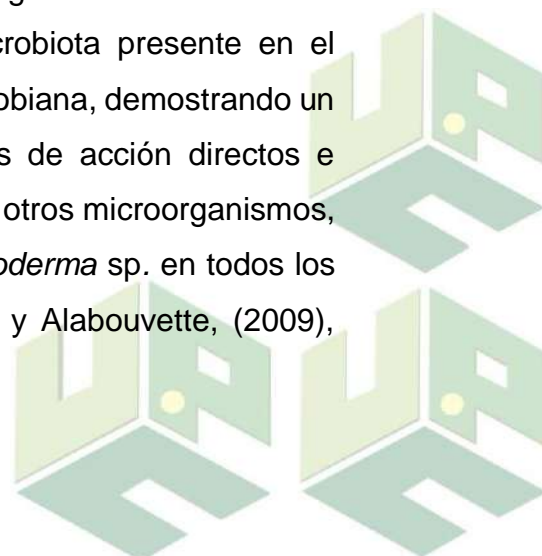
Sin embargo, estos resultados explican perfectamente que la aplicación de ambas suspensiones microbianas tanto a nivel individual a 31 x 10<sup>2</sup> UFC para *Bacillus subtilis* y *Trichoderma* sp. (20,25 x 10<sup>2</sup> UFC), así como co-inoculadas en un EM-compost (42 x 10<sup>2</sup> UFC) presentan alta actividad fungicida y bactericida frente al control sin inoculación de microorganismos. Según las Tablas 1 y 2, se puede evidenciar que la aplicación de *Trichoderma* sp. reconocido por ser un hongo micoparásito pudo reducir considerablemente la población fúngica por encima de todos los tratamientos en ambos ensayos aplicados sobre maíz (20,25 x 10<sup>2</sup> UFC) y frijol (11 x 10<sup>2</sup> UFC).

**Tabla 2.** Efecto de EM-compost enriquecido con *Bacillus subtilis* y *Trichoderma* sp. sobre la reducción de carga microbiana en frijol.

<b>Tratamientos</b>	<b>Hongos (UFC)</b>	<b>Bacterias (UFC)</b>
<b>Control</b>	57,6 x 10 <sup>2</sup> d	31 x 10 <sup>5</sup> d
<b>MCB</b>	40,5 x 10 <sup>2</sup> c	0 a
<b>MCT</b>	11 x 10 <sup>2</sup> a	0 a
<b>MCBT</b>	32 x 10 <sup>2</sup> b	0 a

\*Letras similares en la misma columna no tienen diferencias significativas (p<0,05) según la Prueba de Duncan.

La aplicación de EM-compost co-inoculado con los microorganismos *Trichoderma* sp. y *Bacillus subtilis* redujeron significativamente la microbiota presente en el compost en comparación con el control sin inoculación microbiana, demostrando un efecto positivo frente a la expresión de sus mecanismos de acción directos e indirectos que pudieron inhibir gran parte de la actividad de otros microorganismos, adicionalmente, se observó un fuerte crecimiento de *Trichoderma* sp. en todos los medios aislados, confirmando lo mencionado por Cordier y Alabouvette, (2009),

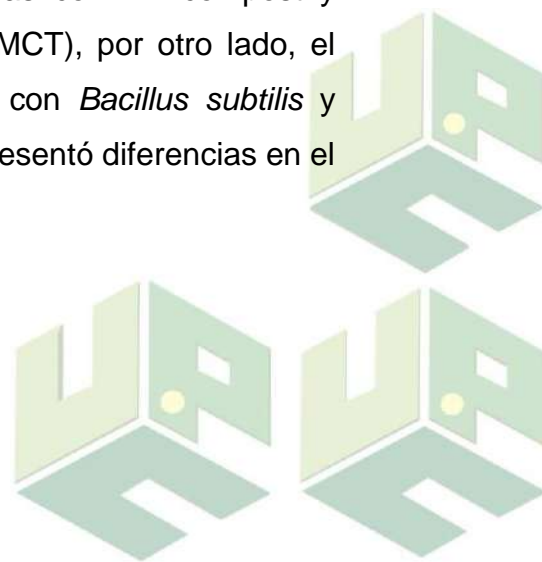


Patkowska, Mielniczuk, Jamiolkowska, Skwaryło-Bednarz y Błażewicz-Woźniak, (2020) y Poveda, J. y Eugui D., (2022), donde afirman que la inoculación de *Trichoderma* sp. cercana a las raíces y la rizosfera facilita la colonización del hongo, permitiendo una modificación significativa de la cantidad y la diversidad de poblaciones microbianas transcurrido un corto período de tiempo, esto supone una gran ventaja competitiva para el desarrollo del hongo, lo cual demuestra su facilidad de adaptación y, por ende, expresa sus metabolitos que benefician la inhibición de la microflora contaminante dentro del compost. Además, cabe resaltar que según la Tabla 2. en tan sólo dos meses se pudo determinar la inhibición total de la población bacteriana en todos los tratamientos inoculados con microorganismos en comparación con el control sin inocular. Sin embargo, en los resultados anteriores pertenecientes a la Tabla 2. y según lo concluido por Poveda, J. y Eugui D., (2022), han demostrado que existe una posible compatibilidad entre el hongo *Trichoderma* sp. y la bacteria *Bacillus subtilis* lo que podría permitir el desarrollo de un co-inoculante de interés agrícola para leguminosas como el frijol.

- **Efecto de la aplicación conjunta del EM-compost sobre maíz enriquecido con *Bacillus subtilis* + *Trichoderma* sp.**

Los resultados de las variables evaluadas en la promoción de crecimiento vegetal de maíz (*Zea mays*) en respuesta al tratamiento con EM-compost enriquecido con *Bacillus subtilis* y *Trichoderma* sp. son representados en la Tabla 3.

En la biomasa de las plantas de maíz se destacaron los tratamientos inoculados con *Bacillus subtilis* (MCB) y *Trichoderma* sp. (MCT) individualmente que obtuvieron aumentos de (25,66g y 14,64g), comparado con los demás tratamientos y el control (sin inocular) que obtuvo 6,5g (Tabla 3). Seguidamente, los mayores incrementos fueron observados en las plantas que fueron enriquecidas con EM-compost y *Bacillus subtilis* (MCB), EM-compost y *Trichoderma* sp. (MCT), por otro lado, el tratamiento con aplicación de EM-compost co-inoculado con *Bacillus subtilis* y *Trichoderma* sp. (MCBT) arrojó un valor de 8,96g que no presentó diferencias en el incremento de biomasa con el control sin inocular (6,5g).



**Tabla 3.** Efecto de EM-compost enriquecido con *Bacillus subtilis* y *Trichoderma* sp. sobre la promoción de crecimiento vegetal de maíz.

<b>Tratamientos</b>	<b>Biomasa total (gr)</b>	<b>Altura de tallo (cm)</b>	<b>Longitud de raíz (cm)</b>	<b>Tasa de germinación (%)</b>	<b>Conductividad (mS/cm)</b>
<b>Control</b>	6,5a	24,1a	19,74a	39a	0,38c
<b>MCB</b>	25,66a	34,4a	32,56a	70b	0,25b
<b>MCT</b>	14,64a	33,56a	28,42a	52ab	0,22a
<b>MCBT</b>	8,96a	26,46a	24,52a	51ab	0,25b

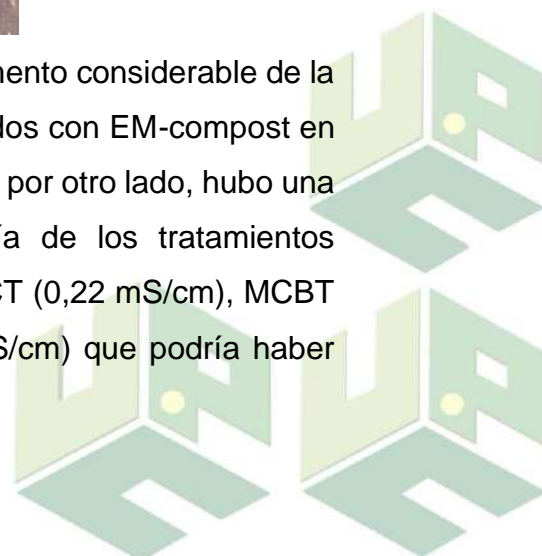
\*Letras similares en la misma columna no tienen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) según la Prueba de Duncan.

