

**Evaluación de un bioinoculante obtenido a partir de microorganismos  
celulolíticos aislados en un proceso de compostaje en el colegio alemán de Cali**

**Baurin Joseph Chavez Martinez  
Kelly Johanna Noreña Arroyave**

**Director (a):**  
Doctora Silvia Andrea Quijano

**Universidad Santiago de Cali  
Facultad de Ciencias Básicas  
Programa de Microbiología  
Cali, Colombia  
2024**

**Evaluación de un bioinoculante obtenido a partir de microorganismos  
celulolíticos aislados en un proceso de compostaje en el colegio alemán de Cali**

**Baurin Joseph Chavez Martinez  
Kelly Johanna Noreña Arroyave**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
Microbiólogo**

**Director (a):  
Doctora Silvia Andrea Quijano**

**Línea de Investigación:  
Agroecología, producción y desarrollo sostenible**

**Grupo de Investigación:  
ECOBIO**

**Universidad Santiago de Cali  
Facultad de Ciencias Básicas  
Programa de Microbiología  
Cali, Colombia  
2024**

## IMPACTOS

| IMPACTO           | PRODUCTO   | BENEFICIARIO(S)  |
|-------------------|--|--|
| <b>Económico</b>  | Generación de compost usando un microorganismo eficiente para mejorar el proceso de compostaje, para reducir los residuos orgánicos generados en la institución.   | Colegio Alemán de Cali.  |
| <b>Científico</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Generación de nuevo conocimiento.</li> <li>● Participación en eventos de divulgación científica.</li> <li>● Trabajo de grado aprobado, requisito para optar al título de Microbiólogo.</li> </ul> | Colegio Alemán de Cali, Universidad Santiago de Cali, Baurin Joseph Chavez Martinez, Kelly Johana Noreña Arroyave. |
| <b>Ambiental</b>  | Mejorar el sistema de clasificación de residuos en el Colegio Alemán de Cali promoviendo así el aprovechamiento de los residuos orgánicos.   | Colegio Alemán de Cali.  |

### ***Instituciones asociadas***

***Nombre de la institución:*** Universidad Santiago de Cali Tipo de vinculación: Participativa  
***Nombre de la institución:*** Colegio Alemán de Cali Tipo de vinculación: Participativa.

## **Evaluación de un bioinoculante obtenido a partir de microorganismos celulolíticos aislados en un proceso de compostaje en el colegio alemán de Cali**

**Kelly Johana Arroyave Noreña<sup>1</sup>, Baurin Joseph Chavez Martinez<sup>1</sup>, Silvia Andrea Quijano Pérez<sup>2</sup>**

Grupo de Investigación en Ecología Microbiana, Geobiología y Astrobiología (ECOBIO),  
Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Santiago de Cali, Campus Pampalinda Calle 5 #  
62-00, Santiago de Cali. Colombia

### **RESUMEN**

Se estima que, a nivel nacional 76% de los residuos son orgánicos y pocos se aprovechan eficientemente en economía circular mediante compostaje debido al largo tiempo de obtención de este. Este estudio evaluó un inoculante obtenido a partir de microorganismos celulolíticos aislados de un compostaje realizado en colegio Alemán de Cali. Su ejecución partió con la fabricación de composteras y realización de compostaje control que se caracterizó microbiológica-fisicoquímicamente en todas sus fases, identificando *Enterobacter colae* como el microorganismo con mayor capacidad celulolítica, con este se desarrolló un bioinoculante y se comparó su eficiencia frente al compostaje control, mostrando reducción del tiempo de obtención a 29 días. Se evaluó su efecto sobre la germinación de *Lactuca sativa* y *Raphanus sativus* mostrando que el compost con bioinoculante promueve el crecimiento radicular e hipocótilo de las semillas estudiadas. Concluyendo que *E. colae complex* es útil en el proceso de compostaje y aporta en la germinación.

**Palabras clave:** Compostaje, inoculante, microorganismos celulolíticos, tiempo de degradación, germinación.

### **Evaluation of a bioinoculant obtained from microorganisms cellulolytics isolated in a composting process at the Alemán school in Cali**

### **ABSTRACT**

It is estimated that, at the national level, 76% of waste is organic and few are efficiently used in the circular economy through composting due to the long time it takes to obtain it. This study evaluated an inoculant obtained from cellulolytic microorganisms isolated from a compost made at the Aleman school in Cali. Its execution started with the manufacture of compost bins and the realization of control compost that was characterized microbiologically-physicochemically in all its phases, identifying *Enterobacter colae* as the microorganism with the highest cellulolytic capacity, with which a bioinoculant was developed and its efficiency was compared with the control compost, showing a reduction in the time to obtain it to 29 days. Its effect on the germination of *Lactuca sativa* and *Raphanus sativus* was evaluated, showing that the compost with bioinoculant promotes root and hypocotyl growth of the seeds studied. It was concluded that *E. colae complex* is useful in the composting process and contributes to germination.

**Keywords:** Composting, inoculant, cellulolytic microorganisms, degradation time, germination.

## 1. INTRODUCCIÓN

La generación de residuos sólidos orgánicos y su mala disposición es uno de los problemas ambientales más importantes actualmente en la sociedad, el aumento en la cantidad de residuos y el no aprovechamiento de estos conllevan a un incremento en la producción de contaminantes que afectan la calidad del suelo y los recursos hídricos, además, el acumulo de estos ocasionan daños tales como aparición de plagas de insectos y roedores, generación de olores desagradables, posibilidad de focos de infección y vectores de enfermedades (Jurado, 2015; Rashid et al., 2023).

En el año 2021 se estimó que a nivel mundial se generan 2.000 millones de toneladas/ año de residuos. En latino América se generan alrededor de 200 millones de toneladas de residuos en donde el 50% son residuos orgánicos es decir que 100 millones de toneladas/ año de residuos son biodegradables. Por su parte, en sur África se generan 175 millones toneladas/ año de residuos, de éstos 45-50% son residuos orgánicos que pueden ser implementados en compostaje, es decir 80 millones de toneladas de residuos orgánicos que podrían ser destinado a la producción de abonos, pero estos no son aprovechados dado que el 70% de dichos residuos son depositados a cielo abierto y solamente el 1% de estos residuos orgánicos generados en África tiene como fin la producción de compostaje (One planet network, 2021).

A nivel nacional en el año 2022, el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), emitió un boletín en donde se informa que en Colombia para el año 2020 se generaron aproximadamente 6.908.168 de toneladas de residuos clasificados como orgánicos; siendo este un 76,7% del total de residuos generados, seguido por residuos de construcción los cuales equivalen al 11,5% y mezcla de residuos con el 4%. Del total de residuos producidos a nivel nacional solo el 34% de estos es dispuesto y aprovechado correctamente, por lo que el resto significan contaminación ambiental (DANE, 2022).

El compostaje es un método aeróbico empleado para generar abonos a partir de residuos orgánicos, aunque el este es un método eficiente y una alternativa viable para el aprovechamiento de los residuos, el tiempo de degradación de estos es variable y dependerá directamente de varios factores como los son el tamaño de partícula, disposición de la pila, relación carbono/nitrógeno, aireación, humedad y la población microbológica que se encuentre presente y activa, si todas estas variables se encuentran en óptimas condiciones el proceso de compostaje puede tardarse aproximadamente 180 días hasta obtener un abono de buena calidad, sin embargo, al producirse una cantidad masiva de residuos se busca optimizar y acelerar el tiempo que se tardan en descomponerse totalmente (Molina & Oviedo, 2019).

Se ha comprobado que el compostaje resulta ser un proceso tardío, demorando su proceso de obtención entre 45-60 días, por lo cual en muchos casos se emplean pequeños inóculos de compost maduro con el fin de acelerar este proceso, ya que aumenta la carga microbiana generando una optimización en la degradación de los diferentes residuos orgánicos (Zichun Zhang, et al., 2023). En diferentes investigaciones se ha empleado el mecanismo de añadir un inóculo microbiano con el fin de acelerar el proceso de compostaje. Se demostró que, en el compostaje aeróbico tradicional al añadir inóculos de compost maduro disminuye el tiempo de

maduración por la presencia de microorganismos termófilos que permiten degradar carbohidratos complejos como la celulosa o lignocelulosa (Zarate, 2019; Carrillo & Paoli, 2024). Dentro de estos inóculos cabe destacar la importancia de emplear hongos filamentosos, los cuales son los mayores degradadores de celulosa, además de que muchos tienen relaciones simbióticas con las plantas, como lo son *Trichoderma spp*, *Penicillium spp* o *Beauveria sp*, que funcionan como bioestimulantes que permiten una mejor absorción de los nutrientes para las plantas (Díaz-Urbano et al., 2023).

Se han evaluado microorganismos como *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas spp*, *Azotobacter spp* o la formación de consorcios entre bacterias del mismo género como *Bacillus safensis* y *Bacillus subtilis*, demostrando actividad celulítica con el fin de ser implementados como bioinoculantes microbianos, debido a su capacidad de generar enzimas celulasas, las cuales actúan sobre la pared celular de las células vegetales, que están compuestas en su mayoría por celulosa aportando rigidez. Debido a la complejidad de la celulosa, el proceso de compostaje se hace tardío, por ende, es necesario implementar microorganismos celulolíticos, dado a que la degradación de la celulosa contribuye en la optimización del proceso de compostaje disminuyendo significativamente el tiempo de maduración. Además de esto, se ha evidenciado que dichos microorganismos presentan efectos positivos en la germinación de semillas (Siu-Rodas et al., 2017; Manli Duan et al., 2020; Edgar et al., 2022; Vásquez, 2022).

En año 2021 en la universidad Santiago de Cali se empleó un sistema de compostaje Earthgreen empleando los desechos generados en la universidad Santiago de Cali, con el fin de determinar la presencia de microorganismos con capacidad celulítica, además de realizar diferentes tratamientos entre relación aserrín y materia orgánica, con el fin de optimizar este sistema. En este estudio, el tratamiento que presentó mejores resultados fue el de tres partes de materia orgánica como frutas y verduras por uno de aserrín. Además, se determinó la presencia de *Klebsiella oxytoca*, *Sphingomonas paucimobilis* y *Pantoea spp* en el proceso de compostaje, estos microorganismos presentaron mecanismos enzimáticos para degradar la celulosa, además, de aumentar la temperatura del compost, permitiendo disminuir el tiempo de obtención del compost, en donde se ha evidenciado disminuciones del 50%, pasando de 100 días a 49 días para la obtención del compostaje, empleando microorganismo como bioinoculantes (Zamora, 2018; Cosme & Molina, 2021).

Dentro del proceso de la germinación cabe destacar que el compostaje es de gran importancia ya que por medio de este las semillas tendrán buenos nutrientes y por ende un mejor crecimiento tanto de la radícula e hipocótilo. Por otro lado, emplear microorganismos promotores de crecimiento vegetal permite un crecimiento radicular mucho mejor, mayor disponibilidad de nutriente y porcentaje de germinación. Así, géneros como *Pseudomonas spp*, *Rhizobium spp*, *Bradyrhizobium spp*, *Azotobacter spp*, han mejorado el porcentaje de germinación, por otro lado, géneros como *Enterobacter spp*, *Klebsiella spp* y *Serratia spp*, han permitido mejorar la biomasa radicular y aérea (Ogata, Arellano, & Zúñiga, 2008; Hernández et al., 2015).

Por esta razón el objetivo del presente trabajo es Evaluar un bioinoculante obtenido a partir de microorganismos celulíticos aislados en un proceso de compostaje realizado en el colegio alemán de Cali.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1. Fabricación de las composteras**

La metodología del presente trabajo se realizaron según el orden de los objetivos específicos, empezando por la fabricación de la compostera en la cual se llevó a cabo todo el proceso, esta se realizó en las instalaciones del colegio Alemán de Cali (ubicación: Casa 31, Avenida Gualí), el tipo de compostera que se construyó fue cerrada para evitar la acumulación de lluvia, proteger el material de vientos fuertes, facilitar las labores de volteo, facilitar la extracción de lixiviado, controlar la invasión de vectores (ratones, aves), y evitar el acceso al material en descomposición por personal no autorizado y animales. La compostera cumple con las siguientes especificaciones (Roman, Martinez & Pantoja, 2018).

Se realizaron dos composteras unidas en ladrillo con aberturas laterales que permitieran la oxigenación y aireación del compost, en la parte superior de las cajas composteras se instaló una tapa de seguridad que al levantarse permitiera que se agregaran más residuos al compost y se pudieran realizar los volteos, para evitar el ingreso de roedores se instaló una malla de 1cmx1cm dentro de las composteras. Para evitar un encharcamiento se dejaron agujeros en la parte inferior que permitieran la salida de lixiviados, por último, para proteger el compostador de los rayos directos del sol y de la lluvia, se realizó un techo encima de los compostadores que los cubre a cabalidad (Rafael, 2015; Zamora, 2018).

### **2.2. Recolección y caracterización de residuos**

Los residuos utilizados para la obtención del compost fueron exclusivamente residuos generados en las instalaciones y abarcan residuos sólidos orgánicos húmedos como restos de frutas, verduras, cáscara de huevo y residuos de césped, también se añadieron materiales secos como el aserrín para garantizar que el proceso sea libre de lixiviados, no se añadieron residuos de comidas elaboradas como carnes, pasta o lácteos debido a que pueden generar malos olores y atraer moscas y roedores, tampoco se utilizó estiércol de animales de ningún tipo ya que estos pueden contener parásitos y ser biológicamente peligrosos para el manejo por parte de los estudiantes (Ayala & Cristancho, 2020).

### **2.3. Construcción de pilas**

En cada una de las pilas del compostaje se mantuvo la relación 3:1 en %Peso/Volumen respecto a la cantidad de residuos orgánicos y el material seco, por lo anterior, se añadieron 10 L de aserrín por cada 30 kg de residuos orgánicos, el aserrín se obtuvo del taller de carpintería del colegio y los residuos orgánicos de la cafetería central, comida didáctica y cestos de basura, estos residuos deberán ser tratados mediante un proceso de trituración para tener un tamaño de partícula de 1-3 cm Las pilas fueron monitoreadas durante 45 días, y se les realizó la caracterización microbiológica y fisicoquímica (Cosme & Molina, 2021).

## **2.4. Caracterización microbiológica y fisicoquímica del compostaje**

### **2.4.1. Aislamiento de microorganismos celulolíticos**

La caracterización de los microorganismos degradadores de celulosa en las diferentes fases del compostaje se realizó mediante el método de diluciones seriadas, en este se tomaron 10 g de muestra del compost homogeneizado y se diluyeron en 90 mL de agua estéril, a partir de esta solución madre se realizaron las diluciones desde 10<sup>-1</sup> hasta 10<sup>-5</sup>. De cada dilución se tomó una alícuota de 100µL y se realizó una siembra en superficie por duplicado en placas con agar Carboximetilcelulosa (CMC) al 1% compuesto por: carboximetilcelulosa 10 g/L, extracto de levadura 2,5 g/L, peptona universal 2,5 g/L, sulfato de amonio 0,5 g/L, cloruro de calcio 0,5 g/L, fosfato monobásico de potasio 0,1 g/L, fosfato dibásico de potasio 0,1 g/L y agar-agar 15 g/L con un pH: 7 +/-2, las cajas se incubaron a 35°C por 48 horas (bacterias) y 2 cajas a T° ambiente por una semana (hongos) (Vásquez, 2022).

Para evidenciar la actividad enzimática de las celulasas respecto a la degradación de la celulosa se realizó una revelación con la prueba del rojo Congo. Esta prueba consistió en cubrir la superficie de las placas anteriormente sembradas con el colorante rojo Congo al 1% (p/v) durante 15 minutos. Posteriormente, se realizó un lavado con una solución de cloruro de sodio (NaCl) al 1M, la cual fue descartada inmediatamente, y se dejó reposar por 15 minutos. Transcurrido este tiempo, las colonias que presentaron actividad celulolítica tuvieron un halo formado alrededor de la colonia. Para determinar la actividad celulolítica se midió en milímetros el diámetro de las colonias y de los halos formados alrededor. Estos valores fueron aplicados en la ecuación 1 (Vásquez, 2022).

#### **Ecuación 1.**

$$\text{Diametro de hidrolisis} = \text{Diametro de hidrolisis de la colinia} - \text{Diametro de la colonia}$$

Las colonias que presenten el mayor halo de hidrolisis de la celulosa fueron subcultivadas y purificadas mediante siembra por estría en placas con agar CMC al 1% hasta que se obtuvieron cultivos puros.

### **2.4.2. Caracterización de microorganismos celulolíticos**

#### **2.4.2.1. Caracterización morfológica**

Los aislados puros obtenidos anteriormente fueron caracterizados mediante técnicas básicas de microbiología. Se observaron características morfológicas macroscópicas, las cuales se basaron en la observación de la colonia (textura, bordes, color, elevación y forma). También se realizaron características morfológicas microscópicas, donde se llevó a cabo la tinción Gram para bacterias y la tinción con azul de lactofenol para los hongos. Estas tinciones permitieron definir en las bacterias su forma, agrupación, formación o no de quistes, motilidad y forma bacilar. En el caso de los hongos, se definió la presencia o ausencia de septos, pigmentos, fiálides, clamidosporas, ascas, conidios, esporangios, entre otros (Mendoza, 2020).

#### **2.4.2.2. Identificación Microbiológica**

Para llevar a cabo esta identificación se empleó la metodología de Vitek, en la cual se realizó el aislamiento del microorganismo, se evaluó su inocuidad mediante tinción de Gram, una vez

realizado esto se procedió a sembrar en agar TSA por 18 horas para posteriormente ser llevado al Vitek (De alegría, 2021).

