



Universidad
Internacional
de Andalucía

TÍTULO

**ANÁLISIS DE LA EFECTIVIDAD DE TRES TIPOS DE
BIOFERTILIZANTES EN EL RENDIMIENTO Y DESARROLLO DE
CULTIVOS DE LECHUGA (*LACTUCA SATIVA* L.) EN EL MUNICIPIO
DE TIBACUY – CUNDINAMARCA, COLOMBIA**

AUTORA

Paola Laverde Barrero

Esta edición electrónica ha sido realizada en 2024

Tutor	D. Antonio M. Alonso
Cotutor	Vandreé Palacios Bucheli
Instituciones	Universidad Internacional de Andalucía ; Universidad Pablo de Olavide
Curso	<i>Máster Universitario en Agricultura y Ganadería Ecológicas (2022/23)</i>
©	Paola Laverde Barrero
©	De esta edición: Universidad Internacional de Andalucía
Fecha documento	2023



Universidad
Internacional
de Andalucía



**Atribución-NoComercial-SinDerivadas
4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0)**

Para más información:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.en>



TÍTULO

ANÁLISIS DE LA EFECTIVIDAD DE TRES TIPOS DE BIOFERTILIZANTES EN EL RENDIMIENTO Y DESARROLLO DE CULTIVOS DE LECHUGA (*LACTUCA SATIVA* L.) EN EL MUNICIPIO DE TIBACUY – CUNDINAMARCA, COLOMBIA.

AUTOR

Paola Laverde Barrero

Máster Oficial en Agricultura y Ganadería Ecológicas

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Análisis de la Efectividad de Tres Tipos de Biofertilizantes en el Rendimiento y Desarrollo de Cultivos de Lechuga (*Lactuca Sativa* L.) en el Municipio de Tibacuy – Cundinamarca, Colombia.

Tutor

Antonio M. Alonso

Cotutor

Vandreé Palacios Bucheli

Autor

Paola Laverde Barrero

Universidad Internacional de Andalucía

2023

Universidad Internacional de Andalucía, 2023

Agradecimientos

Para comenzar, deseo expresar mi profundo agradecimiento a los agricultores de Colombia y el mundo que nos enseñan la fuerza, el trabajo arduo, el amor y el respeto por el territorio y sobre todo la resiliencia. Gracias a su labor tenemos alimento de calidad todos los días en nuestras mesas.

Agradezco también, a mi profesión ingeniería ambiental, que, por cosas de la vida, me condujo hacia el ámbito agropecuario, del cual me enamore. Agradezco a las personas que me mostraron que hay otras formas de hacer agricultura, que hay una manera más sana y sostenible, agradezco que aprendí junto a ellos el camino de la agroecología.

Agradezco haber podido viajar a España a conocer otra perspectiva del mundo y a estudiar este master, donde conocí profesores y compañeros increíbles e hice amigos maravillosos gracias a la agroecología, que ahora es mi camino de vida.

Agradezco a todas aquellas personas que fueron los pioneros en hablar sobre agroecología en un mundo donde la sostenibilidad solo queda en el papel, fueron ellos los que empezaron una lucha contra el sistema, siendo pocos y con nada de apoyo, demostraron que si se pueden hacer las cosas diferentes obteniendo resultados óptimos y que abrieron el camino para muchos y para diversas oportunidades.

Por último, agradezco a todas las personas que contribuyeron con este logro académico que ha sido enriquecido por diferentes vivencias y experiencias y sobre todo agradezco a mi familia que siempre me ha apoyado en todas mis decisiones.

RESUMEN

La investigación se desarrolló en el municipio de Tibacuy en el departamento de Cundinamarca en Colombia., en tres fincas situadas a alturas entre 1571 y 1739 msnm. El objetivo de este estudio fue analizar la efectividad de tres tipos de biofertilizantes en el rendimiento y desarrollo de cultivo de lechuga. Los biofertilizantes evaluados fueron: uno a base de boñiga de vaca, otro a base de microorganismos activados de montaña con pasto fermentado y el último fue un té de humus hidrolizado.