En las variables de altura del tallo y longitud de raíz, el tratamiento que presentó mayor aumento correspondió al tratamiento enriquecido con EM-compost y la bacteria PGPR *Bacillus subtilis* (MCB) con resultados de 34,4cm y 32,56cm.

**Fig. 1.** Tratamientos en plantas de maíz con EM-compost y microorganismos a los 60 días de crecimiento.

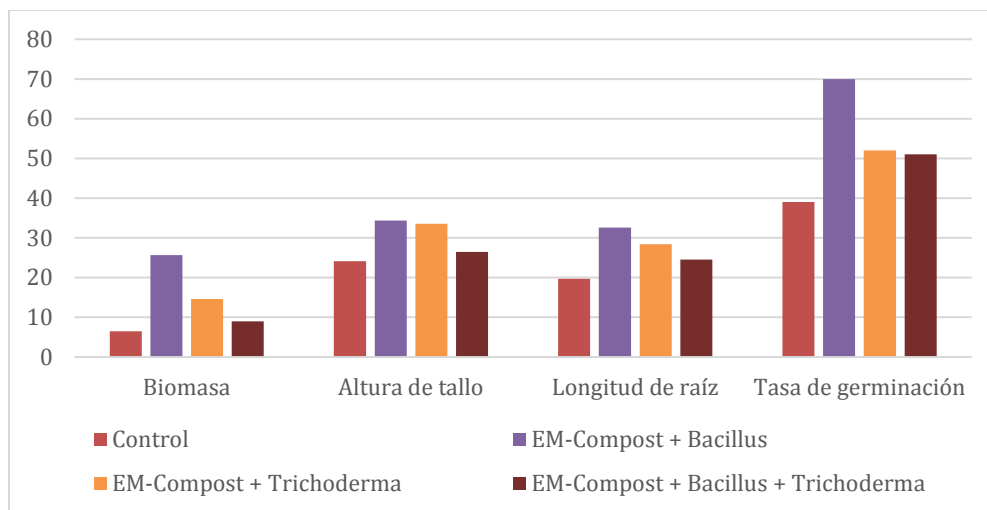


Adicionalmente, según la Tabla 1. se pudo observar un aumento considerable de la tasa de germinativa únicamente en los tratamientos aplicados con EM-compost en conjunto con los inóculos microbianos (MCB>MCT>MCBT), por otro lado, hubo una disminución de la conductividad eléctrica en la mayoría de los tratamientos enriquecidos con microorganismos MCB (0,25 mS/cm), MCT (0,22 mS/cm), MCBT (0,25 mS/cm) con respecto al control sin inocular (0,38mS/cm) que podría haber



sido mediada por la alta presencia de lombrices de tierra dentro del EM-compost que mejoran la humificación del suelo y a su vez disminuyen esta propiedad.

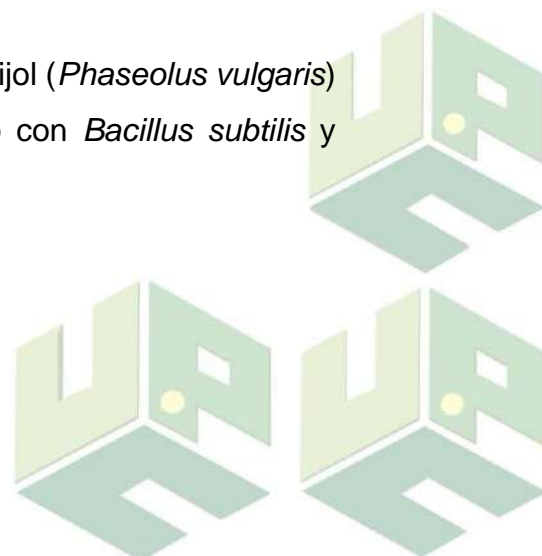
**Fig. 2.** *Parámetros determinados en las plantas de frijol tratadas con EM-compost y microorganismos a 60 días de crecimiento.*



Todos los tratamientos fueron superiores al control y la inoculación de *Bacillus subtilis* con un EM-compost mejoró significativamente el rendimiento de maíz en todas las variables evaluadas así respectivamente, biomasa total (25,66g), altura de tallo (34,4cm), longitud de raíz (32,56cm) y tasa de germinación (70%), con excepción del tratamiento co-inoculado con EM-compost + *Trichoderma* sp. (MCT) que mostró mayor promoción de crecimiento en maíz que el tratamiento enriquecido con EM-compost + *Bacillus subtilis* + *Trichoderma* sp. (MCBT), ambos semejantes en longitud del tallo y tasa germinativa, a diferencia del tratamiento enriquecido con EM-compost + *Bacillus subtilis* + *Trichoderma* sp. (MCBT) que presentó valores muy cercanos al control en biomasa y longitud del tallo.

- **Efecto de la aplicación conjunta del EM-compost sobre frijol enriquecido con *Bacillus subtilis* + *Trichoderma* sp.**

Los resultados de la promoción de crecimiento vegetal de frijol (*Phaseolus vulgaris*) en respuesta al tratamiento con EM-compost enriquecido con *Bacillus subtilis* y *Trichoderma* sp. son representados en la Tabla 4.

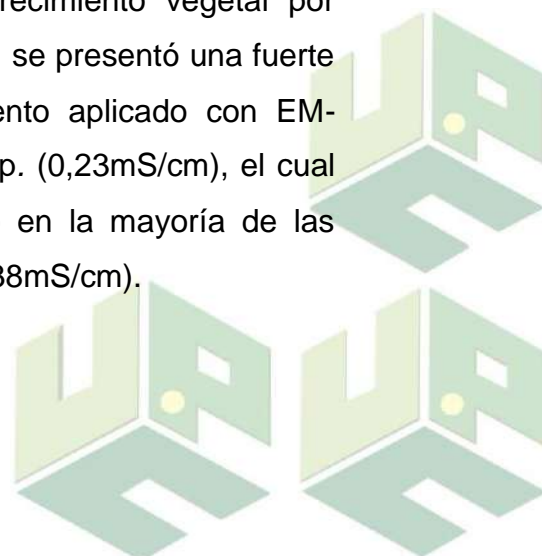


**Tabla 4.** Efecto de EM-compost enriquecido con *Bacillus subtilis* y *Trichoderma* sp. sobre la promoción de crecimiento vegetal de frijol.

<b>Tratamientos</b>	<b>Biomasa total (gr)</b>	<b>Altura de tallo (cm)</b>	<b>Longitud de raíz (cm)</b>	<b>Tasa de germinación (%)</b>	<b>Conductividad (mS/cm)</b>
<b>Control</b>	4,6a	14,08a	6,46a	12a	0,38c
<b>FCB</b>	11a	23,84a	12,28ab	32ab	0,24a
<b>FCT</b>	7,4a	21,14a	10,12a	21ab	0,32b
<b>FCBT</b>	11,4a	32,74a	18,22b	44b	0,23a

\*Letras similares en la misma columna no tienen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) según la Prueba de Duncan.