### 2.4.3. Caracterización fisicoquímica del compostaje

#### 2.4.3.1. Parámetros pH, temperatura y humedad

La caracterización fisicoquímica del compost incluyo parámetros de pH, temperatura y humedad los cuales se realizaron diarios y a la misma hora, la temperatura y pH fueron registradas con el equipo LABQUEST 2 al cual se acoplan las sondas necesarias, la temperatura (°C) se tomó in situ colocando el sensor directamente en la pila en 5 puntos equidistantes, para el pH se pesaron 10 g del compost y se diluyeron en 50 mL de agua destilada, se dejó en reposo durante 5 min y se procedió a tomar la medida con la sonda. Para determinar la humedad se empleó un termohigrómetro de marca MOOST y se tomó la medida in situ (Andrade & Avellan, 2020).

#### 2.4.3.2. Determinación de carbono total y nitrógeno total

##### 2.4.3.2.1. Determinación del porcentaje de nitrógeno

Para determinar el nitrógeno se empleó el método Kjeldahl, que permite obtener el porcentaje de nitrógeno presente en una muestra mediante una titulación o llamada valoración, este análisis se realizó semanal para rastrear el porcentaje de nitrógeno presente en cada fase del compost.

- 1) Muestra: Se pesó 1.0 g de compost (secado previamente en estufa a 130°C por una hora) que preferiblemente se encuentre en polvillo de tamaño muy fino.
- 2) Reactivos para la digestión: a cada muestra en el tubo de digestión se le agregó: 1.5 g sulfato de potasio, 1 mg selenio en polvo, 2 mL ácido sulfúrico concentrado, 1 mL peróxido de hidrogeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) al 35%, 130 volúmenes y 2 perlas de vidrio para reducir la ebullición.
- 3) Digestión de la muestra: Se calentó por 30 minutos a 420° C.
- 4) Refrigeración y dilución: El tubo de digestión se dejó enfriar a 50 - 60° C y se agregaron 200 mL de agua libre de amoníaco.
- 5) Destilación: El tubo digestor se colocó en la unidad de destilación y se agregaron 50 mL de hidróxido de sodio al 35% dispensado en forma automática o semiautomática. Se destiló vapor hasta recoger 100 mL del destilado.
- 6) Titulación: Al frasco Erlenmeyer que recoge el vapor se agregaron 25 mL de solución ácido bórico al 4% una vez finalizada la digestión. Por último, se añadió solución indicadora (3 gotas de indicador mixto) y se titular con ácido clorhídrico 0.1 M.

Para calcular el % de nitrógeno en la muestra de compost se reemplazó la siguiente estequiometria, en la ecuación 2 fue necesario colocar la información de los mL de HCl que se consumieron en la titulación y el peso de la muestra de compost que se utilizó.

**Ecuación 2.**

$$\%N = \frac{HCl \text{ consumido (mL)} \cdot \frac{0.1 \text{ mol HCl}}{1000 \text{ mL}} \cdot \frac{1 \text{ mol H}_2\text{BO}_3}{1 \text{ mol HCl}} \cdot \frac{1 \text{ mol N}}{1 \text{ mol H}_2\text{BO}_3} \cdot \frac{14.0067 \text{ g N}}{1 \text{ mol N}}}{100\% \cdot \text{Peso de la muestra (g)}}$$

#### 2.4.3.2.2. Determinación de porcentaje de carbono

Para realizar la determinación de carbono, se empleó la calcinación como metodología, el primer paso fue pesar 5 gramos de muestra, la cual se depositaron en crioviales por 24 horas a una temperatura de 105°C por 24 horas, con el fin de eliminar la humedad presente, una vez realizado este procedimiento se empleó el desecador hasta que se enfrió y se registró el peso, una vez tomado el peso, se depositó en la mufla de calcinación a una temperatura de 400 °C durante dos horas, se dejó enfriar y se registró el peso , para determinar la concentración de materia orgánica se utilizó la ecuación 3 en la que se remplazaron los pesos en las temperaturas mencionadas y para determinar la cantidad de carbono se empleó la ecuación 4 (Bautista & Hernández, 2021).

**Ecuación 3.**

$$\%MOS = \frac{\text{peso a } 105^{\circ}C - \text{peso a } 360^{\circ}C}{\text{peso a } 105^{\circ}C} \cdot 100$$

**Ecuación 4.**

$$\%C = \frac{\%MOS}{1.724}$$

#### Obtención del bioinoculante

Una vez realizada la selección e identificación de la cepa que mayor actividad celulolítica posee, se procedió a realizar la obtención del bioinoculante. A esta cepa se le evaluó si presentaba capacidad para fijar nitrógeno y solubilizar fósforo.

#### 2.5.1. Reactivación de las cepas

Para empezar, se realizó la reactivación de la cepa, la cual se encontraba conservada en glicerol a -20°C. Fue subcultivada en agar CMC al 1% e incubada según fuera hongo o bacteria a su temperatura óptima de crecimiento durante 24 a 72 horas. También fue repicada en un tubo de ensayo con 5 mL de caldo CMC al 1% e incubada en las condiciones anteriormente mencionadas.

#### 2.5.2. Fijadores de nitrógeno

Para evaluar si el microorganismo era fijador de nitrógeno, se determinó mediante una siembra por agotamiento en cajas de Petri con agar ashby cuya composición fue sacarosa: 5g por litro, glucosa, 5g por litro, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>: 0.2g por litro, MgSO<sub>4</sub>: 0.2g por litro, NaCl 0.2g por litro, CaSO<sub>4</sub> 0.2g por litro, CaCO<sub>3</sub> 5g por litro, agar: 15g por litro y un pH de 5.8 En este se verificó el crecimiento del microorganismo (García & Felix, 2020).

#### 2.5.3. Solubilizadores de fósforo

Si el microorganismo fue solubilizador de fósforo, se determinó realizando una siembra directa en agar Pikovskaya. Se incubó a 30°C durante 2 días, y una vez pasado este tiempo, se realizó

el recuento de colonias que presentaron zonas de aclaramiento y acidificación a su alrededor (Sánchez, 2021).

### 2.5.5. Formulación del bioinoculante

El microorganismo que presentó el mayor halo de hidrólisis de la celulosa conformó el bioinoculante y se estandarizó a una concentración de  $10^8$  UFC/mL con ayuda de la escala MC Farland. Para la formulación del bioinoculante se añadió el microorganismo celulolítico seleccionado en un litro de agua estéril suplementada con CMC al 1%. Este se incubó a temperatura ambiente con agitación constante durante 24 horas (Cueva, 2022).

### 2.6. Determinar la capacidad degradadora del bioinoculante

Para evaluar la capacidad degradadora del bioinoculante se emplearon 2 composteras con medidas de 80cm\*80cm\* 80cm, en esta se añadieron residuos sólidos orgánicos como vegetales y frutas en una relación 1:3 respecto a la materia orgánica seca, el inoculante a usar tuvo una concentración de  $10^8$  UFC/mL, y se aplicaron 100mL del inoculante por cada 10 kg de material a compostar, el inoculante se distribuyó uniformemente removiendo toda la superficie del compost (Vásquez, 2022).

Los tratamientos para realizar la evaluación del consorcio microbiano en el proceso de compostaje de residuos sólidos orgánicos se realizaron según la Tabla 1.

**Tabla 1.**

*Tratamientos para evaluación del inoculante microbiano.*

| Tratamiento  | Composición  | Inoculo   |
|--------------|--|---|
| T1           | Residuos sólidos orgánicos como vegetales y frutas en una relación 3:1 respecto a material seco. | Sin inocular                                    |
| T2-Replica 1 | Residuos sólidos orgánicos como vegetales y frutas en una relación 3:1 respecto a material seco. | Bioinoculante con microorganismos celulolíticos |
| T2-Replica 2 | Residuos sólidos orgánicos como vegetales y frutas en una relación 3:1 respecto a material seco. | Bioinoculante con microorganismos celulolíticos |
| T2-Replica 3 | Residuos sólidos orgánicos como vegetales y frutas en una relación 3:1 respecto a material seco. | Bioinoculante con microorganismos celulolíticos |

### 2.7. Determinación de *Salmonella spp.* y *E.coli* en compost con bioinoculante

#### 2.7.1. Determinación de *Salmonella spp.* en compost con bioinoculante

##### 2.7.1.1. Enriquecimiento no selectivo

Se evidencio la ausencia o presencia de *Salmonella* se pesaron 25 g de compostaje ya madurado y se añadieron a un Erlenmeyer que contuvo 225mL de agua peptonada, se dejó en reposo durante 10 minutos (Escalante, 2023).

#### **2.7.1.2. Enriquecimiento selectivo**

Una se realizó la incubación se tomaron 3 tubos de ensayos que contuvieron Caldo rappaport a estos se le añadieron 1mL de la muestra incubada y se dejó incubar durante 24 horas a 37C° (Escalante, 2023).

#### **2.7.1.3. Aislamiento**

Para el aislamiento se tomaron 3 cajas de Petri que contuvieron agar Hektoen dicha siembra se realizó por agotamiento, y se dejará incubar a 37C° durante 24 horas. (López et al., 2021).

#### **2.7.1.4. Lectura**

En el agar Hektoen las colonias de color rojo con el centro negro son debido a la producción de H<sub>2</sub>S indicando positivo para *Salmonella* (Camargo, 2015). Los resultados se reportaron de la siguiente manera Ausencia o Presencia de *Salmonella* / 25 g de compostaje.

### **2.7.2. Determinación de enterobacterias en compost con bioinoculante**

#### **2.7.2.1. Preparación de diluciones**

Los recuentos de enterobacterias se tomaron 10 gramos de muestras que fueron añadidas a 90 mL de agua peptonada. Se homogeneizó durante un minuto y luego se dejó reposar durante 15 minutos para obtener la dilución 10<sup>-1</sup>. Para realizar las siguientes diluciones se tomaron 5 tubos de ensayo, cada uno conteniendo 9 mL de agua peptonada. Se tomó 1 mL de la dilución 10<sup>-1</sup> y se añadió a uno de los tubos de ensayo, obteniendo así la dilución 10<sup>-2</sup>. De la misma manera, se tomaron alícuotas de 1 mL de la dilución 10<sup>-2</sup> y se añadieron a un tubo de ensayo con 9 mL de agua peptonada, resultando en la dilución 10<sup>-3</sup>. Este proceso se repitió hasta llegar a la dilución 10<sup>-6</sup> (Rivas & Giraldo, 2021).

#### **2.7.2.2. Siembra de *E. coli***

Para las siembras se empleó agar EMB, mediante una siembra de superficie donde se sembraron las diluciones 10<sup>-5</sup> y 10<sup>-4</sup> por duplicado. Se tomó 1 mL de cada dilución y se añadió a una caja con agar EMB. Posteriormente, las placas fueron incubadas durante 48 horas a una temperatura de 35°C. Además, se realizó una placa que no contenía muestra, denominada control negativo (Rivas & Giraldo, 2021).

#### **2.7.2.3. Reporte de *E. coli***

Una vez pasado el tiempo de incubación se procedió a realizar el conteo de las colonias. Se seleccionaron placas que contenían entre 30-300 colonias de color violeta con un precipitado rojo-violeta. El resultado se reportó como 30-300 UFC/10g de compostaje (Rivas & Giraldo, 2021).

## 2.8. Efecto del compost en la germinación de semilla de rábano (*Raphanus sativus*) y lechuga (*Lactuca sativa* L.)

Determinar que el compost no genere alteraciones en la disponibilidad de nutrientes para las plantas es de suma importancia; la presencia de amonio, sales o metales pesados pueden afectar el proceso de germinación de las semillas, y al ser la germinación un punto clave en el ciclo de vida de la planta se debe garantizar que el compost no afectará los procesos fisiológicos de la misma. Por lo anterior se determinó la influencia del compost obtenido en las semillas de lechuga (*Lactuca sativa*) y rábano (*Raphanus sativus*), debido a que estas semillas presentan una alta sensibilidad a los compuestos fitotóxicos en el compost y sirven como bioindicador en bioensayos de germinación (Urriola, Castillo & Vergara, 2021).

### 2.8.1. Obtención de semillas

Las semillas de lechuga (*Lactuca sativa*) y rábano (*Raphanus sativus*) se obtuvieron de la marca comercial ANASAC la cual presenta una alta comercialización de semillas.

### 2.8.2. Tratamiento a evaluar

Para el desarrollo del análisis se realizó una comparación entre un abono comercial que esté aprobado para uso como fertilizante y el compost con microorganismos celulolíticos obtenido en el colegio alemán de Cali, además, de un control solo con agua destilada. El análisis se realizó *in vitro* y se obtuvieron extractos de los abonos a partir de una relación 1:10 entre el abono y agua destilada. En la Tabla 2 se encuentran los tratamientos evaluados y su composición en g/mL.

**Tabla 2**

*Tratamientos para la germinación de lechuga (*Lactuca sativa*) y rábano (*Raphanus sativus*).*

| Tratamiento | Composición  | Descripción   |
|-------------|--|---|
| Control     | Agua destilada   | 4 mL de agua destilada.                               |
| T1          | Abono comercial  | 10 g de abono comercial en 100 mL de agua destilada.  |
| T2          | Compost con inoculante (microorganismos celulolíticos) | 10 g de compost obtenido en 100 mL de agua destilada. |

### 2.8.3. Tratamiento de la semilla

Para evitar la proliferación de microorganismos en los análisis *in vitro* las semillas de lechuga (*Lactuca sativa*) y rábano (*Raphanus sativus*) se trataron con una solución de hipoclorito de sodio al 20% durante 20 minutos, posteriormente, se realizaron 5 lavados con agua destilada (Taladrid & Espinosa, 2021).

### 2.8.3. Parámetros a evaluar

Para observar el efecto de compost con microorganismos celulolíticos en el proceso de germinación de lechuga (*Lactuca sativa*) y rábano (*Raphanus sativus*) se tomaron medidas de la elongación de la raíz durante 3 días y se determinó el porcentaje de germinación. El ensayo se realizó colocando 5 semillas en papel filtro en una caja de Petri, posteriormente se agregaron 4 mL de los extractos realizados, se colocó un control en el cual se utilizó solamente agua destilada, el ensayo se realizó a una temperatura de 25°C y a partir de 24 hora se observaron y registraron aquellas semillas que presenten ruptura de la cubierta seminal, estas se contabilizaron como indicador positivo de geminación, al tercer día a las semillas germinadas se les midió la longitud del hipocótilo y la raíz (Urriola, Castillo & Vergara, 2021). Para calcular el porcentaje de germinación relativo (PGR) se utilizó la siguiente ecuación:

**Ecuación 6.** 
$$PGR = \frac{\# \text{ de semillas ger. en el extracto}}{\# \text{ de semilla ger. en el control}} \times 100$$

## 2.9. Análisis estadístico

Para los análisis de temperatura, pH y humedad, se realizó un análisis estadístico descriptivo donde se calculó la medida de tendencia media de las tres réplicas del compostaje con bioinoculante, se observó el comportamiento por medio de gráficos lineales teniendo en cuenta cada medida respecto al tiempo. Para poder comprender el comportamiento de cada una de las variables de medida de hipocótilo y radícula de las semillas, se realizaron estadísticas descriptivas de cada una, como a medidas de tendencia central (media y mediana) y de dispersión (varianza, desviación estándar, mínimos y máximos).

Con el fin de identificar diferencias estadísticas entre los grupos (un grupo está conformado por la combinación entre las categorías de semilla, abono y variable), se realizó inicialmente el test de normalidad para cada uno, usando de la prueba de Shapiro Wilk rechazando la normalidad, para los respectivo p valores menores de 0,05. Una vez identificado este supuesto de normalidad se procedió a realizar la prueba de comparación de medias, como se formaron más de dos grupos se usó el ANOVA para los casos de grupos con distribución normal, validando los respectivos supuestos de los residuos. La homocedasticidad se probó con la prueba de Levene, la independencia de los residuos de manera gráfico con los Plot de residuos vs tiempo y la normalidad con la prueba Shapiro Wilk. Para los casos donde los grupos no tuvieron una distribución normal, se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis por medio de la cual se hizo comparación de medianas. Una vez identificadas las diferencias, se procedió a realizar las respectivas pruebas post ANOVA por medio de la prueba de Bonferroni la cual permitió identificar los pares de grupos que presentaban las diferencias significativas.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Fabricación de las composteras

La fabricación de las composteras se llevó a cabo en el colegio alemán de Cali con el apoyo del personal administrativo y de mantenimiento, estas se construyeron en la parte de atrás del colegio debido a que colinda con la UAR (unidad de almacenamiento de residuos) en donde son recolectados y almacenados los residuos orgánicos los cuales son la materia prima

necesaria para realizar el proceso de compostaje. Al construirse las composteras con las condiciones mencionadas en el ítem 2.1 de la metodología, se obtuvo un espacio de fácil acceso que permite la adición de residuos, tomar condiciones fisicoquímicas y la extracción de muestras para la caracterización microbiológica, en la Figura 1 observan las composteras.

**Figura 1.**

*Composteras fabricadas en el colegio alemán de Cali. 1A. Techo para protección de lluvias y rayos directos del sol. 1B. Aberturas para oxigenación y aireación. 1C. Salida de lixiviados.*



**3.2. Recolección y caracterización de residuos**

Para la prueba piloto del proceso de compostaje sin inoculante microbiano se realizó una caracterización de los residuos orgánicos generados en el colegio alemán de Cali durante una semana, estos se separaron según el tipo de residuos y se tomó su peso en kilogramos como se observa en la Tabla 3, esta caracterización también se hizo para estandarizar los residuos orgánicos que se usaron en las pruebas de compostaje con el inoculante microbiano permitiendo minimizar las variables entre las pruebas.

**Tabla 3.***Caracterización de residuos orgánicos.*

| Tipo de residuo          | Cantidad (Kg) |
|--------------------------|---------------|
| Cáscara papa negra       | 4,52          |
| Cáscara plátano          | 13,81         |
| Lechuga                  | 1,79          |
| Cáscara de pepino        | 1,49          |
| Cebolla                  | 0,14          |
| Cáscara de mango biche   | 4,27          |
| Cáscara de maracuyá      | 0,29          |
| Cáscara de sandía        | 1,80          |
| Cáscara de papa amarilla | 0,13          |
| Coliflor                 | 0,30          |
| Cáscara de piña          | 3,48          |
| Manzana                  | 0,07          |
| Total                    | 32,09         |

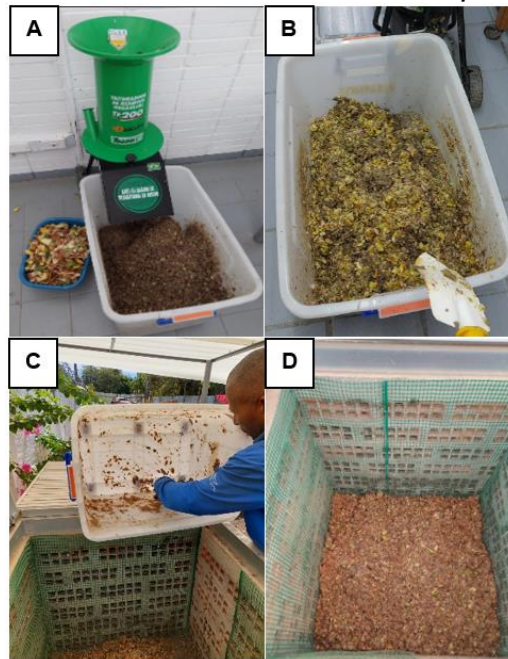
De los 32,09 Kg de residuos orgánicos caracterizados el 43,05% son cáscara de plátano que se caracteriza por tener un 46,05% de celulosa en su estructura. Seguido, en la caracterización se encontró el grupo de las frutas (mango, maracuyá, sandía, piña, manzana) con un porcentaje de 30,88%, presentando valores entre 11,90% a 23,90% de celulosa en su composición. Del grupo de tubérculos (papa negra y papa amarilla) se obtuvo un porcentaje de 14,51% con presencia en su estructura de 3,16% de celulosa, por último, el menor porcentaje es de las hortalizas (lechuga, pepino, cebolla, coliflor) con un porcentaje de 11,55% del total de residuos caracterizados. Cabe mencionar que todos los residuos sólidos orgánicos poseen celulosa en su estructura, debido a que cumple la función de sostén en la pared de las células vegetales, sin embargo, se encuentra en porcentajes variables (Jiménez et al., 2019; Chaparro et al., 2020). En la caracterización de residuos se observa que hay una gran cantidad de residuos de cáscara de plátano siendo este el que mayor porcentaje presenta dentro de todos los residuos caracterizados, este mismo resultado se obtuvo en la investigación realizada por Cosme & Molina (2021), quienes caracterizaron los residuos orgánicos producidos en las cafeterías de la universidad Santiago de Cali y obtuvieron una cantidad de 8,10 Kg de residuos, esta información corrobora y resalta el poder usar microorganismo celulolíticos que ayuden a reducir el tiempo de degradación de alimentos que son ricos en celulosa (Sánchez & Heredia, 2022).

### 3.3. Construcción de pilas

Tras la caracterización y pesado de los residuos orgánicos se construyeron las pilas de compost tanto la prueba piloto sin inóculo microbiano como las 3 réplicas con el inóculo microbiano, para ello se trituraron los residuos orgánicos con ayuda de un triturador de residuos que disminuyó el tamaño de partícula obteniéndose un tamaño de 0,5-1 cm, después del triturado se realizó la mezcla con el material seco (aserrín) en una proporción de 3:1 % de peso/volumen, 10,69 L de aserrín para los 32 Kg. Para la construcción de la pila, se adicionó la mezcla de residuos orgánicos y aserrín en la compostera realizada en el colegio alemán de Cali como se observa en la Figura 2.

## Figura 2.

Construcción pila de compostaje. **2A.** Trituración de los residuos orgánicos. **2B.** Mezcla de los residuos orgánicos con el aserrín. **2C-2D.** Construcción de la pila de compost.



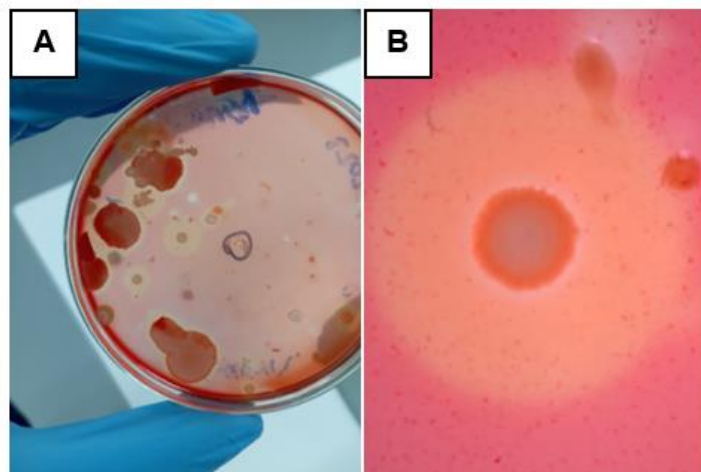
### 3.4. Caracterización microbiológica y fisicoquímica del compostaje

#### 3.4.1. Aislamiento de microorganismos celulolíticos

La caracterización de los microorganismos degradadores de celulosa en las diferentes fases del compostaje se realizó mediante el método de diluciones seriadas y por revelación de halos de hidrolisis, para evidenciar la actividad enzimática de las celulasas respecto a la degradación de la celulosa se realizó una revelación con la prueba del rojo Congo, las colonias con actividad celulolítica presentaron formación de halos de hidrolisis, esta formación de halos se da debido a la degradación de celulosa por parte las celulasas que genera la bacteria, por esta razón, el rojo Congo ya no se adhiere a la molécula y se da la presencia estos halos. (Figura 3) (Silva & Díaz, 2016; Alvarado et al, 2020).

### Figura 3.

Revelación de halos celulolíticos mediante rojo Congo. **3A.** Foto con cámara. **3B.** Foto con el estereoscopio.



## 3.4.2. Caracterización de microorganismos celulolíticos

### 3.4.2.1. Caracterización morfológica

Una vez realizada selección de los microorganismos celulíticos a través de los halos se procedió a aislarlos, y a describir las características morfológicas de su colonia como se observa en la Tabla 5, en total se obtuvieron 12 colonias, de esta las que presentaron mayor actividad celulolítica fueron la C1, C4, C7 y C11.

### 3.4.2.2. Identificación microbiológica

Una vez realizado esta caracterización morfológica se procede a realizar la identificación, por ViteK 2, este arrojó que la colonia de C4 con mayor capacidad celulolítica es *Enterobacter cloacae complex*, arrojando así un resultado con 97% de similitud.

### 3.4.2.3. Mecanismo celulolítico

Se ha evidenciado que las bacterias del género *Enterobacter* tienen presencia en el compostaje, este género es capaz de degradar glucosa, además, de presentar actividad celulolítica. Esto es importante debido a que la celulosa es un polisacárido compuesto por moléculas de D-glucosa unidas por un enlace glucosídico  $\beta$  1-4, este polisacárido se encuentra ubicado en la pared celular de las células vegetales, es una molécula compleja dado su estabilidad y rigidez, por esta razón las bacterias celulolíticas, emplean un complejo de enzimas, denominadas celulasas, con el fin de poder degradar la celulosa de manera efectiva, se emplean 3 tipos de enzimas, las cuales son endoglucanasas, exoglucanasa y glicosidasas (Gutiérrez et al., 2015).

### Endoglucanasas

Las endoglucanasas o también 1,4- $\beta$ -D-glucano-4-glucanohidrolasas, son las encargadas de realizar cortes en el medio de la cadena de polisacáridos que conforma la celulosa, esto de

manera aleatoria, ocasionando que el polisacárido genere pequeñas cadenas de oligosacárido, dado a los cortes aleatorios (Málaga & Cabrera, 2014).

### Exoglucanasas

Las exoglucanasas en las cuales se incluyen dos enzimas denominadas, 1,4-β-D-glucano-glucanohidrolasas y 1,4-β-D-glucano-celobiohidrolasas, generan cortes en los extremos de las cadenas de la celulosa, liberando así moléculas de glucosas o celobiosa (Montoya, Sánchez, & Levin, 2014).

### β-glucosidasas

Tiene como función liberar glucosa del disacárido de celobiosa, el cual está constituido por 2 moléculas de glucosa, los cuales están unidos por el carbono 1 de la molécula de glucosa y del carbono 4 de la otra molécula de glucosa (Díaz Muñoz et al., 2023).

**Tabla 5.**

*Características macroscópicas de las colonias bacterianas*

| Colonia   | Morfología   | Diámetro de hidrólisis |
|-----------|--|------------------------|
| C1        | Convexa, Blanca, circular, lisa, bordes enteros.             | 0,05 cm                |
| C2        | Irregular, Blanca, Plana, bordes ondulados                   | No se evidenció        |
| C3        | Irregular, Blanca opaca, Plana, Borde filamentoso            | No se evidenció        |
| <b>C4</b> | <b>Plana, Amarilla opaca, puntiforme, bordes enteros.</b>    | <b>0,1 cm</b>          |
| C5        | Blanca, borde entero, colonia Circular, Cóncava.             | No se evidenció        |
| C6        | Plana, Opaca blanca, borde ondular, superficie suave.        | No se evidenció        |
| C7        | Amarilla opaca, borde rizoide, plana, superficie suave.      | 0,03 cm                |
| C8        | Plana, blanca opaca, áspera, borde irregular.                | No se evidenció        |
| C9        | Naranja, brillante, borde entero, cóncava, superficie suave. | No se evidenció        |
| C10       | Blanca opaca, cóncava, borde entero, superficie suave.       | No se evidenció        |
| C11       | Blanca, plana, superficie áspera, borde lobulado,            | 0,08 cm                |
| C12       | Blanca claras, superficie lisa, borde lobulado,              | No se evidenció        |

### 3.4.3. Caracterización fisicoquímica del compostaje

#### 3.4.3.1. Parámetros pH, temperatura y humedad

A continuación, se comparan los resultados de cada uno de los parámetros respecto al control y el promedio de las réplicas realizadas.

#### Temperatura

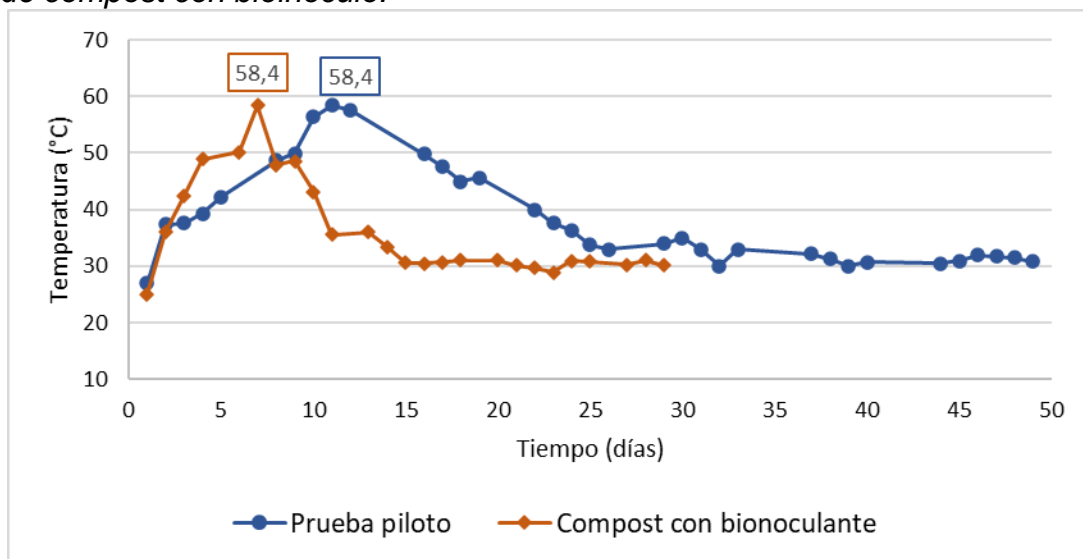
En la Figura 4 se aprecia el comportamiento que tuvo temperatura en función del tiempo durante el proceso de compostaje, la temperatura fue uno de los parámetros más importantes, ya que, se relaciona con la actividad bioquímica de los microorganismos y nos permite diferenciar las etapas del compostaje (Castro, 2022).

Al medir la temperatura diariamente durante todo el proceso se lograron distinguir las diferentes fases de compostaje empezando por un periodo de latencia denominado fase mesófila: en esta

fase el compost parte de la temperatura ambiente y aumenta rápidamente hasta los 40°C, los microorganismos mesófilos utilizan las fuentes sencillas de carbono y nitrógeno generando calor; seguido, se observa un incremento rápido de temperatura en los primeros días superando los 45°C esta es la fase termófila, aquí se produce un proceso de higienización de la materia orgánica, donde se garantiza la destrucción de patógenos presentes. Finalizando, hay un descenso gradual de la temperatura que indica la fase de enfriamiento del compost hasta que logra estabilizarse a la temperatura ambiente en la fase de maduración: etapa en la cual se llevan a cabo reacciones secundarias de condensación y polimerización para el enriquecimiento del compost con ácidos húmicos y fúlvicos, y al finalizar se obtiene un abono rico en nutrientes el cual puede emplearse para actividades agrónomas (Tortarolo, 2018; Mishquero, 2021; SENA, 2022).

#### Figura 4.

Comparación de temperatura entre prueba piloto (compost sin bioinóculo) y promedio de réplicas de compost con bioinóculo.



Se observó que la temperatura máxima alcanzada para ambos tratamientos fue de 58,4°C, valor que se encuentra en concordancia con los reportados en la literatura para la fase termófila, en la investigación realizada por Cosme & Molina (2021) en la que usaron microorganismos eficientes obtuvieron temperaturas por encima de los 50°C en la fase termófila es este estudio resaltan que la temperatura se encuentra relacionada con la calidad, eficiencia y grado de estabilización del compost. En cuanto al tiempo, la temperatura máxima de ambos tratamientos se logra en distintos días, para el caso de la prueba piloto fue en el día 11 y en el compost con bioinoculante en el día 7, por lo que se aprecia una disminución de 4 días para alcanzar la fase termófila del compostaje; la disminución del tiempo también es notoria en la fase de maduración del compost, para la prueba la prueba piloto esta fase empieza en el día 24 y finaliza en el día 49, mientras que en el compost con bioinoculante inicia en el día 15 y finaliza en el día 29.

Estos resultados indican que el microorganismo inoculado disminuye el tiempo del compostaje por la presencia de actividad enzimática microbiana que permite una rápida descomposición de los residuos orgánicos, al comparar este resultado con la literatura, se encuentra que Carrillo &

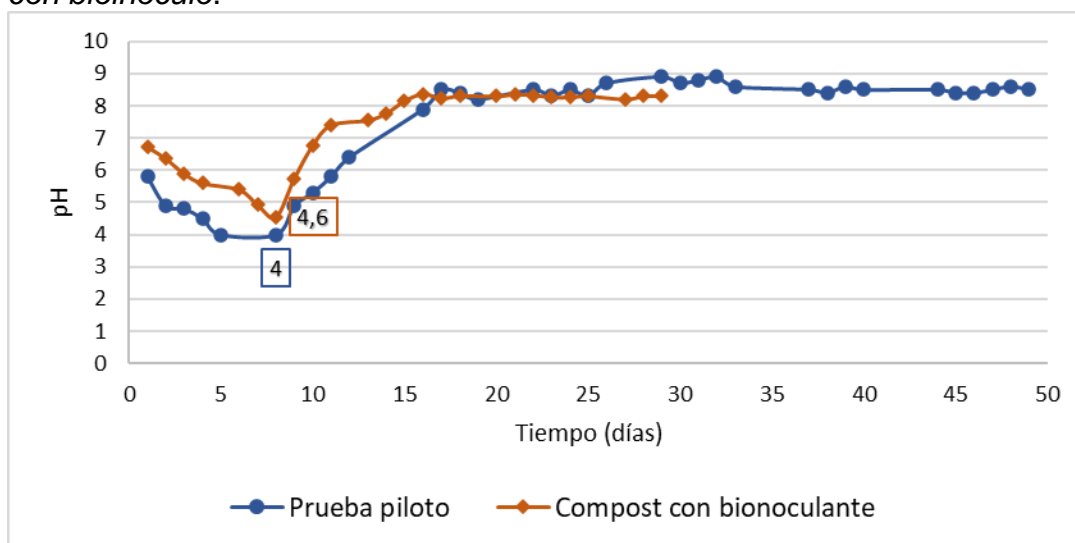
Paoli en el 2024 y Molina & Oviedo, 2019, evaluaron el tiempo de degradación de residuos orgánicos aplicando un consorcio de microorganismos celulolíticos obteniendo que al usar inóculos microbianos se acelera el proceso de descomposición de los residuos debido a un mayor consumo de nutrientes para formar un complejo enzima sustrato, así mismo, se generan más cantidad de enzimas que aceleren la reacción (Jara et al.2016; Gallardo, 2021).