En la biomasa de las plantas de frijol se destacaron los tratamientos inoculados con EM-compost enriquecido con *Bacillus subtilis* + *Trichoderma* sp. (FCBT) y EM-compost + *Bacillus subtilis* (FCB) respectivamente, obteniendo como resultados un aumento de biomasa de (11,4g y 11g), con respecto al tratamiento de un EM-compost + *Trichoderma* sp. (FCT) de 7,4g y el control sin inocular que obtuvo (4,6g) según la Tabla 4. Del mismo modo, los mayores incrementos en altura del tallo y longitud de la raíz se observaron en las plantas enriquecidas con EM-compost co-inoculado con *Bacillus subtilis* + *Trichoderma* sp. (32,74cm y 18,22cm), EM-compost + *Bacillus subtilis* (FCB), por otro lado, el tratamiento con aplicación de EM-compost co-inoculado con *Bacillus subtilis* + *Trichoderma* sp. (FCBT) arrojó una tasa de germinación de 44 % muy por encima del control sin inocular (12 %), además, este gran aumento en la mayoría de variables determinadas fue observado dentro del tratamiento con aplicación de EM-compost co-inoculado con *Bacillus subtilis* + *Trichoderma* sp. presentándose mayor promoción de crecimiento vegetal por tratamientos así, (FCBT>FCB>FCT>Control), por otro lado, se presentó una fuerte disminución de la conductividad eléctrica en el tratamiento aplicado con EM-compost enriquecido con *Bacillus subtilis* + *Trichoderma* sp. (0,23mS/cm), el cual mostró mayor efectividad a la promoción de crecimiento en la mayoría de las variables evaluadas con respecto al control sin inocular (0,38mS/cm).



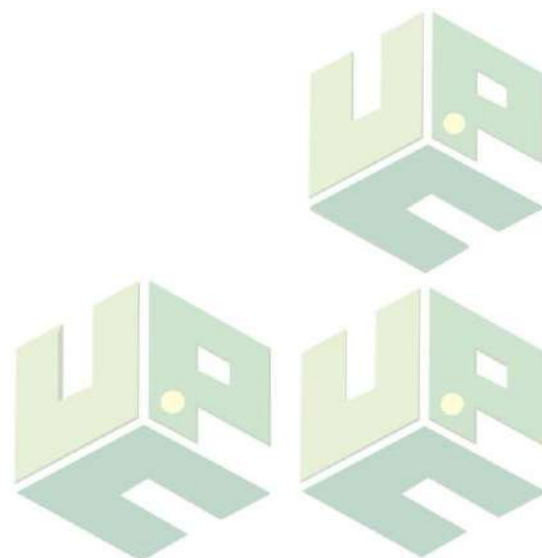
En altura del tallo y longitud de raíz, el tratamiento con mayor aumento correspondió al tratado con EM-compost enriquecido con *Bacillus subtilis* + *Trichoderma* sp. (FCBT) dando como resultados promedios de 32,74cm y 18,22cm.

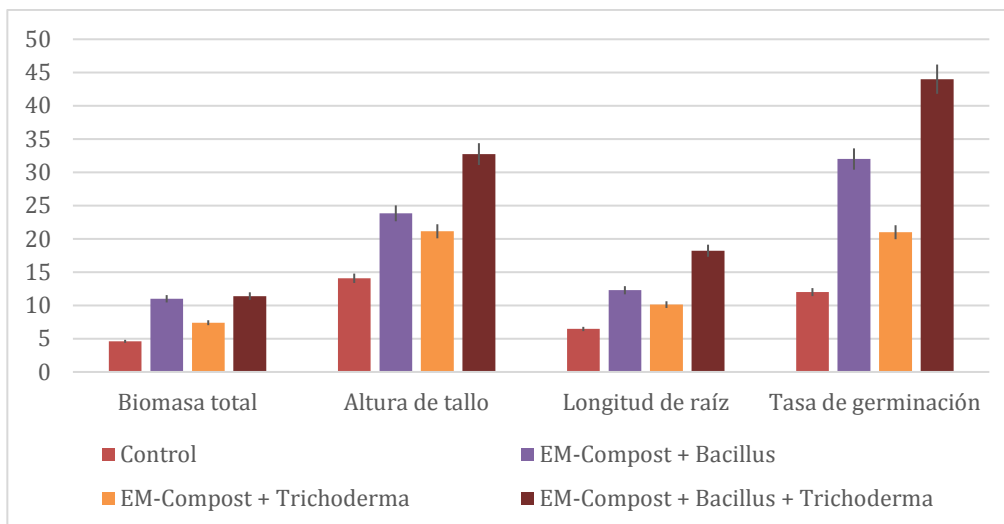
**Fig. 3.** *Tratamientos en plantas de frijol con EM-compost y microorganismos a los 60 días de crecimiento.*



Con base a lo anterior, podemos afirmar que la aplicación de un EM-compost enriquecido con suspensiones celulares de *Trichoderma* sp. con *Bacillus subtilis* pudieron aumentar la biomasa vegetal, estimular la elongación del tallo, la arquitectura radicular y la tasa germinativa de semillas en frijol por encima de los demás tratamientos, incluido el tratamiento de EM-compost enriquecido con *Bacillus subtilis*, debido a una mayor compatibilidad entre las cepas microbianas al asociarse en la rizosfera del frijol, según Poveda, J., & Eugui, D. (2022), esto supone una combinación prometedora donde podríamos facilitar el desarrollo de efectos sinérgicos que promuevan el crecimiento de frijol.

**Fig. 4.** *Parámetros determinados en las plantas de frijol tratadas con EM-compost y microorganismos a 60 días de crecimiento.*

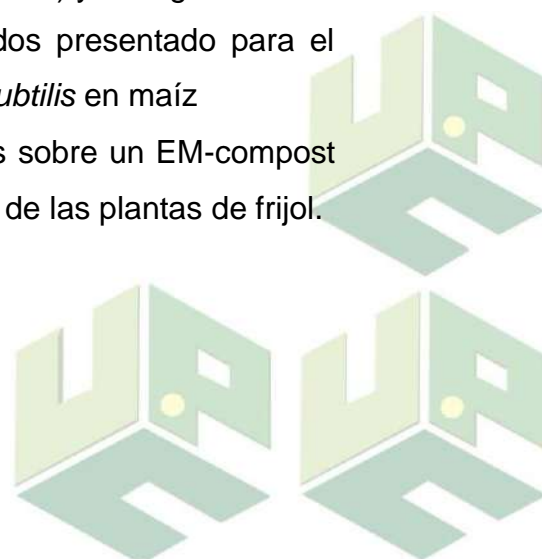




## 11. CONCLUSIONES

- Este estudio permitió elaborar un compost a base de residuos orgánicos de frutas y hortalizas provenientes de áreas centrales de comercialización, posteriormente enriquecido o suplementado con microorganismos ampliamente reconocidos por su efectividad para promoción de crecimiento, sanidad y protección de cultivos como maíz y el frijol.
- La aplicación de EM-compost co-inoculado con *Bacillus subtilis* y *Trichoderma* sp. mejoraron las propiedades morfológicas de las plantas de maíz para biomasa (25,66gr), altura de tallo (34,44cm), longitud radicular (32,56cm) y con una tasa germinativa del 70%, muy por encima del tratamiento control con cifras promedio de biomasa (6,5gr), altura de tallo (24,1cm), longitud radicular (19,74cm) y tasa germinativa del 39%, sin embargo, los resultados de frijol arrojaron que el tratamiento enriquecido con ambos microorganismos en conjunto con EM-compost fue el más alto de los tratamientos con valores promedio de biomasa (11,4gr), altura de tallo (32,74cm), longitud de raíz (18,22cm) y tasa germinativa (44 %), demostrando estar por debajo de los resultados presentado para el tratamiento de EM-compost co-inoculado con *Bacillus subtilis* en maíz
- La co-inoculación de *Trichoderma* sp. y *Bacillus subtilis* sobre un EM-compost tuvo un efecto sinérgico sobre el desarrollo y protección de las plantas de frijol.

## 12. RECOMENDACIONES



- Realizar un pretratamiento húmedo de las semillas con los inóculos microbianos, buscando una mayor germinación de las semillas y evitar la inoculación de semillas de baja calidad con bajo índice germinativo que podrían causar un efecto falso-positivo en la tasa de germinación.
- Aplicación directa del inóculo sobre las semillas durante varios períodos para garantizar y acelerar la germinación total de las plantas evaluadas.
- Determinar otros parámetros físico-químicos dentro del proceso tales como, aireación, disminución de la carga microbiana, pH, porosidad y contenido de materia orgánica, entre otros, medidos a lo largo del proceso de compostaje para mejorar la calidad del producto final y lograr una mayor mineralización de los nutrientes que garanticen mayor fertilización en la planta.

### 13. ANEXOS

- Análisis de varianza de las variables evaluadas dentro de los tratamientos de maíz (*Zea mays*).

		ANOVA				
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Biomasa total	Entre grupos	1063.750	3	354.583	1.063	.392
	Dentro de grupos	5336.000	16	333.500		
	Total	6399.750	19			
Altura del tallo	Entre grupos	72541.000	3	24180.333	.681	.576
	Dentro de grupos	567866.000	16	35491.625		
	Total	640407.000	19			
Longitud de raíz	Entre grupos	32593.800	3	10864.600	.380	.769
	Dentro de grupos	457832.400	16	28614.525		
	Total	490426.200	19			
Tasa de germinación	Entre grupos	98.000	3	32.667	2.004	.154
	Dentro de grupos	260.800	16	16.300		
	Total	358.800	19			
Conductividad	Entre grupos	857.800	3	285.933	96.927	.000
	Dentro de grupos	47.200	16	2.950		
	Total	905.000	19			
Reducción de hongos	Entre grupos	6082.309	3	2027.436	2796.464	.000
	Dentro de grupos	11.600	16	.725		



	Total	6093.909	19			
Reducción de bacterias	Entre grupos	13083.400	3	4361.133	7929.933	.000
	Dentro de grupos	8.800	16	.550		
	Total	13092.200	19			

- Análisis estadístico de la variable Biomasa total (gr) en los tratamientos de maíz (*Zea mays*).

### Biomasa total (gr)

Duncan<sup>a</sup>

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
Control	5	9.2000
EM-compost + Trichoderma	5	18.6000
EM-compost + Bacillus + Trichoderma	5	19.4000
EM-compost + Bacillus	5	29.8000
Sig.		.119

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5.000.

- Análisis estadístico de la variable Altura del tallo (cm) en los tratamientos de maíz (*Zea mays*).

### Altura del tallo (cm)

Duncan<sup>a</sup>

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05



		1
EM-compost + Bacillus	5	34.4000
Control	5	109.6000
EM-compost + Bacillus + Trichoderma	5	109.8000
EM-compost + Trichoderma	5	204.2000
Sig.		.208

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5.000.

- Análisis estadístico de la variable Longitud de raíz (cm) en los tratamientos de maíz (*Zea mays*).

### Longitud de raíz (cm)

Duncan<sup>a</sup>

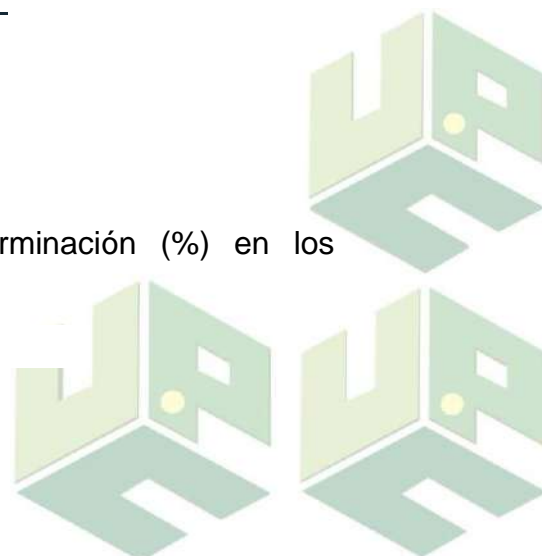
Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
Control	5	82.2000
EM-compost + Bacillus + Trichoderma	5	88.6000
EM-compost + Bacillus	5	138.4000
EM-compost + Trichoderma	5	181.6000
Sig.		.406

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5.000.

- Análisis estadístico de la variable Tasa de germinación (%) en los tratamientos de maíz (*Zea mays*).

### Tasa de germinación (%)



Duncan<sup>a</sup>

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Control	5	7.8000	
EM-compost + Bacillus + Trichoderma	5	10.2000	10.2000
EM-compost + Trichoderma	5	10.4000	10.4000
EM-compost + Bacillus	5		14.0000
Sig.		.349	.177

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5.000.

- Análisis estadístico de la variable Conductividad eléctrica (mS/cm) en los tratamientos de maíz (*Zea mays*).

### Conductividad eléctrica (mS/cm)

Duncan<sup>a</sup>

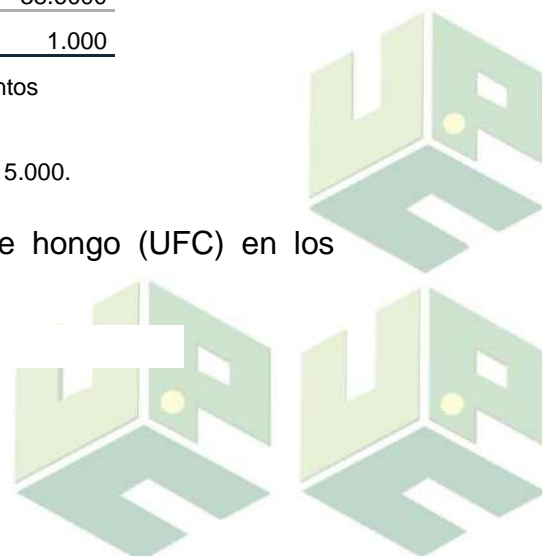
Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
EM-compost + Trichoderma	5	21.6000		
EM-compost + Bacillus	5		24.8000	
EM-compost + Bacillus + Trichoderma	5		25.0000	
Control	5			38.6000
Sig.		1.000	.856	1.000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5.000.

- Análisis estadístico de la variable de reducción de hongo (UFC) en los tratamientos de maíz (*Zea mays*).

### Reducción de hongos (UFC)



Duncan<sup>a</sup>

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
EM-compost + Trichoderma	5	20.2500			
EM-compost + Bacillus	5		31.6000		
EM-compost + Bacillus + Trichoderma	5			42.4000	
Control	5				67.4000
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5.000.

- Análisis estadístico de la variable de reducción de bacterias (UFC) en los tratamientos de maíz (*Zea mays*).

### Reducción de bacterias (UFC)

Duncan<sup>a</sup>

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
EM-compost + Bacillus	5	.8000	
EM-compost + Trichoderma	5	1.0000	
EM-compost + Bacillus + Trichoderma	5	1.0000	
Control	5		60.0000
Sig.		.692	1.000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5.000.

- Análisis de varianza de las variables evaluadas dentro de los tratamientos de frijol (*Phaseolus vulgaris*).