## pH

En la Figura 5 se aprecia el comportamiento del pH en función del tiempo durante el proceso de compostaje, el pH es una medida de acidez o basicidad del compost que influye sobre la actividad microbiana.

### Figura 5.

*Comparación de pH entre prueba piloto (compost sin bioinóculo) y promedio de réplicas de compost con bioinóculo.*



El pH en la prueba piloto y el compost con bioinoculante presentan un comportamiento similar lográndose apreciar cuatro fases: 1) Se parte de un pH neutro en un rango entre 6-7 (+/- 0,2) 2). Se presenta una disminución del pH hasta 4-4,6 (+/- 0,2) debido a la acción de los microorganismos sobre la degradación de monosacáridos y lípidos presentes en los residuos orgánicos que son fácilmente degradables, dando lugar a la formación de ácidos orgánicos y consecuentemente a la disminución del pH, 3) En la tercera fase se da una alcalinización del medio entre un pH de 8,3-8,9 (+/- 0,2) debido a la degradación de proteínas y liberación de amoníaco generando un aumento de pH, en la última fase 4) después de que se han consumido las fuentes de carbono fácilmente asimilables se da la degradación de los compuestos más resistentes como la celulosa, la hemicelulosa y lignina, es este punto se observa la estabilización del pH y se obtiene como producto final un humus rico en nutrientes. En nuestro estudio se observan cada una de las fases mencionadas y siguen la curva típica del pH del compostaje (Bárbaro et al., 2019; Rincón, 2021).

El valor final del pH fue de 8,5 para el compost de la prueba piloto y 8,3 para el compost con bioinoculante, estos valores se encuentran dentro de los valores mencionado por Chaves et al., (2019) y Delgado et al. (2019), en donde se establecen rangos de pH entre 6,5–8,5 para ser

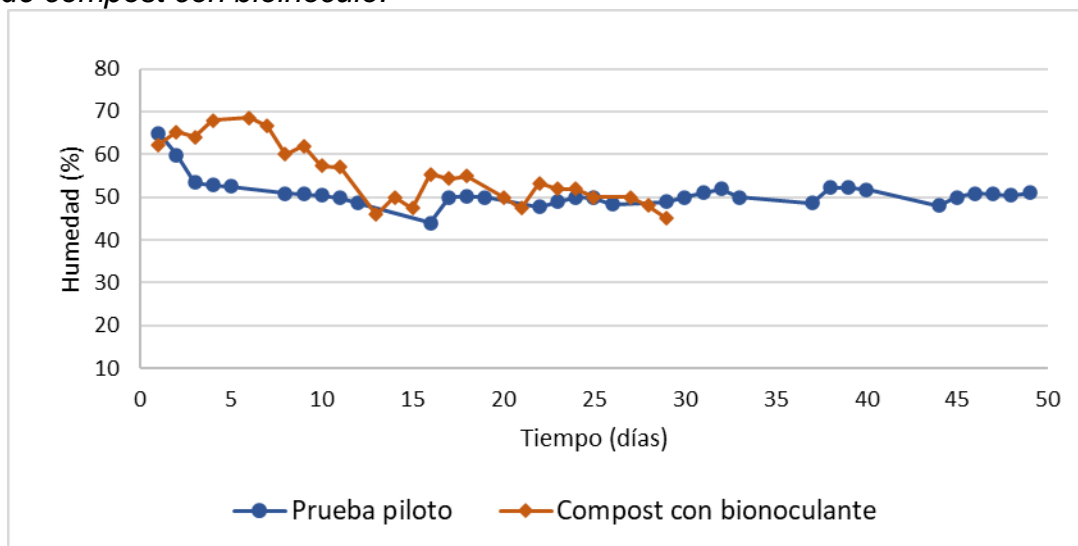
considerado un compost de buena calidad, en esta investigación se menciona que si el pH se encuentra en un valor menor a 6,5 significa que aún hay liberación de ácidos orgánicos por lo que no es un compost maduro para usar y si por el contrario presenta un valor excesivo de pH hay pérdida de amoníaco.

## Humedad

En la Figura 6 se aprecia el comportamiento del % de humedad en función del tiempo durante el proceso de compostaje, la presencia de agua es de gran importancia, debido a que es el medio de transporte de los nutrientes que son asimilados por los microorganismos (Molina & Oviedo, 2019).

### Figura 6.

*Comparación del % de humedad entre prueba piloto (compost sin bioinóculo) y promedio de réplicas de compost con bioinóculo.*



El % de humedad se registró desde el armado de las pilas de compost hasta la obtención del humus, la humedad inicial fue de 65% para la prueba piloto y 62% del compost sin bioinoculante, en los días posteriores se registró un aumento de humedad para el compost con bioinoculante alcanzando una humedad máxima del 69% en el día 6, por el contrario, la humedad en la prueba piloto en los primeros días dio a la baja hasta el 44%, esta diferencia se encuentra asociada a dos principales factores que son el agua que contiene el bioinoculante y la humedad ambiental, al haber presencia de lluvias o temporada fría la humedad del compost suele aumentar (Vizcarra & Eliseo, 2021).

La humedad en ambos tratamientos después de los 10 días permanece en un rango entre 40-60%, rango óptimo en el que debe permanecer el compost y es mencionado por Álvarez, Llerena & Reyes, 2021 y Dueñas & Jara, 2020, donde mencionan que una humedad superior al 60% es indicativo que no hay suficiente aireación lo cual genera encharcamiento y a su vez poca presencia de oxígeno lo que conlleva a condiciones de anaerobiosis y lavado de nutrientes por lixiviación, por el contrario, si los valores de humedad son inferiores al 30% la actividad biológica disminuye por la poca disponibilidad de agua para sus procesos metabólicos.

### **3.4.3.2. Determinación de carbono y nitrógeno totales**

#### **3.4.3.2.1. Determinación del porcentaje de nitrógeno**

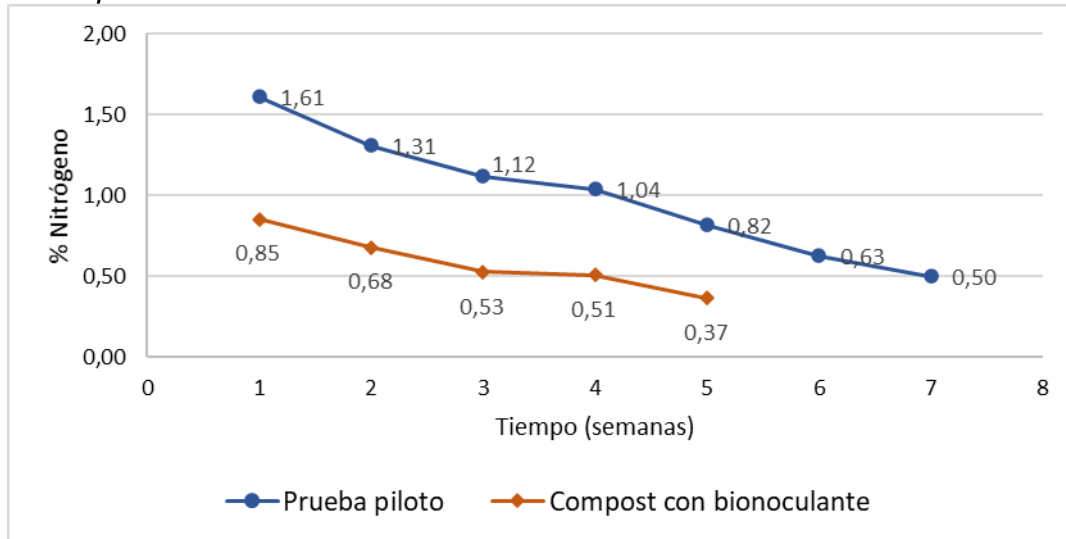
El nitrógeno es el elemento por el que se valora la calidad de un abono orgánico, si se presenta en altas concentraciones en un abono se considera no apto para su uso, ya que genera un daño ambiental por pérdida de amoníaco mediante volatilización y de nitrato por lixiviación ocasionando afectaciones en suelos y agua tras las cosechas, además, se pueden crear emisiones de óxido nitroso afectando la calidad del aire, ahora bien, una concentración óptima de nitrógeno permite formar aminoácidos que dan la síntesis de hormonas, clorofila y proteínas que son fundamentales en el buen desarrollo de las plantas (Figuroa et al., 2018; Melendrez & Sánchez; 2019; Huamán, 2019).

Como se observa en la Figura 7 se realizó seguimiento al % de nitrógeno semanalmente partiendo de una concentración de 1,61% en la prueba piloto y de 0,85% en el compost con bioinoculante, esta diferencia inicial en concentración entre los tratamientos se debe a que el nitrógeno es fundamental en el crecimiento de microorganismos y al realizar una bioaumentación de microorganismos degradadores añadiendo el binóculo al compost estos consumen el contenido de nitrógeno en mayor cantidad (Orihuela & Camacho, 2019).

Al transcurrir el tiempo se evidencia como el % de nitrógeno disminuye en ambos tratamientos llegando a valores de 0,50% en la prueba piloto y 0,37% en el compost con bioinoculante, esta disminución del nitrógeno en el tiempo se da por factores tales como la formación de proteínas, aminoácidos entre otros que posteriormente son convertidos en nitrógeno amoniacal que es liberado al aire como amoníaco y la reducción por inmovilización del nitrógeno por microorganismos (Montalvo et al., 2018). El nitrógeno total en ambos tratamientos al final del proceso de compostaje está en el rango planteados por Beltran et al., 2020, quienes en su investigación evaluaron el contenido inorgánico de nitrógeno en abonos de origen natural y consideraron un compost de buena calidad aquellos que tuvieran un contenido entre el 0,3%-1,5% de nitrógeno, por el contrario, aquellos abonos que presentan un alto contenido de nitrógeno (superior al 2%) deberán sufrir una nitrificación para que puedan ser absorbido por las plantas. Por lo anterior, el compost que se obtuvo en nuestra investigación es considerado de buena calidad y al incorporarse al suelo mejorará sus propiedades e influirá positivamente en el desarrollo de cultivos (Enriquez, 2021).

### Figura 7.

Comparación del % de nitrógeno entre prueba piloto (compost sin bioinóculo) y promedio de réplicas de compost con bioinóculo.



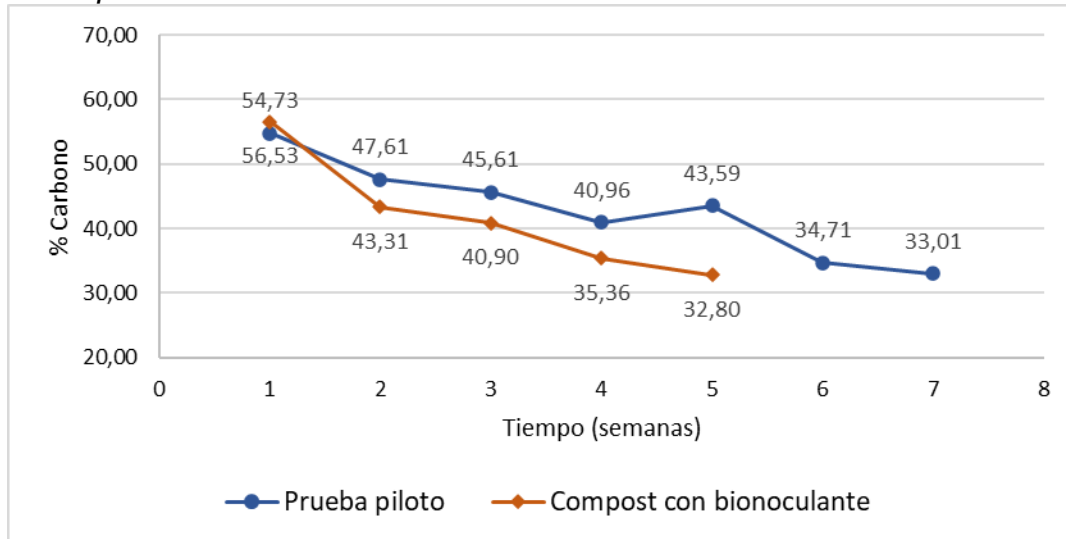
### 3.4.3.2.2. Determinación del porcentaje de carbono

El proceso de compostaje es una descomposición de la materia orgánica a través de distintas reacciones bioquímicas de los microorganismos presentes, las fuentes de carbono sencillas como azúcares son usados por la microbiota como fuente de energía para su metabolismo liberando dióxido de carbono al ambiente como residuo, cuando se agotan estas fuentes se da la generación de exoenzimas que permiten la degradación de compuestos complejos como la celulosa y la lignina transformándolas en moléculas solubles que son posteriormente absorbidas (Colín et al., 2019; Mora, Silva & Escobar, 2019; Delgado et al., 2020).

La medición del % de carbono en ambos tratamientos se hizo semanalmente con el fin de verificar que el proceso de compost se llevara en óptimas condiciones y se evidenciara degradación de la materia orgánica, en la Figura 8 se observan concentraciones iniciales del % de carbono del 54,7% en la prueba piloto y 56,5% en el compost con bioinoculante, estos valores son muy similares debido a que las pilas de compost de ambos tratamientos se construyeron con la misma cantidad y tipo de residuos orgánicos, sin embargo, pasado una semana se logra apreciar como el % de carbono aunque disminuye en ambos tratamientos para el compost con bioinoculante se reduce en mayor proporción llegando a un % de carbono de 32,8% en la semana 5, mientras que, en la prueba piloto llega a un valor aproximado de 33,0% pero en la semana 7. Esta diferencia se debe a que al añadir microorganismos y generar una bioaumentación es necesario un mayor consumo de carbono para las reacciones metabólicas y obtención de energía en la primera fase del compostaje, también en las siguientes fases del compostaje aumenta la presencia de actividad enzimática microbiana que permite una rápida descomposición de los residuos que presentan mayor cantidad de celulosa disminuyendo así el tiempo de obtención del compost (Zarate, 2019).

**Figura 8.**

Comparación del % de carbono entre prueba piloto (compost sin bioinóculo) y promedio de réplicas de compost con bioinóculo.



Por su parte, en el estudio realizado por Patiño en el 2019 se evaluó el efecto de un inoculante comercial en las características físicas, químicas y biológicas de un proceso de compostaje, se observó que la adición del inoculante microbiano aceleró la descomposición del carbono orgánico, reflejándose en valores más bajos de carbono en comparación con el grupo control a lo largo de todo el proceso de compostaje. Este hallazgo coincide con los resultados obtenidos en nuestra propia investigación.

Respecto a los rangos de aceptación del % de carbono final en abonos orgánicos se menciona en la literatura que un valor superior al 50% indica un exceso de carbono y se atribuye a una degradación incompleta de la mezcla de material inorgánico por el contrario un valor inferior al 30% indicaría que el compost está mezclado con arena, tierra, cenizas u otro (González, 2020; Madejón, 2020). El % de carbono obtenido en el compost con bioinoculante se encuentra dentro del rango de aceptación presentando un valor del 32,80%, lo que indica que se ha completado la etapa de maduración y es apto para usar como abono orgánico en los procesos de agricultura.

### 3.5. Evaluación del bioinoculante

#### 3.5.1. Fijadora de nitrógeno

Para determinar si *Enterobacter cloacae complex* tiene la capacidad de fijar nitrógeno, se empleó el agar Ashby, dicho medio de cultivo se caracteriza por no tener como componente una fuente de nitrógeno, esto genera que el microorganismo tome el nitrógeno atmosférico para realizar sus procesos metabólicos, lo cual permite que aquellos microorganismos que se desarrollen en este medio tengan capacidad de fijar nitrógeno, por otro lado aquellos microorganismos que no presente crecimiento en este medio de cultivo no poseen esta capacidad metabólica (Salazar & Ordoñez, 2013; Jamauca, 2023).

En este caso se evidencio que *Enterobacter cloacae complex* presento crecimiento en el medio de cultivo, por esta razón, tiene potencial como fijadora de nitrógeno, esto se debe a la presencia de la enzima nitrogenasa la cual transforma el nitrógeno atmosférico y amoniaco, este último es empleado a nivel metabólico para la formación de aminoácidos (Hernández et al., 2018; Cohuo, 2023).

### **3.5.2 Solubilizadora de fósforo**

Para determinar si *Enterobacter cloacae complex* tiene capacidad como bacteria solubilizadora de fosfato se empleó el agar pikovskaya, este medio de cultivo se caracteriza por presentar fosfato tricálcico ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ), en esta forma el fosfato esta de manera insoluble en el medio, por ende los microorganismos, deben generar ácidos orgánicos los cuales faciliten la solubilización de los fosfatos insolubles, además de esto se secretan enzimas como fosfatasa, debido a esta reacción enzimática libera iones como Fe, Ca o Al, esto genera un cambio en la molécula a un fosfato dibásico o monobásico, haciendo más soluble para la planta, por otro lado aquellas bacterias solubilizadoras de fosfatos crecen en este medio de cultivo presentando un halo (Lara, Sanes & Oviedo 2013; Beltrán, 2014; León, 2014).

En este caso *Enterobacter cloacae complex* no presento una capacidad de solubilizadora debido a que, a pesar de presentar crecimiento, no se evidencia halos característicos, aunque no se presentaron halos, si hay bacterias del género *Enterobacter* con capacidad solubilizadora de fosfato, como lo son *Enterobacter asburiae*, *Enterobacter agglomerans*, *Enterobacter sakasaki* (Florez et al., 2018; Vargas & Castro, 2018).

### **3.5.3. Determinación de *Salmonella spp* y *E. coli***

En la determinación de *Salmonella spp* se obtuvo como resultado la presencia de este mismo, por otra parte, la determinación de *E. coli* obtuvo como resultado  $>300$  UFC/ 10 gramos de compostaje, la cual es superior. Estos resultados se deben a la temperatura alcanzada en el compostaje de  $58^\circ\text{C}$ , la eliminación de ciertas bacterias patógenas, sumado a esto existen cepas de estas dos especies de bacterias las cuales son termorresistente (Condón 2013; Llenque et al., 2017; Gabriel, 2021; López et al., 2021).

Existen especies de *Salmonella* como los *S. bongori* la cual no presenta casos de salmonelosis en seres humanos, muchas especies de este género no generan un daño a la salud humana, por esta razón se recomiendan estudios genómicos con el fin de determinar no solo el género si no la especie de *Salmonella*, estas dos especies son empleadas índices para la inocuidad, una posible solución para el aumento de la temperatura, es disminuir el tamaño de los residuos, esto permite que los microorganismos puedan degradar la celulosa de una manera mucho más eficiente por ende un aumento significativo de la temperatura y así mismo eliminar este tipo de bacterias.

## **3.6. Efecto del compost en la germinación de semilla de rábano (*Raphanus sativus*) y lechuga (*Lactuca sativa* L.)**

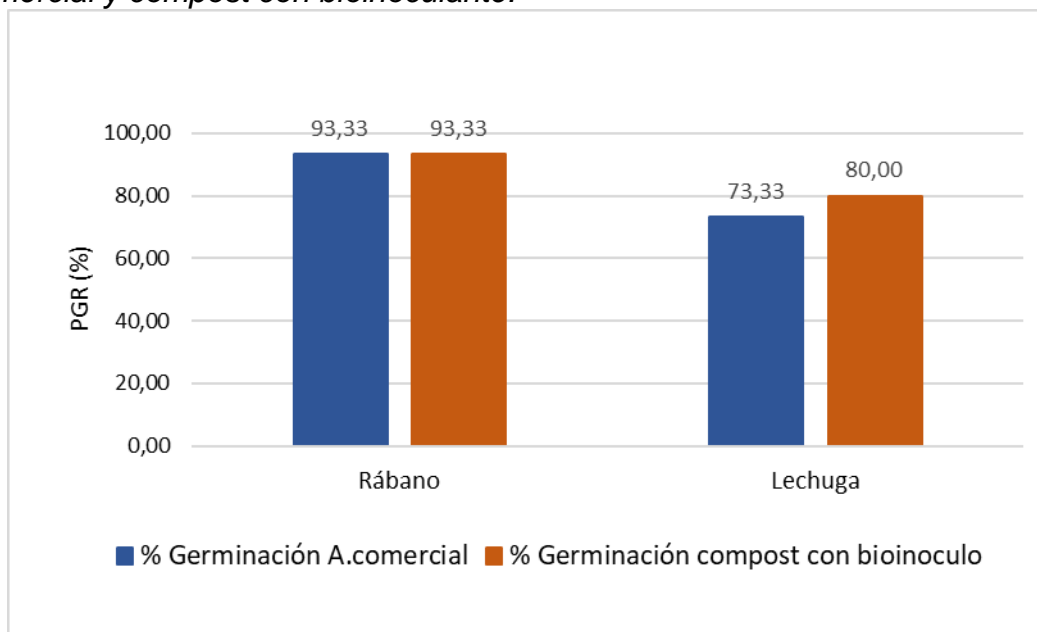
### **3.6.1. Germinación de semillas**

La Figura 9 muestra el porcentaje relativo de germinación (PGR) de semillas de rábano y lechuga en extractos de abono comercial y compost con bioinoculante. Las semillas de rábano presentaron un PGR de 93,33% en ambos extractos, indicando un desarrollo óptimo en ambas condiciones. En contraste, las semillas de lechuga mostraron un PGR de 80% en el extracto de compost con bioinoculante y de 73,33% en el extracto de abono comercial.

Según la literatura, un PGR inferior al 80% indica la presencia de sustancias que generan un efecto fitotóxico en las semillas ocasionado principalmente por la emisión de amoníaco, óxido de etileno y ácidos orgánicos de bajo peso molecular que inhiben la germinación de las semillas (Acevedo, Taboada & Cruz, 2020). Los resultados sugieren que la lechuga es particularmente sensible a compuestos fitotóxicos presentes en el abono comercial, lo cual coincide con estudios que señalan una mayor sensibilidad de la especie en la etapa de maduración del compostaje (Urriola, Castillo & Vergara, 2021). Los resultados del ensayo de germinación muestran que la lechuga alcanza un porcentaje de germinación del 80% en el compost con bioinoculante, indicando que los residuos han finalizado su etapa de maduración y probablemente no contienen sustancias fitotóxicas, por lo que es un compost adecuado para uso en la agricultura (Barahona & Rojas, 2024).

### Figura 9.

*Porcentaje de germinación relativo (PGR) de semillas de rábano y lechuga en extractos de abono comercial y compost con bioinoculante.*

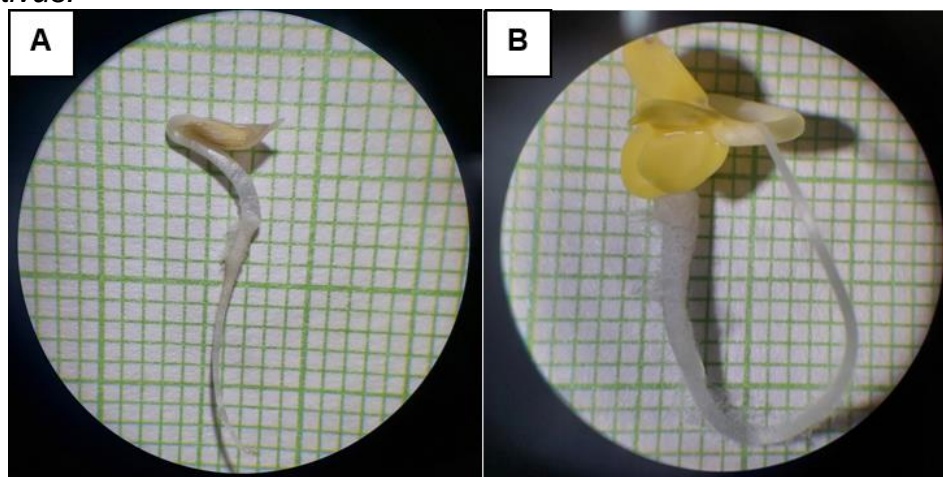


### 3.6.2. Medición de hipocótilo y radícula

Para evaluar el efecto en la germinación del compostaje con inoculante microbiano sobre las semillas de lechuga (*Lactuca sativa L.*) y rábano (*Raphanus sativus*) se analizaron un total de 15 semillas para cada uno de los tratamientos (agua destilada, abono comercial, compost con bioinoculante), al tercer día se les midió la longitud del hipocótilo y radícula a las semillas que presentaron ruptura de la cubierta seminal (Figura 10).

**Figura 10.**

Medición de hipocótilo y radícula de semillas de lechuga y rábano. **1A.** *Lactuca sativa L.* **1B.** *Raphanus sativus*.



En la Tabla 6 se observan los análisis descriptivos de los datos de germinación de las semillas de rábano (*Raphanus sativus*) y lechuga (*Lactuca sativa L.*) como son el crecimiento de hipocótilo y radícula para cada uno de los tratamientos analizados.

Las semillas de rábano que rompieron la cubierta seminal presentaron al tercer día un crecimiento medio del hipocótilo de 2,21 cm en agua, 2,59 cm en abono comercial y 3,99 cm en el compostaje con bioinoculante, con relación a la dispersión de los datos de longitud del hipocótilo se observó que no se presentó una mayor dispersión ya que entre más pequeño sea este valor o esté más cercano a cero significa que los datos están más concentrados alrededor de la media. En el caso del crecimiento de la radícula hubo un crecimiento medio de 5,09 cm en el agua, 2,14 cm en abono comercial y 8,00 cm en compost con bioinoculante, en las medidas de la radícula se presentó una mayor desviación con un valor de 9,64 cm en compost con bioinoculante.

Ahora bien, en las semillas de lechuga (*Lactuca sativa L.*) obtuvo un crecimiento medio del hipocótilo de 0,93 cm en el agua, 1,23 cm en abono comercial y 1,87 cm en compost con bioinoculante, no se observa una mayor dispersión de los datos. En el crecimiento radicular se obtuvo una longitud promedio de 1,13 cm en el agua, 0,68 cm en el abono comercial y 1,61 cm en compost con bioinoculante, en las mediciones de la radícula se presentó la menor desviación estándar siendo los datos que presentaron una mayor concentración alrededor del valor de la media.

**Tabla 6.**  
Análisis descriptivos del rábano (*Raphanus sativus*) y lechuga (*Lactuca sativa* L.)

| Germinación | Tratamiento               | Estadístico (cm) | <i>Raphanus sativus</i> | <i>Lactuca sativa</i> |
|-------------|---------------------------|------------------|-------------------------|-----------------------|
| Hipocótilo  | Agua                      | Media            | 2,21                    | 0,93                  |
|             |                           | Mediana          | 2,00                    | 1,00                  |
|             |                           | Varianza         | 1,31                    | 0,79                  |
|             |                           | Desv. estándar   | 1,14                    | 0,89                  |
|             |                           | Mínimo           | 1,00                    | 0,00                  |
|             |                           | Máximo           | 5,30                    | 2,40                  |
|             | Abono Comercial           | Media            | 2,59                    | 1,23                  |
|             |                           | Mediana          | 2,60                    | 1,70                  |
|             |                           | Varianza         | 2,57                    | 0,90                  |
|             |                           | Desv. estándar   | 1,60                    | 0,95                  |
|             |                           | Mínimo           | 0,00                    | 0,00                  |
|             |                           | Máximo           | 5,10                    | 2,40                  |
|             | Compost con bioinoculante | Media            | 3,99                    | 1,87                  |
|             |                           | Mediana          | 3,75                    | 2,20                  |
|             |                           | Varianza         | 1,23                    | 1,56                  |
|             |                           | Desv. estándar   | 1,11                    | 1,25                  |
|             |                           | Mínimo           | 2,30                    | 0,00                  |
|             |                           | Máximo           | 5,50                    | 3,40                  |
| Radícula    | Agua                      | Media            | 5,09                    | 1,13                  |
|             |                           | Mediana          | 5,00                    | 1,30                  |
|             |                           | Varianza         | 8,39                    | 1,10                  |
|             |                           | Desv. estándar   | 2,89                    | 1,05                  |
|             |                           | Mínimo           | 1,00                    | 0,00                  |
|             |                           | Máximo           | 10,10                   | 2,50                  |
|             | Abono Comercial           | Media            | 2,14                    | 0,68                  |
|             |                           | Mediana          | 1,90                    | 0,80                  |
|             |                           | Varianza         | 2,03                    | 0,31                  |
|             |                           | Desv. estándar   | 1,43                    | 0,56                  |
|             |                           | Mínimo           | 0,00                    | 0,00                  |
|             |                           | Máximo           | 5,50                    | 1,50                  |
|             | Compost con bioinoculante | Media            | 8,00                    | 1,61                  |
|             |                           | Mediana          | 5,10                    | 2,00                  |
|             |                           | Varianza         | 92,98                   | 1,07                  |

Para establecer el análisis estadístico posterior, hubo que evaluar si los datos obtenidos en ambas semillas presentaban una distribución normal (distribución gaussiana) (Anexo 1 y Anexo

2). Para ambas semillas fue necesario el uso de pruebas no paramétricas para la comparación de los grupos debido a que no se cumple la normalidad en todos los niveles del factor. Por ejemplo, la longitud del hipocótilo en la semilla de rábano con el tratamiento agua presentó un valor de significancia de  $p=0,028$ , la longitud de la radícula en la semilla de rábano con el tratamiento compost con bioinoculante presentó un valor de significancia  $p<0,001$  y todas las mediciones deben tener una significancia mayor a  $p= 0,05$ . En la prueba de normalidad de la lechuga se evidenció que ninguno de los valores de significancia estuvo por encima de  $p=0,05$ , por lo que se concluye que para el análisis de ambas semillas se debe usar una prueba no paramétrica (Tabla 7).

**Tabla 7.**

*Prueba de Kruskal-Wallis para semillas de rábano (Raphanus sativus) y lechuga (Lactuca sativa).*

| <b>Resumen de contrastes de hipótesis rábano (<i>Raphanus sativus</i>)</b> |   |   |                      |
|--|---|---|----------------------|
|  | <b>Hipótesis nula</b>   | <b>Prueba</b>   | <b>Significancia</b> |
| 1  | La distribución de Hipocótilo es la misma entre categorías de tratamientos. | Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes | 0,003                |
| 2  | La distribución de Radícula es la misma entre categorías de tratamientos.   | Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes | <,001                |
| <b>Resumen de contrastes de hipótesis lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)</b>  |   |   |                      |
|  | <b>Hipótesis nula</b>   | <b>Prueba</b>   | <b>Significancia</b> |
| 1  | La distribución de Hipocótilo es la misma entre categorías de tratamientos. | Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes | 0,022                |
| 2  | La distribución de Radícula es la misma entre categorías de tratamientos.   | Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes | 0,038                |

En la Tabla 7 se observa la hipótesis nula para cada tipo de semilla en los diferentes tratamientos aplicados. Para que se acepte la comparación, el valor de significancia debe ser superior a 0,050. Valores menores indican que se rechaza la hipótesis nula, sugiriendo la presencia de diferencias estadísticamente significativas. En este contexto, se encontraron diferencias significativas en la longitud del hipocótilo y la radícula entre los diferentes tratamientos. Estas diferencias significativas se corroboraron mediante pruebas post-ANOVA con corrección Bonferroni, que permitieron comparar las mediciones del hipocótilo y la radícula entre cada par de tratamientos para identificar dónde se encuentran las diferencias estadísticas.

En la Tabla 8 se observa la comparación por parejas de la longitud del hipocótilo y la radícula de la semilla de rábano en los diferentes tratamientos, concluyéndose que la longitud del hipocótilo presentó diferencias significativas en los tratamientos agua-compost con bioinoculante ( $p < 0,001$ ), así como entre los tratamientos abono comercial-compost con bioinoculante ( $p = 0,015$ ). En cuanto a la longitud de la radícula, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos agua-abono comercial ( $p = 0,003$ ) y entre los tratamientos abono comercial- compost con bioinoculante ( $p < 0,001$ ).

**Tabla 8.**

*Prueba post-ANOVA para muestras independientes rábano (Raphanus sativus).*

| Comparaciones por parejas del hipocótilo en agua, abono comercial y compost |                       |                |                                |                  |                          |
|---|-----------------------|----------------|--------------------------------|------------------|--------------------------|
| Tratamiento 1-Tratamiento 2   | Estadístico de prueba | Error estándar | Estadístico de prueba estándar | Sig.             | Sig. ajust. <sup>a</sup> |
| Agua-Abono Comercial  | -4,167                | 4,684          | -0,890                         | 0,374            | 1,000                    |
| Agua- Compost con bioinoculante   | -15,755               | 4,767          | -3,305                         | <b>&lt;0,001</b> | 0,003                    |
| Abono Comercial- Compost con bioinoculante                                  | -11,588               | 4,767          | -2,431                         | <b>0,015</b>     | 0,045                    |
| Comparaciones por parejas de la radícula en agua, abono comercial y compost |                       |                |                                |                  |                          |
| Tratamiento 1- Tratamiento 2  | Estadístico de prueba | Error estándar | Estadístico de prueba estándar | Sig.             | Sig. ajust. <sup>a</sup> |
| Abono Comercial-Agua  | 13,700                | 4,687          | 2,923                          | <b>0,003</b>     | 0,010                    |
| Abono Comercial- Compost con bioinoculante                                  | -17,064               | 4,770          | -3,577                         | <b>&lt;0,001</b> | 0,001                    |
| Agua- Compost con bioinoculante   | -3,364                | 4,770          | -0,705                         | 0,481            | 1,000                    |

En la Tabla 9 se observa la comparación por parejas de la longitud del hipocótilo y la radícula de la semilla lechuga en los diferentes tratamientos, concluyéndose que únicamente se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos agua-compost con bioinoculante ( $p = 0,007$ ) en el hipocótilo y entre tratamientos abono- compost con bioinoculante ( $p = 0,010$ ) en la radícula.