### ANOVA

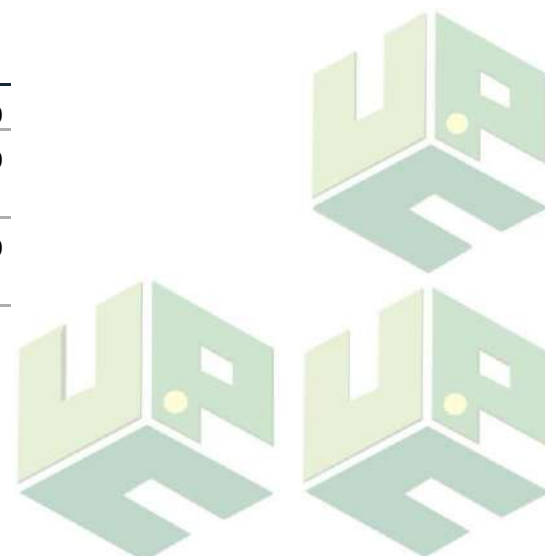


		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Biomasa total	Entre grupos	155.200	3	51.733	1.259	.322
	Dentro de grupos	657.600	16	41.100		
	Total	812.800	19			
Longitud del tallo	Entre grupos	892.946	3	297.649	1.658	.216
	Dentro de grupos	2872.964	16	179.560		
	Total	3765.910	19			
Longitud de raíz	Entre grupos	363.906	3	121.302	3.816	.031
	Dentro de grupos	508.556	16	31.785		
	Total	872.462	19			
Tasa de germinación	Entre grupos	114.950	3	38.317	2.976	.063
	Dentro de grupos	206.000	16	12.875		
	Total	320.950	19			
Conductividad eléctrica	Entre grupos	.077	3	.026	642.125	.000
	Dentro de grupos	.001	16	.000		
	Total	.078	19			
Reducción de hongos	Entre grupos	5489.838	3	1829.946	6099.565	.000
	Dentro de grupos	206.000	16	.300		
	Total	4.800	19			
Reducción de bacterias	Entre grupos	3527.200	3	.026	4702.933	.000
	Dentro de grupos	4.000	16	.000		
	Total	3531.200	19			

- Análisis estadístico de la variable Biomasa total (gr) en los tratamientos de frijol (*Phaseolus vulgaris*).

### Biomasa total (gr)

Duncan <sup>a</sup>		Subconjunto para alfa = 0.05
Tratamientos	N	1
Control	5	4.6000
EM-compost + Trichoderma	5	7.4000
EM-compost + Bacillus subtilis	5	11.0000



EM-compost + Bacillus + Trichoderma	5	11.4000
Sig.		.141

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5.000.

- Análisis estadístico de la variable Altura del tallo (cm) en los tratamientos de frijol (*Phaseolus vulgaris*).

### Altura del tallo (cm)

Duncan<sup>a</sup>

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	
Control	5	14.0800	
EM-compost + Trichoderma	5	21.1400	
EM-compost + Bacillus subtilis	5	23.8400	
EM-compost + Bacillus + Trichoderma	5	32.7400	
Sig.			.058

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5.000.

- Análisis estadístico de la variable Longitud de raíz (cm) en los tratamientos de frijol (*Phaseolus vulgaris*).

### Longitud de raíz (cm)

Duncan<sup>a</sup>

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Control	5	6.4600	
EM-compost + Trichoderma	5	10.1200	
EM-compost + Bacillus subtilis	5	12.2800	12.2800



EM-compost + Bacillus + Trichoderma	5		18.2200
Sig.		.141	.115

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5.000.

- Análisis estadístico de la variable Tasa de germinación (%) en los tratamientos de frijol (*Phaseolus vulgaris*).

### Tasa de germinación (%)

Duncan<sup>a</sup>

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Control	5	2.4000	
EM-compost + Trichoderma	5	4.2000	4.2000
EM-compost + Bacillus subtilis	5	6.4000	6.4000
EM-compost + Bacillus + Trichoderma	5		8.8000
Sig.		.113	.071

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5.000.

- Análisis estadístico de la variable Conductividad eléctrica (mS/cm) en los tratamientos de frijol (*Phaseolus vulgaris*).

### Conductividad eléctrica (mS/cm)

Duncan<sup>a</sup>

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
EM-compost + Bacillus subtilis	5	.2360		
EM-compost + Bacillus + Trichoderma	5	.2360		



EM-compost + Trichoderma	5		.3300	
Control	5			.3800
Sig.		1.000	1.000	1.000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5.000.

- Análisis estadístico de la variable reducción de hongos (UFC) en los tratamientos de frijol (*Phaseolus vulgaris*).

### Reducción de hongos (UFC)

Duncan<sup>a</sup>

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
EM-compost + Trichoderma	5	11.0000			
EM-compost + Bacillus + Trichoderma	5		32.2000		
EM-compost + Bacillus subtilis	5			40.5000	
Control	5				57.0000
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

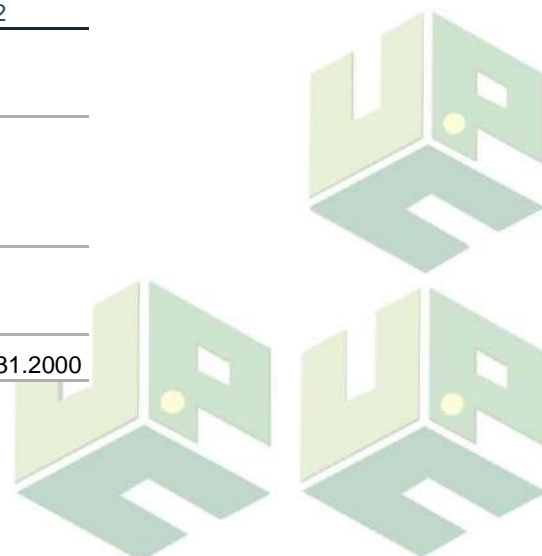
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5.000.

- Análisis estadístico de la variable Conductividad eléctrica (mS/cm) en los tratamientos de frijol (*Phaseolus vulgaris*).

### Reducción de bacterias (UFC)

Duncan<sup>a</sup>

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
EM-compost + Trichoderma	5	.4000	
EM-compost + Bacillus + Trichoderma	5	.4000	
EM-compost + Bacillus subtilis	5	.8000	
Control	5		31.2000





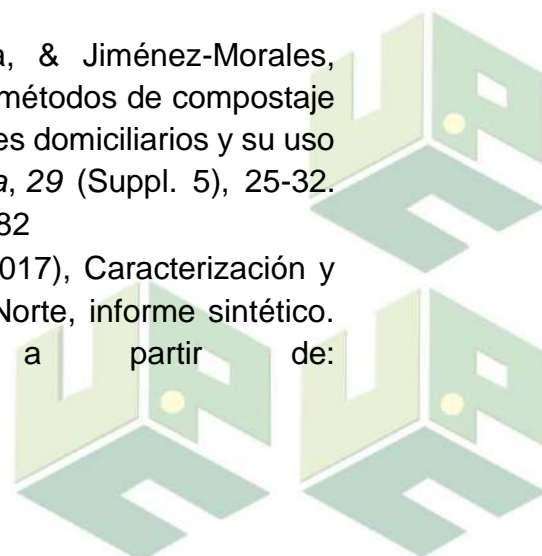
Sig.		.248	1.000
------	--	------	-------

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5.000.

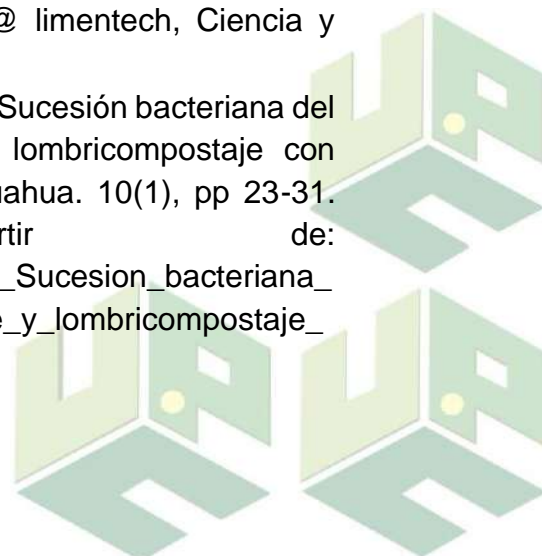
#### 14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, W. & Peralta, M. (2015). Elaboración de abonos orgánicos a partir del compostaje de residuos agrícolas en el municipio de Fusagasugá. Universidad de Cundinamarca. Facultad de ciencias agropecuarias, programa de zootecnia. Fusagasugá, Colombia. Recuperado a partir de: <http://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/1234/ELABORACION%20DE%20ABONOS%20ORGANICOS%20PARTIR%20DEL%20COMPOSTAJE%20DE%20R.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Araujo, A (2016). La actividad ganadera en el Departamento del Cesar, Colombia – monografía.
- Barriga, A. (2018). *El Cesar se destaca en el país por la producción de palma de aceite*. El Pilón | Noticias de Valledupar, El Vallenato y el Caribe Colombiano. El Pilón S.A. Tomado de: <https://elpilon.com.co/el-cesar-se-destaca-en-el-pais-por-la-produccion-de-palma-de-aceite/>
- Bezabeh, M. W., Haile, M., Sogn, T. A., & Eich-Greatorex, S. (2021). Yield, nutrient uptake, and economic return of faba bean (*Vicia faba L.*) in calcareous soil as affected by compost types. *Journal of Agriculture and Food Research*, 6(100237), 100237. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666154321001393>
- Campos-Rodríguez, Rooel, Brenes-Peralta, Laura, Jiménez-Morales, María Fernanda, & Ramírez-Ramírez, Fiorella. (2016). Factores relevantes para el cultivo de huertas caseras utilizando residuos sólidos biodegradables como fuente de abono. *Revista Tecnología en Marcha*, 29 (Suppl. 5), 5-13. Tomado de: <https://dx.doi.org/10.18845/tm.v29i8.2980>
- Campos-Rodríguez, Rooel, Brenes-Peralta, Laura, & Jiménez-Morales, María Fernanda. (2016). Evaluación técnica de dos métodos de compostaje para el tratamiento de residuos sólidos biodegradables domiciliarios y su uso en huertas caseras. *Revista Tecnología en Marcha*, 29 (Suppl. 5), 25-32. Tomado de: <https://dx.doi.org/10.18845/tm.v29i8.2982>
- Comisión para la cooperación ambiental, (CCA). (2017), Caracterización y gestión de los residuos orgánicos en América del Norte, informe sintético. Montreal. pp 1-43. Recuperado a partir de:



<http://www3.cec.org/islandora/es/item/11770-characterization-and-management-organic-waste-in-north-america-white-paper>

- Cordier, C., & Alabouvette, C. (2009). Effects of the introduction of a biocontrol strain of *Trichoderma atroviride* on non target soil microorganisms. *European Journal of Soil Biology*, 45(3), 267–274. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2008.12.004>
- Cuesta, A., Conde, A., & Moreno, M. L. (2000). Tratamiento y calidad nutritiva de subproductos fibrosos de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Revista Palmas*, 21(especial,), 264-274.
- Cubillos Pedraza, Danny D. (2018). Estandarización de la producción de Bocashi y compost como fertilizante para aplicar a las huertas caseras de pequeños agricultores de Facatativá - Cundinamarca. Tomado de: <http://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/1488/ESTANDARIZACION%20DE%20LA%20PRODUCCION%20DE%20BOCASHI%20Y%20COMPOST%20COMO%20FERTILIZANTE%20PARA%20APLICAR%20A%20LAS%20HUERTA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Dával, A., Lepe, M., Polanco, E., Saavedra, C., & Guerra, D. (2016). Determinación del valor nutricional y evaluación sensorial del ensilado de *Sorghum vulgare* y *Tithonia diversifolia*. REDVET. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 17(10), 1-11.
- De Coss, A. L., Guerra-Medina, E., Montañez-Valdez, O., Guevara, F., Pinto, R., & Reyes-Gutiérrez, J. A. (2018). Producción *in vitro* de gas metano por gramíneas forrajeras tropicales. *Revista MVZ Córdoba*, 6788-6798.
- De Sousa Antunes, L. F., Spolador Fernandes, L., de Sousa Vaz, A. F., Santos Reis de Andrade da Silva, M., dos Santos Ferreira, T., Teles dos Santos, D. M., & Fernandes Correia, M. E. (2022). Millicomposting: Sustainable technique for obtaining organic compost for the cultivation of broccoli seedlings. *Cleaner Engineering and Technology*, 7(100442), 100442. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100442>
- Diaz, C. C., & Carvajal, E. R. (2014). Eficiencia biológica de *Pleurotus ostreatus* cultivado en fibra de palma de aceite. @ limentech, *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 12(1).
- De la mora, A., Vazquez, F & Galván, J. (2016). Sucesión bacteriana del género *Bacillus* en el proceso de compostaje y lombricompostaje con diferentes fuentes de estiércol. *Tecnociencia Chihuahua*. 10(1), pp 23-31. Recuperado a partir de: [https://www.researchgate.net/publication/309479823\\_Sucesion\\_bacteriana\\_del\\_genero\\_Bacillus\\_en\\_el\\_proceso\\_de\\_compostaje\\_y\\_lombricompostaje\\_con\\_diferentes\\_fuentes\\_de\\_estiercol](https://www.researchgate.net/publication/309479823_Sucesion_bacteriana_del_genero_Bacillus_en_el_proceso_de_compostaje_y_lombricompostaje_con_diferentes_fuentes_de_estiercol)

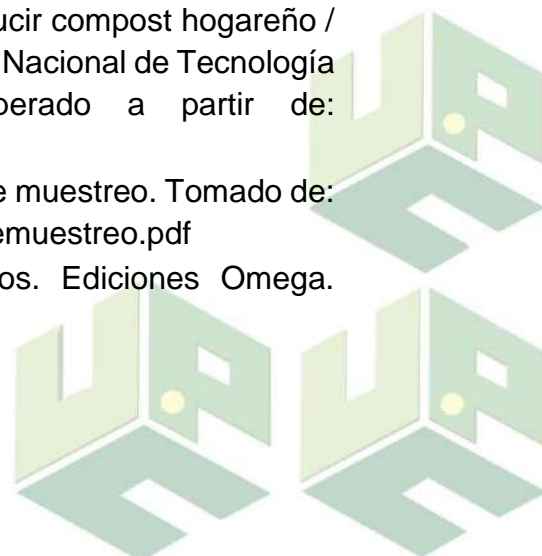


- De Souza, R., Ambrosini, A & Passaglia, L. (2015). Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. *Genetics and Molecular Biology*, 38(4), pp 401-419. Recuperado a partir de: <https://www.scielo.br/pdf/gmb/v38n4/1415-4757-gmb-S1415-475738420150053.pdf>
- DNP. (2016). Estudio pérdida y desperdicio de alimentos en Colombia. Departamento Nacional de Planeación. Recuperado a partir de: [https://sinergia.dnp.gov.co/Documentos%20de%20Interes/Perdida\\_y\\_Desperdicio\\_de\\_Alimentos\\_en\\_colombia.pdf](https://sinergia.dnp.gov.co/Documentos%20de%20Interes/Perdida_y_Desperdicio_de_Alimentos_en_colombia.pdf)
- Escobar E., Natalia, Mora D., Jairo, Romero J., Néstor j. (2012). Identificación de poblaciones microbianas en compost de residuos orgánicos de fincas cafeteras de Cundinamarca. ISSN 0123 - 3068 *bol.cient.mus.hist.nat.* 16 (1): 75 – 88. Tomado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v16n1/v16n1a06.pdf>
- Ebrahimi, M., Rajion, M. A., Meng, G. Y., Shokryzadan, P., Sazili, A. Q., & Jahromi, M. F. (2015). Feeding oil palm (*Elaeis guineensis*, Jacq.) fronds alters rumen protozoal population and ruminal fermentation pattern in goats. *Italian Journal of Animal Science*, 14(3), 3877
- FAO. (2016). Pérdidas y desperdicios de alimentos en América latina y el Caribe. Reducir las pérdidas y desperdicios de alimentos per capita en 2015, un compromiso de la región. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado a partir de: <http://www.fao.org/3/a-i5504s.pdf>
- Febrina, D., Jamarun, N., & Zain, M. (2020). Digestibility of Goat Rations Containing Fermented Oil Palm Fronds by *Phanerochaete chrysosporium* Supplemented with Phosphorus, Sulfur and Magenesium (Hasil Check Similarity).
- Felix, C. R., Noronha, E. F., & Miller, R. N. G. (2014). Trichoderma. En V. K. Gupta, M. Schmoll, A. Herrera-Estrella, R. S. Upadhyay, I. Druzhinina, & M. G. Tuohy (Eds.), *Biotechnology and Biology of Trichoderma* (pp. 345–349). Elsevier. Tomado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444595768000254>
- Fernández I., Roberth E. (2014). Producción de compost utilizando residuos orgánicos producidos en el camal municipal y viviendas urbanas aplicando los métodos takakura y EM-compost en el distrito de Chachapoyas, Región amazonas. Tomado de: [https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/1005/FIA\\_144.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/1005/FIA_144.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ferri, C. M. (2014). Gramíneas forrajeras perennes de crecimiento estival (C4) para la región Pampeana semiárida, en el contexto de la intensificación ganadera y del cambio climático. Resultados finales. Proyectos de



investigación científica y tecnológica orientados al desarrollo productivo provincial. Universidad Nacional de La Pampa, EdUNLPam, Santa Rosa, 92-145.