**Tabla 9.**

*Prueba post-ANOVA para muestras independientes lechuga (Lactuca sativa).*

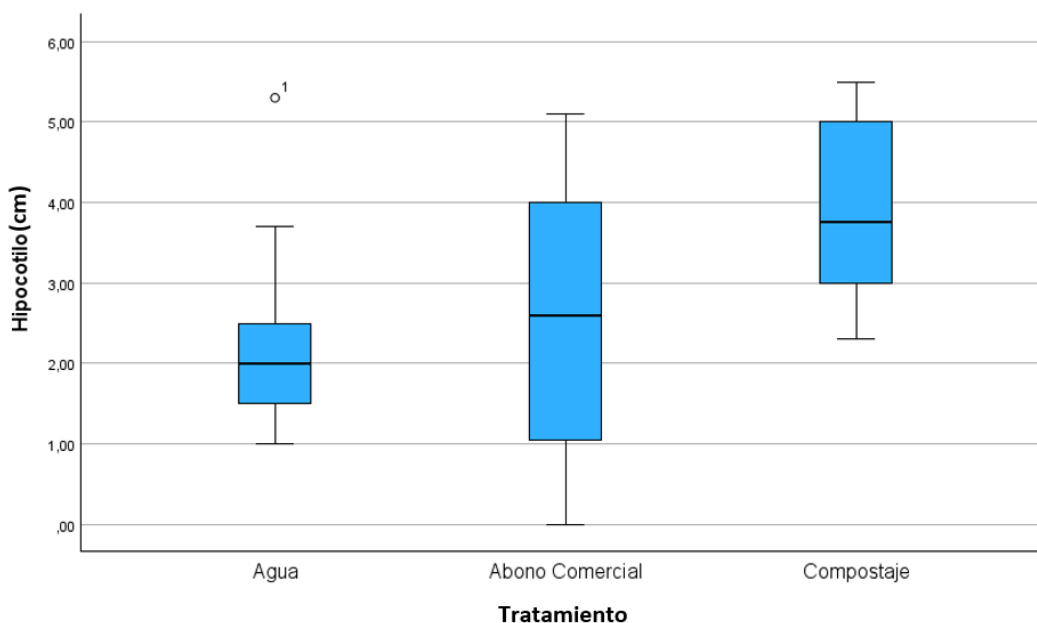
| Comparaciones por parejas del hipocótilo en agua, abono comercial y compost |                       |                |                                |              |              |
|---|-----------------------|----------------|--------------------------------|--------------|--------------|
| Tratamiento 1-Tratamiento 2   | Estadístico de prueba | Error estándar | Estadístico de prueba estándar | Sig.         | Sig. ajust.a |
| Agua-Abono Comercial  | -3,733                | 4,704          | -0,794                         | 0,427        | 1,000        |
| Agua- Compost con bioinoculante   | -12,667               | 4,704          | -2,693                         | <b>0,007</b> | 0,021        |
| Abono Comercial- Compost con bioinoculante                                  | -8,933                | 4,704          | -1,899                         | <b>0,058</b> | 0,173        |
| Comparaciones por parejas de la radícula en agua, abono comercial y compost |                       |                |                                |              |              |
| Tratamiento 1-Tratamiento 2   | Estadístico de prueba | Error estándar | Estadístico de prueba estándar | Sig.         | Sig. ajust.a |
| Abono Comercial-Agua  | 5,967                 | 4,701          | 1,269                          | <b>0,204</b> | 0,613        |
| Abono Comercial- Compost con bioinoculante                                  | -12,033               | 4,701          | -2,560                         | <b>0,010</b> | 0,031        |
| Agua- Compost con bioinoculante   | -6,067                | 4,701          | -1,291                         | 0,197        | 0,591        |

A continuación, se observan gráficos descriptivos de los resultados obtenidos a partir de la aplicación de tres tratamientos en las variables de crecimiento del hipocótilo y radícula de semillas de rábano y lechuga.

En la Figura 11 se observa que el hipocótilo del rábano no tuvo problemas en su crecimiento en los tres tratamientos estudiados. Sin embargo, mostró tendencia a una mayor elongación en el compost con bioinoculante en comparación con el abono comercial y el agua, este resultado se asemeja al obtenido en la investigación *The Impact of Food Waste Compost, Vermicompost, and Chemical Fertilizers on the Growth Measurement of Red Radish (Raphanus sativus)* (Almaramah et al., 2024), estudio que revelo que el uso de abonos orgánicos procedentes de alimentos con microorganismos eficientes tiene un impacto positivo en el crecimiento del hipocótilo y biomasa en general del rábano, resaltando el uso de residuos de alimentos como insumos agrícolas que mejoran la calidad del suelo y disminuyen la necesidad de fertilizantes químicos fomentando la gestión ambiental y contribuyendo así a los objetivos de sostenibilidad global.

### Figura 11.

Diagrama de cajas para medición de hipocótilo de semillas de rábano (*Raphanus sativus*) en diferentes tratamientos.

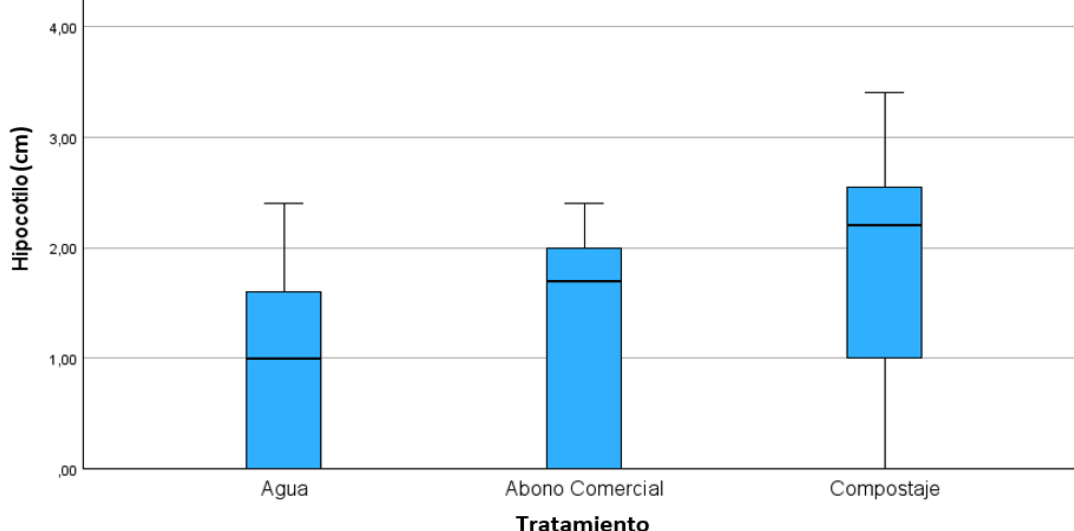


Por otro lado, al analizar la Figura 12 el crecimiento del hipocótilo de la lechuga en los tratamientos se puede observar que las cajas comenzaron desde cero en los tratamientos de agua y abono comercial, indicando que algunas semillas no germinaron debido a que son más sensibles. También se evidenció un mayor crecimiento del hipocótilo en el compost con bioinoculante, en un estudio realizado por Tahiri, et al. (2021), quienes comparten los resultados con nuestra investigación, este estudio menciona que el uso de enmiendas de compostaje con microorganismos eficientes mejoró el crecimiento y la productividad de las plantas de lechuga, en comparación con las plantas en las que no usaron inoculante, las bacterias *Acinetobacter*

*sp.* y *Rahnella aquatilis* usadas en el estudio aumentaron el rendimiento del crecimiento de las plantas en comparación con el control.

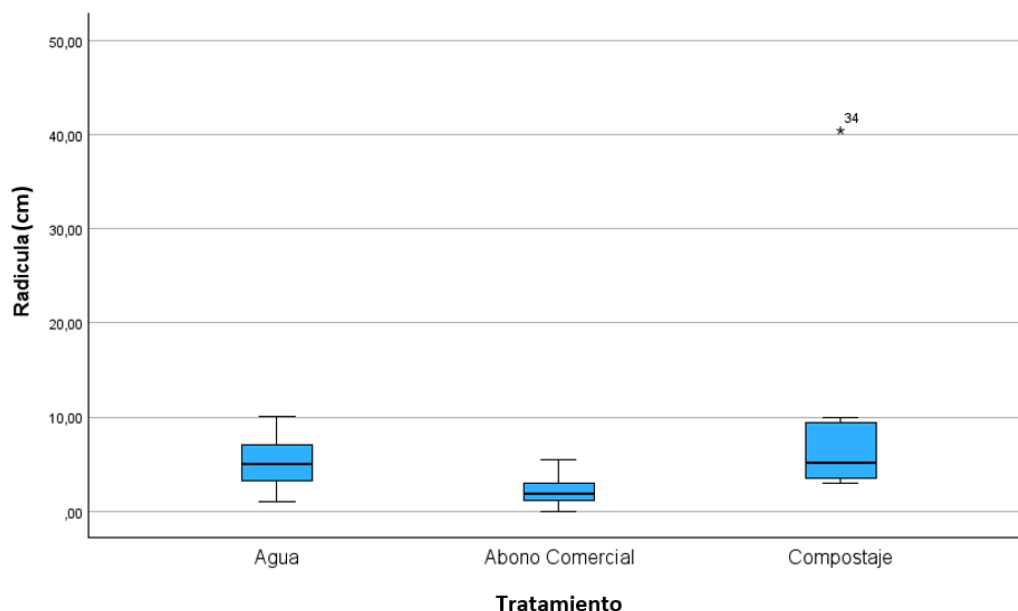
**Figura 12.**

Diagrama de cajas para medición de hipocótilo se semillas de lechuga (*Lactuca sativa*) en diferentes tratamientos.



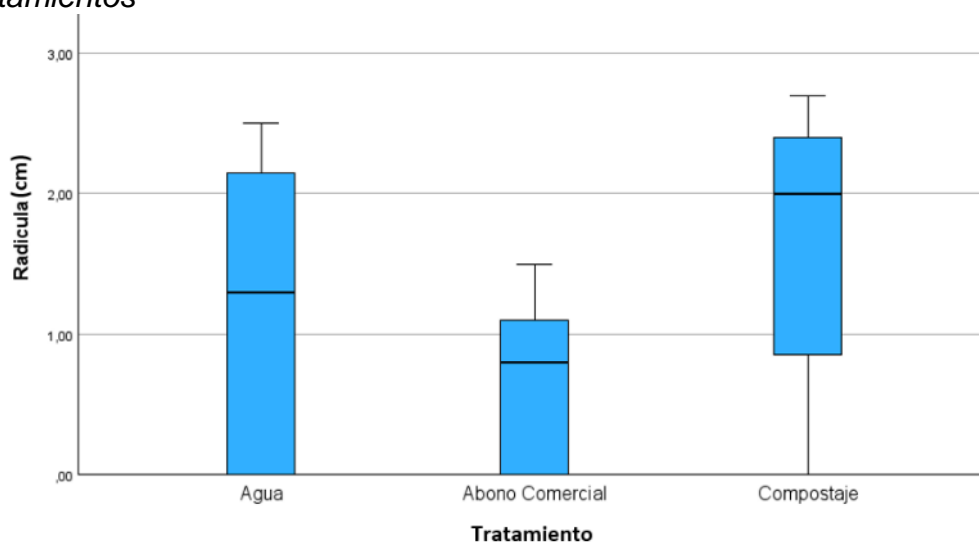
En cuanto al crecimiento radicular, se analiza en la Figura 13 que el rábano mostró un crecimiento óptimo en el tratamiento con agua, mientras que el compost con bioinoculante favoreció un mayor desarrollo radicular. Al comparar este resultado con la literatura se encontró el estudio realizado por Calero, et al. (2019), en donde evalúan el efecto de tres bioestimulantes en el comportamiento morfológico y productivo del cultivo del rábano (*Raphanus sativus*), en este se comparte el resultado en el cual el crecimiento radicular es mayor con la aplicación de abono orgánico (vermicompost) con microorganismos eficientes, permitiendo un mayor crecimiento radicular el cual mejora la capacidad de almacenamiento de agua y absorción de nutrientes del suelo.

**Figura 13.** Diagrama de cajas para medición de la radícula de semillas de rábano (*Raphanus sativus*) en diferentes tratamientos.



En el tratamiento con abono comercial se observó una inhibición en el crecimiento de la raíz del rábano, probablemente por falta de madurez del abono, un alto contenido de nitrógeno o la presencia de sustancias fitotóxicas que afectan la germinación y crecimiento de los cultivos. Esta misma situación se refleja en la Figura 14 con las semillas de lechuga, donde el tratamiento con abono comercial también mostró una inhibición en el crecimiento de la radícula, relacionándose con la presencia de agentes fitotóxicos que impiden un buen desarrollo. El crecimiento radicular de la lechuga fue adecuado en el tratamiento con agua y se observó una tendencia a una mayor elongación en el compost con bioinoculante.

**Figura 14.** Diagrama de cajas para medición de la radícula de semillas de lechuga (*Lactuca sativa*) en diferentes tratamientos



De los tres tratamientos analizados, se observa que el compost con bioinoculante favoreció significativamente un mayor crecimiento del hipocótilo y la radícula en las semillas de rábano y lechuga, estudio realizado por Valecela, et al. en el 2019 encontró también un mayor rendimiento en el crecimiento de plantas de rábano en compost que recibieron inoculación microbiana, en este estudio indican que los microorganismos tienen la propiedad de producir hormonas vegetales y sustancias reguladoras del crecimiento de las plantas que contribuyen a su desarrollo. En cuanto al crecimiento de la lechuga, los autores Ringuelete & Koristchones en el 2022 en su estudio comparten que el uso de compost mejora el crecimiento inicial de las plántulas, obteniendo una buena altura, número de hojas y crecimiento de la raíz proporcionando un aumento en el rendimiento de los cultivos de lechuga. Los resultados de estas investigaciones resaltan la eficacia del compostaje con bioinóculo obtenido en este estudio, posicionándolo como el más adecuado para la germinación de ambas semillas investigadas. El incremento en el desarrollo del hipocótilo y la radícula permite una mejor absorción de agua y nutrientes esenciales, fundamentales para el crecimiento inicial de las plantas y su capacidad para resistir condiciones adversas. Además, facilita la formación de una superficie de absorción más amplia tanto en la parte aérea como en las raíces, mejorando así la captación de luz y nutrientes del suelo, lo cual promueve un crecimiento rápido y saludable de las plántulas (Alcalán, Lastiri & Álvarez, 2023; Chugchilan & Quishpe, 2024).

### ***Enterobacter spp* en los procesos de germinación y compostaje**

Dentro los procesos de germinación las bacterias promotoras del crecimiento vegetal son las más importantes, de estas bacterias se destacan el género *Enterobacter*, el cual ha demostrado mejorar el porcentaje de germinación, además de un aumento significativo de la biomasa radicular, por otro lado, la capacidad de fijar nitrógeno demuestra que este género es una gran candidata como un bionoculante. En donde se evidencia en nuestro proceso de germinación una mejora significativa frente a los diferentes tratamientos probado y en las dos semillas diferentes, no solamente esto la hace una gran candidata si no su facilidad de crecimiento en diferentes medios de cultivos, su gran capacidad para presentar una gran bioaumentación, además de destacar el impacto positivo en la obtención del compostaje (Piscoya & Ugaz 2016; Cohuo, 2023).

## **4.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

El diseño de las composteras es eficiente, debido a que tiene un buen sistema de salida de lixiviados, presenta un fácil acceso para la disposición de residuos orgánicos, además, el techo instalado fue efectivo en cuanto a protección contra factores ambientales, como lluvias o calores, también su diseño evito el ingreso de roedores y permitió el acceso de los analistas para realizar los volteos que favorecen la aeración y homogenización del compostaje.

El bionoculante microbiano constituido por *Enterobacter cloacae complex*, ha demostrado ser eficiente como bacteria celulolítica, mejorando el tiempo de obtención del compostaje, pasando de 49 días a 29 días, sumado a esto se evidencia crecimiento en el agar ashby, esto es importante ya que esto demuestro la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico.

Por último, la evaluación del compostaje obtenido con bioinoculante ha presentado en el ensayo de germinación un mejor desempeño frente al blanco (agua) y el compostaje comercial,

demostrando un mayor crecimiento de la radícula y el hipocótilo de las dos especies de semillas estudiadas, favoreciendo con esto la absorción de agua y nutrientes esenciales fundamentales para el crecimiento inicial de las plantas.

Se recomienda realizar un análisis de laboratorio más profundo por la parte química como microbiológica, por otro lado, se recomienda realizar estudios sobre el tamaño de la partícula y como puede influenciar en la temperatura del compostaje.

## 5.AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Universidad Santiago de Cali y al Colegio Alemán de Cali, instituciones que estuvieron vinculadas al proyecto y participaron en la financiación de este, un agradecimiento especial al personal administrativo y de laboratorios de ambas instituciones por facilitar los espacios, equipos y materiales necesarios para la ejecución del proyecto. Agradecemos a la planta docente de la Universidad Santiago de Cali quienes transmitieron el conocimiento necesario y contribuyeron con el desarrollo de la investigación, particularmente a la docente Silvia Quijano cuyas observaciones enriquecieron y guiaron nuestro trabajo.