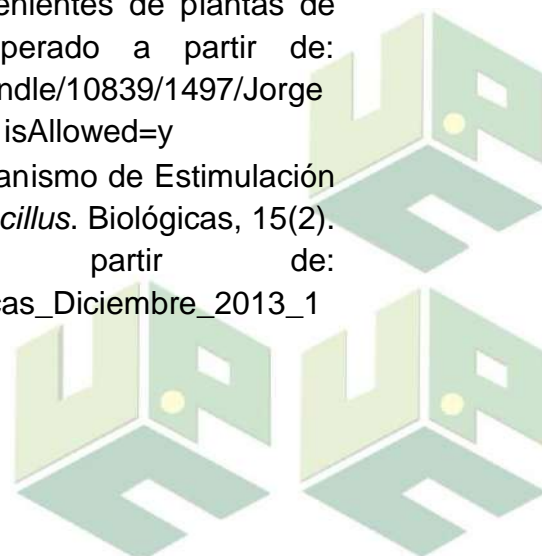
- Filiatrault-Chastel, C., Heiss-Blanquet, S., Margeot, A., & Berrin, J.-G. (2021). From fungal secretomes to enzymes cocktails: The path forward to bioeconomy. *Biotechnology Advances*, 52(107833), 107833. Tomado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0734975021001397>
- Greff, B., Szigeti, J., Nagy, Á., Lakatos, E., & Varga, L. (2022). Influence of microbial inoculants on co-composting of lignocellulosic crop residues with farm animal manure: A review. *Journal of Environmental Management*, 302(Pt B), 114088. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114088>
- Gupta, V. G., Schmoll, M., Herrera-Estrella, A., Upadhyay, R. S., Druzhinina, I., & Tuohy, M. (Eds.). (2014). *Biotechnology and biology of Trichoderma*. Elsevier Science. Tomado de: <https://www.sciencedirect.com/book/9780444595768/biotechnology-and-biology-of-trichoderma>
- Hermosa, R., Cardoz, R. E., Rubio, M. B., Gutiérrez, S., & Monte, E. (2014). Secondary metabolism and antimicrobial metabolites of *Trichoderma*. En V. K. Gupta, M. Schmoll, A. Herrera-Estrella, R. S. Upadhyay, I. Druzhinina, & M. G. Tuohy (Eds.), *Biotechnology and Biology of Trichoderma* (pp. 125–137). Elsevier. Tomado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444595768000102>
- Hernández, T., Valles, B., & Castillo, E. (1990). Evaluación de gramíneas y leguminosas forrajeras en Veracruz, México. *Pasturas Tropicales*, 12(3), 29-33.
- Hidalgo M, Martín-Marroquín JM. (2020). El desperdicio de alimentos, un problema global. *IndustriaAmbiente: gestión medioambiental y energética*. Disponible en: [https://www.industriaambiente.com/media/uploads/noticias/documentos/AT\\_Desperdicios\\_alimentarios.pdf](https://www.industriaambiente.com/media/uploads/noticias/documentos/AT_Desperdicios_alimentarios.pdf)
- INTI. (2018). Manual de buenas prácticas para producir compost hogareño / Violeta Silbert Voldman, 1a ed. - San Martín: Instituto Nacional de Tecnología Industrial - INTI, Libro digital, PDF. Recuperado a partir de: <https://www.inti.gob.ar/publicaciones/descargac/348>
- Instituto geográfico Agustín Codazzi. (2019). Guía de muestreo. Tomado de: <https://www.igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/guiademuestreo.pdf>
- Jackson, M.L. (1970). *Análisis Químico de Suelos*. Ediciones Omega. Barcelona, España.



- Jurys, A., & Feizienė, D. (2021). The effect of specific soil microorganisms on soil quality parameters and organic matter content for cereal production. *Plants*, 10(10), 2000. Tomado de: <https://www.mdpi.com/2223-7747/10/10/2000>
- Larreátegui Rosales, R. E. (2013). Estudio comparativo en la producción de dos tipos de compost con residuos orgánicos en la pre-parroquia San Gabriel del Baba cantón Santo Domingo (Tesis de pregrado). Universidad de las Américas, Quito. Tomado de: <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/2263>
- Martínez Anaya, M., & Quintero Pechene, J. (2017). Estado actual de los desperdicios de frutas y verduras en Colombia. *Memorias De Congresos UTP*, 194-201. Recuperado a partir de <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/memoutp/article/view/1493>
- Martínez, Antonio. (2020). El cultivo de hortalizas en la región Caribe de Colombia: Aspectos tecnológicos, económicos y de mercado. Mosquera, Colombia: Editorial AGROSAVIA. Colección Nuevo Conocimiento Agropecuario. 156 páginas. Biblioteca Agropecuaria de Colombia. Tomado de: <https://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/download/148/130/1186-1?inline=1>
- Martínez, G., Sarria, A., Torres, A., Aya A., Ariza, G., Rodríguez, J & Sanz, M. (2008). *Phytophthora sp* es el responsable de las lesiones iniciales de la pudrición del cogollo (PC) de la palma aceite en Colombia. En memorias de la VIII Reunión Técnica Nacional de Palma Aceite.
- Martillo-Romero, EF. (2019). Análisis de residuos sólidos urbanos del cantón Nobol y propuesta de mitigación a través de una línea de producción de compost orgánico. Tesis. Tomado de: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/45033>
- Marmolejo, Luis Fernando, & Oviedo, Édgar Ricardo, & Jaimes, Juan Carlos, & Torres, Patricia (2010). Influencia de la separación en la fuente sobre el compostaje de residuos sólidos municipales. *Agronomía Colombiana*, 38(2), 319-327. ISSN: 0120-9965. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=1803/180315602021>
- Meng, G. Y., Rajion, M. A., Jafari, S., & Ebrahimi, M. (2018). Oil palm frond supplementation can change fatty acid composition of rumen fluid, muscle tissue and blood cholesterol level in crossbred male sheep. *The Thai Journal of Veterinary Medicine*, 48(2), 137-146.
- Mohamed, O.Z., Yassine, B., Hilali Rania, E., El Hassan, A., Abdellatif, H., & Rachid, B. (2020). Evaluation of compost quality and bioprotection potential against Fusarium wilt of date palm. *Waste Management (New York)*,