## 6.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, P., Taboada, O., & Cruz, J. (2020). Caracterización de fertilizantes orgánicos y estiércoles para uso como componentes del sustrato. *Acta Agronómica*, 69 (3), 234-240. Publicado electrónicamente el 23 de agosto de 2021. <https://doi.org/10.15446/acag.v69n3.84508>
- Aduvire Vizcarra, A. E. (2021). Efecto de la humedad en el compostaje sin la aplicación de agua para la obtención de compost–distrito Moquegua. [Trabajo de grado]. Universidad Cesar Vallejo. Lima, Perú
- Aguilar Camba, M. A. (2020). *Aprovechamiento de los desechos orgánicos en la elaboración de compost mediante la implementación de un sistema mecánico amigable con el ambiente*. [Trabajo de grado]. Universidad agraria del Ecuador, Guayaquil, Ecuador.
- Alcalán-López, L. Á., Lastiri-Hernández, M. A., & Álvarez-Bernal, D. (2023). Efecto de biofertilizantes líquidos, obtenidos a partir de halófitas, en la germinación y emergencia de cuatro especies de hortalizas (*Daucus carota L.*, *Lactuca sativa L.*, *Raphanus sativus L.* y *Cucumis sativus L.*). *Biocencia*, 25(3), 197-207.
- Almaramah, S.B.; Abu-Elsaoud, A.M.; Alteneiji, W.A.; Albedwawi, S.T.; El-Tarabily, K.A.; Al Raish, S.M. (2024). The Impact of Food Waste Compost, Vermicompost, and Chemical Fertilizers on the Growth Measurement of Red Radish (*Raphanus sativus*): A Sustainability Perspective in the United Arab Emirates. <https://doi.org/10.3390/foods13111608>
- Álvarez-Sánchez, Ana Ruth, Llerena-Ramos, Luis Tarquino, & Reyes-Pérez, Juan José. (2021). Efecto de sustancias azucaradas en la descomposición de sustratos orgánicos para la elaboración de compost. *Terra Latinoamericana*, 39, e916. Epub 02 de julio de 2021. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.916>
- Andrade Loor, D. M. & Avellán Realpe, A. E. (2020). *Inoculación de un consorcio microbiano autóctono encapsulado con capacidad celulolítica para la producción de*

*compost de calidad en Manabí-Ecuador*. [Trabajo de grado]. Escuela superior politécnica agropecuaria de Manabí. Manabí, Ecuador.

- Arenas Osorio, C. Y. (2017). *Implementación de un sistema integral de residuos de compostaje para el tratamiento de los residuos orgánicos en el centro educativo Rural Josefa Romero, Municipio de Dabeiba*. [Trabajo de grado]. Universidad pontificia Bolivariana. Medellín, Colombia.
- Ayala Sánchez, D., F. & Cristancho, S., L. (2020). *Cartilla elaboración de compost*. San Gil, Colombia: Universidad Libre Colombia.
- Azurduy, S., Azero, M. & Ortuño, N. (2016). Evaluación de activadores naturales para acelerar el proceso de compostaje de residuos orgánicos en el municipio de Quillacollo. *Revista Boliviana*, 7 (4), 369-388.
- Barahona Llumiquinga, L. J., & Rojas Guerrero, E. L. (2024). Evaluación de un fertilizante orgánico combinado en el desarrollo de dos especies vegetales bajo condiciones controladas. [Trabajo de grado]. Escuela superior politécnica de chimborazo. Riobamba, Ecuador.
- Barbaro, L., Karlanian, M., Rizzo, P. y Riera, N. (2019). Caracterización de diferentes compost para su uso como componente de sustratos. *Revista Chilena de Ciencias Agrícolas y Animales*. 35 (2), 126-136.
- Bascón Villegas, I. (2022). *Lignonnanofibras de celulosa procedentes de residuos agrícolas para la formulación de envases alimentarios sostenibles y funcionales*. [Trabajo Doctoral]. Universidad de Córdoba, Montería, Colombia.
- Busse, M. (1995). Medios para salmonella. *Avances en microbiología industrial* , 34(1) , 187-201.
- Boneder, S., Iñon Rukavina, A., & Jara, S. (2019). *Determinación de humedad, materia orgánica y nitrógeno en dos muestras de compost y una de suelo del bosque*. SEDECI.
- Beltrán-Pineda, M. E. (2014). Bacterias solubilizadoras de fosfato con potencial biofertilizante en suelos cultivados con papa (*Solanum tuberosum*). *Agron*, 22(2), 7-20.
- Beltrán Morales, F. A., Nieto Garibay, A., Murillo Chollet, J. S., Ruiz Espinoza, F. H., Troyo Dieguez, E., Alcalá Jauregui, J. A. & Murillo Amador, B. (2019). Contenido inorgánico de nitrógeno, fósforo y potasio de abonos de origen natural para su uso en agricultura orgánica. *Terra Latinoamericana*, 37(4), 371-378.
- Bastidas Chaparro, D. F. (2017). *Proceso de germinación con biosólidos de las plantas de tratamiento de aguas residuales (Ptar) tratados con vermicompostaje, para altitudes no mayores a 850 msnm, caso Colombia*. Proyecto Inv 1761 UMNG. [Trabajo de grado]. Universidad militar nueva granada, Bogotá, Colombia.
- Camargo Gómez, L.L. (2015). *Control de la calidad del compost obtenido a partir de los subproductos de caña de azúcar Saccharum officinarum en el ingenio Mayaguez S.A.* [Trabajo de grado]. Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia.
- Carrillo, P., & Paoli, J. (2024). Consorcio microbiano nativo en la degradación de residuos sólidos domiciliarios Jaén-Perú.
- Cárdenas Castillo, G. M. & Puma Flores, B. E. A. (2021). *Proceso de compostaje de residuos sólidos urbanos: una revisión sistemática*. [Trabajo de grado]. Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú.
- Casas Pérez, J. L. (2021). *Alternativa de compostaje sostenible con los residuos vegetales generados del mantenimiento en las áreas verdes del humedal la vaca*. [Trabajo de grado]. Universidad Antonio Nariño, Bogotá, Colombia.

- Castro Hernández, F. (2021). *Optimización del proceso de elaboración y efecto de la adición de diferentes fuentes de inóculo microbiano, sobre la calidad del abono orgánicos tipo compost en la empresa Abonos Vivos S.A.* [Trabajo de grado]. Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- Castelblanco, E. M. S., & Martín, J. P. H. (2023). Evaluación de microorganismos y sustratos obtenidos a partir de residuos orgánicos para la producción de celulasas. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 21(2), 50-61.
- Castro Rubio, S. (2022). *Diseño de una planta de compostaje de los residuos sólidos orgánicos municipales de la ciudad de Cutervo.* [Trabajo de grado]. Universidad de Piura, Perú.
- Chaves-Arias, R., Campos-Rodríguez, R., Brenes-Peralta, L., & Jiménez-Morales, M. F. (2019). Compostaje de residuos sólidos biodegradables del restaurante institucional del Tecnológico de Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 32(1), 39-53.
- Chávez-Navarro, H., Hernández-Cueto, D. D., Vilchis-Estrada, A., Bermúdez-Pulido, D. C., Antonio-Andrés, G., & Luria-Pérez, R. (2015). Salmonella enterica: un aliado en la terapia contra el cáncer. *Boletín médico del Hospital Infantil de México*, 72(1), 15-25.
- Chugchilan Amores, B. R., & Quishpe Guanochanga, J. A. (2024). *Evaluación de la producción y calidad de rábano (Raphanus sativus) con la aplicación de diferentes abonos orgánicos* [Trabajo de grado]. Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC). Ecuador. La Maná.
- Cueva Guevara, O. (2022). *Caracterización de bacterias de suelos impactados por lixiviados del relleno sanitario Cajamarca.* [Trabajo de grado]. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, Perú.
- Corrales Ramírez, L. C., Sánchez Leal, L. C., Arévalo Galvez, Z. Y., & Moreno Burbano, V. E. (2014). *Bacillus*: género bacteriano que demuestra ser un importante solubilizador de fosfato. *Nova*, 12(22), 165-178.
- Condón Usón, S. (2013). *Termo-inactivación de E. coli, en zumo de manzana, en condiciones anisotérmicas.* [Tesis de maestría]. Universidad de Zaragoza. Zaragoza, España.
- Cohuo Colli, J. M. (2023). *Aislamiento de rizobacterias en compost y su efecto en plantas micropropagadas de caña de azúcar.* [Tesis de Doctorado]. Instituto de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas.
- Cosme Perlaza & Molina Rada. (2021). *Establecimiento de las condiciones de compostaje utilizando microorganismos eficientes y desechos orgánicos producidos en restaurantes de la Universidad Santiago de Cali.* [Trabajo de grado]. Universidad Santiago de Cali, Cali, Colombia.
- Delgado Arroyo, M.D.M, Mendoza López, K.L, González, M.I, Tadeo Lluch, J.L. & Martín Sánchez, J.V. (2019). Evaluación del proceso de compostaje de residuos avícolas empleando diferentes mezclas de sustratos. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 35 (4), 965-977.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE. (2022). *Encuesta ambiental industrial EAI 2020.* Recuperado de: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/ambientales/encuesta-ambiental-industrial-eai>
- De alegría puig, c. r. (2021). *evaluación del sistema maldi-tof vitek mstm para la identificación rápida de microorganismos de interés clínico* [Tesis de Doctorado], niversidad de cantabria, Santander, España.

- Docampo. A.D.R, (2013). Compostaje y compost. *Revista INIA-N.º*, 2013, 35(1), 63-67.
- Divya, PS, Paul, S., Fathima, PA y Abdulla, MH (2016). Evaluación comparativa de agar EMB y agar *E. coli* hicrome para la diferenciación de colonias de *E. coli* típicas y no productoras de brillo metálico verde a partir de muestras de alimentos y ambientales. *Journal of Pure and Applied Microbiology* , 10 (4), 2863-2870.
- Díaz Muñoz, K., Casanova Guajardo, M., León Torres, C. A., Gil Ramírez, L. A., Bardales Vásquez, C. B., & Cabos Sánchez, J. (2019). Producción de *Pleurotus ostreatus* (Pleurotaceae) ICFC 153/99 cultivado sobre diferentes residuos lignocelulósicos. *Arnaldoa*, 26(3), 1177-1184.
- Dueñas, R. C. L., & Jara, R. O. G. (2020). Efecto del uso de tres tipos de aceleradores biológicos en el compostaje de residuos orgánicos de mercados, parques y jardines de Arequipa. *Ñawparisun-Revista de Investigación Científica*, 3(1), 24-36.
- Escalante Reyna, E. A. (2023). *Validación del método de prueba para la determinación de salmonella spp. en compostas y lixiviados, para uso agrícola*. [Trabajo de grado]. Universidad Autónoma agraria Antonio Narro, Saltillo, Mexico.
- Enriquez Haro, J. T. (2021). Los abonos orgánicos: ventajas y desventajas en los cultivos hortícolas de la costa ecuatoriana [Trabajo de grado]. UTB.
- Figueroa Barrera, A, Álvarez Herrera, J, Forero, A, Salamanca, C y Pinzón, L. (2017). Determinación del nitrógeno potencialmente mineralizable y la tasa de mineralización de nitrógeno en materiales orgánicos.
- Funke, G., & Funke-Kissling, P. (2004). Use of the Vitek 2 system for rapid identification of clinical isolates of *staphylococci* from bloodstream infections. *Journal of Clinical Microbiology*, 42(1), 330-333.
- Flores-Zárate, M., Bautista-Cruz, A., Aragón-Cuevas F. y Martínez-Gallegos V. (2018). Coinóculos bacterianos solubilizadores de fosfato y su efecto en la germinación y desarrollo del frijol. *Interciencia* 43(2), 1-7.
- Gallardo Minaya, K. P. (2021). *Elaboración del compostaje a nivel sostenible de proyectos mineros en fase de exploración*. [Trabajo de grado]. Universidad Continental, Huancayo, Perú.
- Gabriel, c. q. j. (2021). *detección de salmonella spp. en alimentos expendidos en la vía pública en naranjito-guayas*. [Tesis Doctorado] universidad agraria del Ecuador, Milagro, Ecuador.
- Gutiérrez-Rojas, I., Moreno-Sarmiento, N., & Montoya, D. (2015). Mecanismos y regulación de la hidrólisis enzimática de celulosa en hongos filamentosos: casos clásicos y nuevos modelos. *Revista Iberoamericana de Micología*, 32(1), 1-12.
- García Gutiérrez, C. & Félix Herrán, J. A. (2020). *Técnicas de caracterización de suelos y abonos orgánicos*. Fundación produce Sinaloa A.C.
- García Chávez, H. O. (2024). *Evaluación de la localización de los filamentos MreB y estructura de los flagelos en Escherichia coli, en presencia de carvacrol* [Tesis Doctorado] Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Mexico.
- Guzmán Anaya, J. M. (2021). *Evaluación del compostaje de estiércol de caballo de un centro ecuestre en la región Lima*. [Trabajo de grado]. Universidad Agraria la Molina. Lima, Perú.
- Gutiérrez-Hernández, G. F., Ortiz-Hernández, Y. D., Corzo-Ríos, L. J., & Aquino-Bolaños, T. (2020). Composición química y germinación de semillas de tobalá (*Agave potatorum*). *Interciencia*, 45(5), 223-228.

- García, J., Ruiz, N., Lira, R., Vera, I., & Méndez, B. (2016). Técnicas para evaluar germinación, vigor y calidad fisiológica de semillas sometidas a dosis de nanopartículas. *Simposio taller Agronotecnología*, 134(1), 129-140.
- González, M. J. E. (2020). *Estudio comparativo del proceso de compostaje a escala industrial*. [Tesis Doctorado]. Universidad de Almería, Almería, España.
- Tapia, C. E. F., & Cevallos, K. L. F. (2021). Pruebas para comprobar la normalidad de datos en procesos productivos: Anderson-darling, ryan-joiner, shapiro-wilk y kolmogórov-smirnov. *Societas*, 23(2), 83-106.
- Huertas López, J. (2017). *Fortalecimiento del proceso pedagógico en los directivos y docentes para promover prácticas que propenda al mejoramiento ambiental en el colegio gimnasio real de Girardot*. [Trabajo de grado]. Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia.
- Hurtado, A. C., Díaz, Y. P., Calzada, K. P., Rodríguez, E. Q., & Olivera, D. (2019). Efecto de tres bioestimulantes en el comportamiento morfológico y productivo del cultivo del rábano (*Raphanus sativus* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*, 36(1), 54-73.
- Herrera, J., Alizaga, R., Guevara, E., Jiménez, V. (2006). *Germinación Y Crecimiento de la planta*. Costa rica: Universidad de Costa rica.
- Horvath, RS y Ropp, ME (1974). Mecanismo de acción del agar eosina-azul de metileno en la diferenciación de *Escherichia coli* y *Enterobacter aerogenes*. *Revista internacional de microbiología sistemática y evolutiva*, 24 (2), 221-224.
- Hernández, F., Velásquez, K., Carreño, C., Gonzales, H. L., Estela, C., & Altamirano, C. (2015). Efecto de enterobacterias en el desarrollo vegetativo de *Zea mays* en invernadero. *UCV Hacer*, 4(1), 10-19.
- Huamán Carranza, M. (2019). Concentración de nitrógeno, fosforo, potasio y calcio en el compost producido a partir de residuos sólidos orgánicos de mercados populares y residencias de Huaraz-Ancash. *Aporte Santiaguino*, 12(2), 264–273. <https://doi.org/10.32911/as.2019.v12.n2.647>
- Jerez Venegas, C. (2021). *Obtención y caracterización de enzimas celoulolíticas y/o lignocelulolíticas de hongos saprofitos ecuatorianos*. [Trabajo de grado]. Universidad internacional SEK, Ecuador.
- Jurado Rodriguez, M.M. (2015). *Empleo de inoculantes microbianos en el proceso de compostaje de restos vegetales*. [Tesis doctoral]. Universidad de Almería, Almería, España.
- Jamauca Lopez, K. L. (2023). *Bioprospección de funciones promotoras de crecimiento vegetal de aislamientos ambientales de Trichoderma spp.*[Trabajo de grado]. Universidad libre de Pereira. Pereira, Colombia.
- Jara, M., Gaibor, C. S., Quintana, Y. G., Garcia, Y., Guerra, Y. R., & Chafra, A. L. (2016). Parámetros físico-químicos y contenido de coliformes de un compost obtenido a partir de residuos orgánicos del Camal Frigorífico Riobamba. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 5(3), 252-263.
- Jiménez, J. C., Gómez, S., Marcos, A. L., & Cortés, A. (2017). *Guía para la realización de un estudio de investigación ambiental*. Editorial Universidad de Almería.
- Jorge Montalvo, P. A., Ortiz Dongo, L. F., Calle Maraví, J. L., Téllez Monzón, L. A., Césare Coral, M. F., & Visitación Figueroa, L. (2018). Transformación del nitrógeno durante el compostaje de bosta de caballo. *Producción+ Limpia*, 13(2), 77-88.

- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P. & Woerden, F. V. (2018). *What a Waste 2.0 a Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Recuperado de <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>
- León Mendoza, L. H. (2014). Determinación del potencial promotor del crecimiento vegetal de las enterobacterias aisladas de la rizósfera del cultivo de maíz (*Zea mays L.*). *Scientia Agropecuaria*, 5(4), 177-185.
- Llenque-Díaz, L. A., Quintana-Díaz, A., de Cueva, E. E. V., Moreno-Ruiz, N. A., & Segura-Vega, R. M. (2017). Cinética de inactivación térmica de *Salmonella sp.* en jugo de fresa, *Fragaria sp.* *REBIOL*, 37(2), 36-43.
- López-Pino, J. I., Valenzuela-Melendres, M., Camou, J. P., González-Ríos, H., Ayala-Zavala, F., & Peña-Ramos, A. (2021). Predicción de la resistencia térmica de *Escherichia coli* O157: H7 en carne molida de res en función de la temperatura y las concentraciones de carvacrol y grasa. *Biotecnia*, 23(2), 47-54.
- López, J. A., Soto, D. P., Magaña, D. O., Ibañez, F. A., Gonzáles, N. M., Montañón, J. P. & Chávez, L. M. (2021). Presencia de *Salmonella sp.* y poblaciones de coliformes y *Escherichia coli* en agua, suelo, hojas y berries de unidades de producción en una región de interés comercial en Jalisco. *Avances de Investigación en Inocuidad de Alimentos*, 4(1), 4-12.
- Lara, C., Sanes, S. C., & Oviedo, L. E. (2013). Impacto de bacterias nativas solubilizadoras de fosfato en el crecimiento y desarrollo de plantas de rábano (*Raphanus sativus L.*). *Bioteconología aplicada*, 30(4), 271-275.
- Madejón, E., Madejón, P., García de Arboleya, C., Puente de los Santos, P., & Pérez de Mora, A. (2020). Proceso de compostaje de algas marinas. Limitaciones y perspectivas.
- Medina Lara, M. S., Quintero Lizaola, R., Espinosa Victoria, D., Alarcon, A. Etchevers Barra, J. D., Trinidad Santos, A. & Conde Martínez, F. V. (2017). *Generación de un inoculante acelerador del compostaje*. *Revista Argentina de microbiología*, 50(2), 206-210.
- Málaga, H. B. Z., & Cabrera, R. C. (2014). Aislamiento e identificación de bacterias celulolíticas termófilas de géiseres naturales de Candarave-Tacna. *Ciencia & Desarrollo*, 1(18), 29-36.
- Montoya, S., Sánchez, O. J., & Levin, L. (2014). Evaluación de actividades endoglucanasa, exoglucanasa, lacasa y lignina peroxidasa en diez hongos de pudrición blanca. *Bioteconología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 12(2), 115-124.
- Mora Delgado, J., Silva Parra, A., & Escobar Escobar, N. (2019). *Bioindicadores en suelos y abonos orgánicos*. Ibagué: Sello Editorial Universidad del Tolima, 2019.
- Melendrez Moreto, N. A. & Sánchez Delgado, J. (2019). *Compostaje de residuos sólidos orgánicos utilizando microorganismos eficientes en el distrito de Catacachi*. [Trabajo de grado]. Universidad Peruana Unión, Tarapoto, Perú.
- Mendoza León, A. F. (2020). *Caracterización morfológica y molecular de bacterias con potencial biorremediadora provenientes de suelos agrícolas contaminados con pesticidas de origen organofosforados*. [Tesis de maestría]. Universidad técnica estatal de Quevedo. Quevedo, Ecuador.
- Mishquero Ramos, K. M. (2021). *Propuesta de compostaje de los residuos sólidos orgánicos generados en tiendas minoristas de la parroquia San Antonio de Pichincha, Quito, Provincia de Pichincha*. [Trabajo de grado]. Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.

- Molina Durango, Y. & Oviedo Zumaque, L. E. (2019). *Evaluación de un consorcio de microorganismos celulolíticos y amilolíticos en el compostaje de residuos agropecuarios del departamento de sucre*. En Durango Ballesteros, E. D., De Hoyos Correa, K. M., Gomez Cáceres Pérez, L. D. C., Polanco Ortega, H., Beltrán Herrera, J. D., Suárez Padrón, I. E., ... & Pérez Flórez, L. P., *Biotecnología aplicada al sector agropecuario en el departamento de Sucre*. (pp. 163-190), Sucre: CECAR.
- Montoya, E. C., Huiza, D. M., Dominguez, E. L., Mamani, D. C., & Nole, K. O. (2020). Extracción de celulosa a partir de cáscara de tuna y corona de piña. *Revista Ciencia Y Tecnología-Para El Desarrollo-UJCM*, 6(11), 25-31.
- Mullisaca-Contreras, E., Fernández-Ochoa, B.H., García-Espinoza, C., Taquire-Arroyo, A.F. & Soncco-Vilcapaza, W.M. (2023). Evaluación del tiempo y calidad del compost obtenido a partir de una mezcla de residuos sólidos orgánicos con o sin adición de *Saccharomyces Cerevisiae*. *Revista de Investigación Científica de Ingenierías*, 4(2), 81-86. DOI: <https://doi.org/10.47190/nric.v4i2.245>.
- Nacimba Nacimba, G. A., Santafé Sari, D. C. & Andueza Leal, F. D. (2018). *Tratamiento de desechos orgánicos empleando microorganismos celulolíticos*, 1(1), 30-40.
- Narváez, M. G., Barzola, O. R., Navarrete, E. C., & Carvajal, M. S. (2023). Modelos Lineales Generalizados en el análisis del uso de desechos agroindustriales en la preparación de enmiendas orgánicas y su efecto en los parámetros de calidad. *Matemática*, 21(1).
- Otero, P. (08 de abril de 2022) En las “composteras” se han aprovechado 45 toneladas de residuos orgánicos. *Alcaldía de Santiago de Cali*. Recuperado de <https://www.cali.gov.co/serviciospublicos/publicaciones/168256/en-las-composteras-se-han-aprovechado-45-toneladas-de-residuos-organicos/#:~:text=Cali%20cuenta%20actualmente%20con%2048,en%20comedores%20y%20organizaciones%20comunitarias>.
- One planet network. (1 de septiembre del 2022). Economía Circular de los residuos orgánicos para la ciudad y el campo. <https://www.oneplanetnetwork.org/knowledge-centre/resources/economia-circular-de-los-residuos-organicos-para-la-ciudad-y-el-campo#:~:text=En%20el%20mundo%20se%20generan,EI%2050%25%20son%20org%C3%A1nicos>.
- Orihuela Vigo, R. A., & Camacho Távara, J. I. (2019). Influencia del tiempo y del estiércol de gallina en la concentración de nitrógeno del compostaje obtenido por los residuos sólidos orgánicos del Mercado Hermelinda, Trujillo, 2017.
- Ogata, K., Arellano, C., & Zúñiga, D. (2008). Efecto de diferentes bacterias aisladas de rizósfera de *Caesalpinia spinosa* en la germinación de diferentes especies vegetales cultivados. *Zonas áridas*, 12(1), 137-153.
- Pastorino, G. N., Balagué, L. J., Femoselle, G., Martínez Alcántara, V., D'Amico, M., Alanis, D., ... & Balatti, P. A. (2015). *Propuesta para la valoración del rol de los microorganismos del suelo en sistemas agrícolas sustentables: aplicación en el ámbito de la Escuela Agropecuaria N° 1 de Berisso*. In V Congreso Latinoamericano de Agroecología-SOCLA de Escuela agropecuaria, La Plata, Argentina.
- Patiño Criado, A. (2019). Efecto de un inoculante comercial sobre las características físicas, químicas y biológicas a lo largo proceso de co-compostaje de porquinaza, pulpa de café y aserrín. Universidad de los Andes.

- Piscocoya Chapoñan, E., & Ugaz Ugaz, Z. (2016). *Efecto de Azospirillum, Azotobacter y Enterobacter spp. nativas con 50% de fertilizante químico en el desarrollo vegetativo y rendimiento de Zea mays L." maíz" amarillo duro en Lambayeque 2013*. [Trabajo de grado]. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú.
- Película comestible a partir de cáscara de plátano macho (*Musa paradisiaca L.*): Edible film from of plantain peel (*Musa paradisiaca L.*). (2019). *Ciencia Y Tecnología De Alimentos*, 29(3), 49-57. <https://revcitecal.iiia.edu.cu/revista/index.php/RCTA/article/view/76>
- Pincay Cantos, M. F., Sabando Vélez, E. J., & Zambrano Falcones, E. V. (2023). Estabilización de fangos activos en planta de tratamiento mediante la técnica de compostaje Bokashi. *Revista Científica y Tecnológica UPSE (RCTU)*, 10(2), 11-22.
- Prieto López G.E. (2015). *Control de calidad del proceso de compostaje en INCAUCA S.A.* [Trabajo de grado]. Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia.
- Pajuelo, L., Minchon-Medina, C. A., & Paredes-López, L. R. (2023). Efecto multivariado de mezclas de fertilizantes orgánicos e inorgánicos sobre el crecimiento de *Lactuca sativa L. Manglar*, 20(2), 131-137.
- Quintero López, J. (2021). *Comportamiento de microorganismos celulíticos y fijadores de nitrógeno asociados a Espeletia argétea en dos zonas con diferente grado de intervención en el páramo de Rabanal, Boyacá, Colombia*. [Trabajo de grado]. Universidad el Bosque, Bogotá, Colombia.
- Rashid, M., Soufane, E. M. Abdeljalil, Z., Khalid, A. (2023). *Effect of carbon to nitrogen ratio and aeration rate on phosphorus and exchangeable cation contents and their leaching in the soil during olive pomace and turkey manure co-composting*. *Journal of Engineering and Applied Science*, (70)12. Doi: <https://doi.org/10.1186/s44147-023-00177-w>
- Ringuelet, A., & Koristchoner, J. (2022). Quality evaluation of a household compost and its effect on lettuce (*Lactuca sativa L.*) multiplication and initial growth Evaluación de calidad de un compost domiciliario y su efecto en la multiplicación y crecimiento inicial de lechuga (*Lactuca sativa L.*).
- Rojas Vilela de Eche, C. C. & Yenque Lamas, L. N. (2021). *Revisión sistemática: Métodos de compostaje de residuos orgánicos*. [Trabajo de grado]. Escuela profesional de ingeniería ambiental, Lima, Perú.
- Ruiz Sinisterra, D. M., Moran Rosero, E. M. & Mendoza Hernández, M. A. (2022). Estrategia pedagógica para la enseñanza de la educación ambiental y de la tradición cultural mediante el sistema de compostaje en la huerta escolar de las instituciones educativas en el Distrito de Buenaventura. *Revista Sextante*, 27, pp. 18 - 25, 2022.
- Román, P., Martínez, M. M. & Pantoja, A. (2018). *Manual de compostaje del agricultor*. Santiago de Chile: FAO
- Rafael Avila, M. D. P. (2015). *Proceso de producción y aplicación del producto microorganismos eficaces en la calidad de compost a partir de la mezcla de tres tipos de residuos orgánicos*. [Trabajo de grado]. Universidad nacional del centro de Perú, Sapallanga–Huancayo.
- Rincón Rozo, T. D. (2021). Caracterización fisicoquímica y estandarización del compostaje producido a partir de los desechos orgánicos y de poda generados en el campus de la universidad ECCI ubicada en Bogotá, autopista norte, calle 170.

- Rieckmann, M. (2017). *Educación para los Objetivos de Desarrollo Sostenible: objetivos de aprendizaje*. UNESCO.
- Richard, T., & Trautmann, N. (1996). C/N ratio. Recuperado el 30 de agosto de 2023, de Cornell Waste Management Institute: [http://compost.css.cornell.edu/calc/cn\\_ratio.html](http://compost.css.cornell.edu/calc/cn_ratio.html).
- Rivas Zúñiga, S. C., & Giraldo Aristizábal, C. I. (2021). *Manual práctico de microbiología básica*. Editorial Universidad del Cauca
- Sango Viracocha, F. J. (2020). *Evaluación de un inoculante microbiano en el proceso de compostaje de residuos orgánicos de una granja porcina, Latanga, Ecuador*. [Trabajo de grado]. Universidad Internacional SEK, Latanga, Ecuador.
- Sánchez Aranda, P. (2021). *Cuantificación de grupos microbianos implicados en la capacidad biofertilizante del compost de origen industrial: estudio comparativo*. [Trabajo de grado]. Universidad de Almería, Almería, España.
- SENA. (2022). *El compostaje a partir de microorganismos eficientes*. Norte de Santander, Colombia: SENNOVA.
- Salazar Loaiza, A. M., & Ordoñez Guerrero, C. A. (2013). *Aislamiento e identificación de actinomicetos fijadores de nitrógeno en suelo del Jardín Botánico de la Universidad Tecnológica de Pereira*. [Trabajo de grado]. Universidad tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia.
- Siu-Rodas, Y., Calixto-Romo, M.A., Guillén-Navarro, K., Sanchez, J. E., Zamora-Briseño, J. A. & Amaya-Delgado, L. (2017). Bacillus subtilis with endocellulase and exocellulase activities isolated in the thermophilic phase from composting with coffee residues. *Revista Argentina de Microbiología*, 50(3), 234-243.
- Soto, P. J. L. (2023). Contraste de hipótesis. Comparación de más de dos medias independientes mediante pruebas no paramétricas: Prueba de Kruskal-Wallis. *Revista Enfermería del Trabajo*, 3(4), 166-171.
- Taladrid, I.J., & Espinosa, M.B. (2021). Semillas de rabanitos (*Raphanus sativus L*): observaciones de su morfología bajo microscopía electrónica, germinación y utilidad para estudios de fitotoxicidad.. *Polibotánica*, (51), 171-183. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.51.11>
- Tahiri, A., Raklami, A., Bechtaoui, N., Anli, M., Boutasknit, A., Oufdou, K., Meddich, A. (2021) Beneficial Effects of Plant Growth Promoting Rhizobacteria, Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Compost on Lettuce (*Lactuca sativa*) Growth Under Field Conditions. *Gesunde Pflanzen* 74, 219–235. <https://doi.org/10.1007/s10343-021-00604-Z>
- Toro Santillán, S. A. (2016). *Determinación de la relación carbono-nitrógeno de los residuos sólidos urbanos de la parroquia de limoncocha*. [Trabajo de grado]. Universidad internacional SEK, Limoncha, Ecuador.
- Torres, M., Ochoa-Álvarez, N. A., Nieto-Garibay, A., Murillo-Amador, B., Lavastida, G., & Alfonso, P. (2023). Inactivación de patógenos en residuos avícolas mediante el compostaje. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 34(4).
- Tortarolo, M. F., Pereda, M., Palma, M., & Arrigo, N. M. (2018). Influencia de la inoculación de microorganismos sobre la temperatura en el proceso de compostaje. *Ciencia del suelo*, 26(1), 41-50.
- Urriola, L., Castillo, K. M., & Vergara, M. D. (2021). Evaluación de la fitotoxicidad de abonos orgánicos comerciales usando semillas de lechuga (*Lactuca sativa L.*) y pepino (*Cucumis sativus*). *Revista Semilla Del Este*, 1(2), 1-11.

- Vargas-Pineda, O. I., Trujillo-Gonzalez, J. M. & Torres-Mora, M. A. (2019). *El compostaje, una alternativa para el aprovechamiento de residuos orgánicos en las centrales de abastecimiento*. Universidad de los llanos, 23(2), 123-129. doi: 10.22579/20112629.575.
- Vargas Barrantes, P., Castro-Barquero, L. (2018). Aislamiento y evaluación de microorganismos solubilizadores de fósforo de andisoles de costa rica. *Agronomía Costarricense* 43(1), 47-48.
- Vásquez Castro, E. R. (2022). *Consortios microbianos para potenciar el compostaje de residuos sólidos orgánicos a bajas temperaturas*. [Tesis Doctoral]. Universidad nacional Torbio Rodriguez de Mendoza de Amazonas. Chachapoyas, Perú.
- Vera Rojas, S. P. (2018). *Elaboracion de compost a partir de los residuos organicos generados en la limpieza de planta de la empresa*. [Trabajo de grado]. Universidad nacional de Piura, Piura;Peru.
- Velecela, S., Meza, V., García, S., Alegre, J., & Salas, C. (2019). Microbial enrichment vermicompost under two production system and its effects on radish (*Raphanus sativus* L.) production.
- Zarate Caja, R. B. (2019). *Mejoramiento del compost mediante la adición de estiércol de vacuno y de cuy para la disminución de la concentración de metales pesados en el CEPASC-Concepción, 2018*. [Trabajo de grado]. Universidad continental. Huancayo, Perú.
- Zamora Loor, K. A. (2018). *Comparación de dos tipos de compost tratados con diferentes aceleradores biológicos aprovechando los residuos orgánicos del sector de Pianguapí–Esmeraldas* [Trabajo de grado], Pontificia universidad catolica del Ecuador. Ecuador:Esmeraldas.
- Zichun Zhang, Huaikai Yang, Bin Wang, Chao Chen, Xiaoshuang Zou, Tuo Cheng, Jiang Li. (2023). Aerobic co-composting of mature compost with cattle manure: Organic matter conversion and microbial community characterization. *Bioresource Technology*, 328. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129187>.

## ANEXOS

**Anexo 1.** Prueba de normalidad (*Raphanus sativus*).

| Germinación | Tratamiento               | Shapiro-Wilk |                    |                  |
|-------------|---------------------------|--------------|--------------------|------------------|
|             |                           | Estadístico  | Grados de libertad | Significancia    |
| Hipocótilo  | Agua                      | 0,864        | 15                 | <b>0,028</b>     |
|             | Abono Comercial           | 0,950        | 15                 | 0,523            |
|             | Compost con bioinoculante | 0,916        | 14                 | 0,190            |
| Radícula    | Agua                      | 0,951        | 15                 | 0,540            |
|             | Abono Comercial           | 0,959        | 15                 | 0,683            |
|             | Compost con bioinoculante | 0,511        | 14                 | <b>&lt;0,001</b> |

**Anexo 2.** Prueba de normalidad (*Lactuca sativa*).

| <b>Germinación</b> | <b>Tratamiento</b>           | <b>Estadístico</b> | <b>Shapiro-Wilk<br/>Grados de<br/>libertad</b> | <b>Significancia</b> |
|--------------------|------------------------------|--------------------|--|----------------------|
| Hipocótilo         | Agua                         | 0,846              | 15   | <b>0,015</b>         |
|                    | Abono<br>Comercial           | 0,816              | 15   | <b>0,006</b>         |
|                    | Compost con<br>bioinoculante | 0,823              | 15   | <b>0,007</b>         |
| Radícula           | Agua                         | 0,810              | 15   | <b>0,005</b>         |
|                    | Abono<br>Comercial           | 0,870              | 15   | <b>0,033</b>         |
|                    | Compost con<br>bioinoculante | 0,757              | 15   | <b>0,001</b>         |