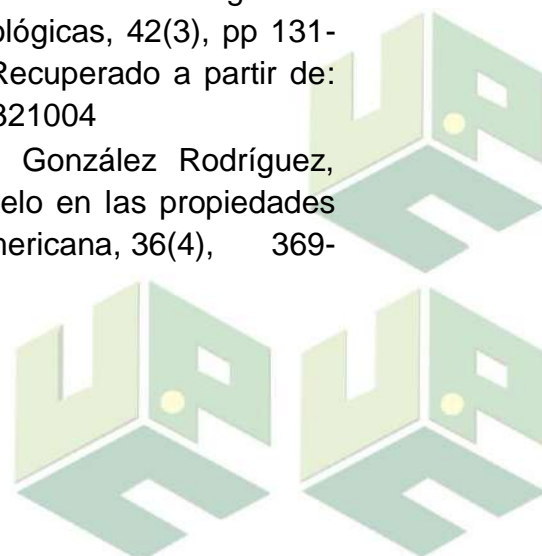


- N.Y.), 113, 12–19. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X20302750>
- Moreno Flores, O. (2008). Agricultura Urbana: Nuevas Estrategias de Integración Social y Recuperación Ambiental en la Ciudad. Tomado de: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/117766>
  - Olivera, C & Avellaneda, L. (2018). Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Bogotá, Colombia. Recuperado a partir de: [https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/suelo/Guia\\_de\\_buenas\\_practicas\\_para\\_la\\_gestion\\_y\\_uso\\_sostenible\\_de\\_los\\_suelos\\_en\\_areas\\_rurales.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/suelo/Guia_de_buenas_practicas_para_la_gestion_y_uso_sostenible_de_los_suelos_en_areas_rurales.pdf)
  - Palacios Hidalgo, Vanessa E. (2019). Modelo de gestión de los residuos sólidos orgánicos domiciliarios y la producción de compost, distrito de huaura 2016. Tomado de: <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/UNJFSC/2976/PALACIOS%20HIDALGO%20VANESSA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
  - Patkowska, E., Mielniczuk, E., Jamiołkowska, A., Skwaryło-Bednarz, B., & Błażewicz-Woźniak, M. (2020). The influence of *Trichoderma harzianum* Rifai T-22 and other biostimulants on rhizosphere beneficial microorganisms of carrot. *Agronomy (Basel, Switzerland)*, 10(11), 1637. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111637>
  - Poveda, J., & Eugui, D. (2022). Combined use of *Trichoderma* and beneficial bacteria (mainly *Bacillus* and *Pseudomonas*): Development of microbial synergistic bio-inoculants in sustainable agriculture. *Biological Control: Theory and Applications in Pest Management*, 176(105100), 105100. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.105100>
  - Quintero-Anzueta, S., Molina, I. C., Ramirez-Navas, J. S., Barahona, R., & Arango, J. (2018). Calidad nutricional de forrajes usados en la intensificación ganadera sostenible en el trópico bajo de Colombia.
  - Ramírez, J & Gallego, D. (2016). Análisis e implementación de un proceso de compostaje para la valorización de lodos provenientes de plantas de tratamiento de agua residual industrial Recuperado a partir de: <http://repositorio.ucm.edu.co:8080/jspui/bitstream/handle/10839/1497/Jorge%20Fernando%20Ramirez%20L.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
  - Rojas, D., Contreras, M & Santoyo, G. (2013). Mecanismo de Estimulación del Crecimiento Vegetal en Bacterias del Género *Bacillus*. *Biológicas*, 15(2). pp 36–41. Recuperado a partir de: [https://www.academia.edu/9014588/Biol%C3%B3gicas\\_Diciembre\\_2013\\_1](https://www.academia.edu/9014588/Biol%C3%B3gicas_Diciembre_2013_1)



5\_2\_36\_41\_Mecanismos\_de\_estimulaci%C3%B3n\_del\_crecimiento\_vegetal\_en\_bacterias\_del\_g%C3%A9nero\_Bacillus

- Ramírez-Ramírez, Fiorella, Campos-Rodríguez, Roel, Jiménez-Morales, María Fernanda, & Brenes-Peralta, Laura. (2016). Evaluación técnica, ambiental y económica de tres tipos de tratamiento para el cultivo de lechuga en huertas caseras de Guácimo, Limón, Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 29(Suppl. 5), 14-24. Tomado de: <https://dx.doi.org/10.18845/tm.v29i8.2981>
- Rastogi, M., Nandal, M., & Khosla, B. (2020). Microbes as vital additives for solid waste composting. *Heliyon*, 6(2), e03343. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03343>
- Ravindran, R., Hassan, S. S., Williams, G. A., & Jaiswal, A. K. (2018). A review on bioconversion of Agro-industrial wastes to industrially important enzymes. *Bioengineering (Basel, Switzerland)*, 5(4), 93. Tomado de: <https://www.mdpi.com/2306-5354/5/4/93>
- Rivas-Nichorzon, M., & Silva-Acuña, R. (2020). Calidad física y química de tres compost, elaborada con residuos de jardinería, pergamino de café y bora (*Eichhornia Crassipes*). *CIENCIA UNEMI*, 13(32), 87-100. Tomado de: <http://ojs.unemi.edu.ec/index.php/cienciaunemi/article/view/1007>
- Rodríguez, C. N., López-Herrera, A., & Echeverri, Z. J. (2017). Efecto de la interacción del nivel nutricional de la dieta y el polimorfismo de los genes BGH, PRL e IGF2a sobre el porcentaje de grasa y proteína en la leche de ganado Holstein. *Archivos de zootecnia*, 66(256), 499-507.
- Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). Manual de Compostaje del Agricultor. Santiago de Chile: FAO. Tomado de: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>
- Sharma, A., Saha, T. N., Arora, A., Shah, R., & Nain, L. (2017). Efficient microorganism compost benefits plant growth and improves soil health in *Calendula* and *marigold*. *Horticultural Plant Journal*, 3(2), 67–72. Tomado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468014117301711>
- Tejera, B., Rojas, M & Heydrich, M. (2011). Potencialidades del género *Bacillus* en la promoción del crecimiento vegetal y el control biológico de hongos fitopatógenos. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 42(3), pp 131-138. [Fecha de Consulta 15 de Agosto de 2020]. Recuperado a partir de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=1812/181222321004>
- Yáñez Díaz, María Inés, Cantú Silva, Israel, & González Rodríguez, Humberto. (2018). Efecto del cambio de uso de suelo en las propiedades químicas de un vertisol. *Terra Latinoamericana*, 36(4), 369-379. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i4.349>



- Vásquez, H. V., Quilcate, C., & Oliva, M. (2017). Evaluación de quince variedades de gramíneas forrajeras para el mejoramiento alimenticio del ganado bovino en la cuenca ganadera Florida. *Revista de Investigación en Ciencia y Biotecnología Animal*, 1(1).
- Williams B.A. Cumulative gas-production techniques for forage evaluation. In: D.I. Givens et al., editors, *Forage Evaluation in Ruminant Nutrition*. CAB International: Wallingford, GBR; 2000. DOI: <http://dx.doi.org/10.1079/9780851993447.0000>
- Villa, A., Nava, M., López, S., Vargas, S., Ortega, E., & López, G. (2009). Utilización del guácimo (*Guazuma ulmifolia Lam.*) como fuente de forraje en la ganadería bovina extensiva del trópico mexicano. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(2), 253-261.
- Villa, I., Tena, J., Tzintzun, R., & Val, D. (2008). Caracterización de los sistemas ganaderos en dos comunidades del municipio de Tuzantla de la región de Tierra Caliente, Michoacán. *Avances en investigación agropecuaria*, 12(2), 45-58.
- *World congress of soil science 2022*. (2020, noviembre 15). British Society of Soil Science. <https://soils.org.uk/wcss22/>
- Yang, L., Zhao, F., Chang, Q., Li, T., & Li, F. (2015). Effects of vermicomposts on tomato yield and quality and soil fertility in greenhouse under different soil water regimes. *Agricultural water management*, 160, 98–105. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.07.002>
- Zaccagnini, M.E., Wilson, M.G. & Osgust, J.D. (2014). Manual de buenas prácticas para la conservación del suelo, la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos. Área piloto aldea Santa María, Entre ríos. 1a ed. Buenos Aires: Programa Naciones Unidas para el Desarrollo. Recuperado de: <https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-manual-de-buenas-practicas-para-la-conservacion-del-suelo-la-biodiversidad.pdf>