El proceso de germinación se realizó en las fincas y cuando estuvieron listas las plántulas se trasplantaron al lugar designado. La metodología de investigación utilizada fue un enfoque cuantitativo, específicamente un diseño experimental comparativo. En cada finca se establecieron cuatro camas, cada una con diez plantas de lechuga. Cada cama correspondió a un tratamiento de biofertilizante diferente y la cuarta cama fue el control (testigo).

Los biofertilizantes a base de boñiga de vaca y pasto fermentado requerían un proceso de fermentación de varias semanas y este tiempo como el resto de la receta se respetó al pie de la letra y la preparación se llevó a cabo con los agricultores en campo. Una vez listos los biofertilizantes y tras el trasplante de las plantas, se inició la aplicación en todas las fincas. Cada cama recibió la aplicación de su respectivo biofertilizante una vez por semana durante ocho semanas. Cada semana se tomaron datos sobre la altura y diámetro (desarrollo) de cada planta en cada cama y se llevó esta información a un registro físico, la última semana (semana ocho), cuando se cosecharon las plantas de lechuga, se tomó el peso en fresco de cada una, así como, la longitud de raíz, estos son los indicadores de rendimiento.

Los resultados obtenidos, revelaron que el tratamiento de control fue más efectivo en rendimiento y desarrollo, este mostró una ligera diferencia positiva en altura, diámetro y peso fresco. Cabe resaltar que el biofertilizante a base de boñiga de vaca mostró los mejores resultados en diámetro, peso y desarrollo de raíces, en comparación con el biofertilizante a base de microorganismos activados con pasto fermentado y el té de humus.

Palabras clave: Fermentación, efectividad, biofertilizantes, rendimiento, desarrollo.

ABSTRACT

The research was carried out in the municipality of Tibacuy in the department of Cundinamarca in Colombia, in three farms located at altitudes between 1571 and 1739 meters above sea level. The objective of this study was to analyze the effectiveness of three types of biofertilizers on the yield and development of the lettuce crop. The biofertilizers evaluated were: one based on cow dung, another based on activated mountain microorganisms with fermented grass, and the last one was a hydrolyzed humus tea.

The germination process was carried out on the farms and when the seedlings were ready, they were transplanted to the designated place. The research methodology used was a quantitative approach, specifically a comparative experimental design. Four beds were established on each farm, each bed with ten lettuce plants. Each bed corresponded to a different biofertilizer treatment and the fourth bed was the control.

The biofertilizers based on cow dung and fermented grass required a fermentation process of several weeks and this time, like the rest of the recipe, was followed to the letter and the preparation was carried out with the farmers in the field. Once the biofertilizers were ready and after transplanting the plants, the application began in all the farms. Each bed received the application of its respective biofertilizer once a week for eight weeks. Every week data on the height and diameter (development) of each plant in each bed were taken and this information was recorded in a physical record, the last week (week eight), when the lettuce plants were harvested, the weight was taken in freshness of each one, as well as the root length, these are the yield indicators.

The results obtained revealed that the control treatment was more effective in yield and development, this showed a slight positive difference in height, diameter and fresh weight. It should be noted that the biofertilizer based on cow dung showed the best results in diameter, weight and root development, compared to the biofertilizer based on microorganisms activated with fermented grass and humus tea.

Keywords: Fermentation, effectiveness, biofertilizers, yield, development.

Tabla de Contenido

1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1. Agroecología: una esperanza para el sector rural	4
2.2. Cultivo de Lechuga	8
2.2.1. Morfología de la Lechuga	11
2.3. Biofertilizantes	12
2.3.1. Ventajas de la aplicación de biofertilizantes	13
2.3.2. Efectos de la aplicación de biofertilizantes:	14
2.3.3. Importancia de los ingredientes comunes para la elaboración de los biofertilizantes.	15
2.3.4 Propiedades de los biofertilizantes	17
3. HIPÓTESIS	19
4. OBJETIVOS	19
4.1. Objetivo general	19
4.2. Objetivos específicos	19
5. MATERIALES Y MÉTODOS	19
5.1. Área de estudio	19
5.2. Estrategia y diseño de la investigación	20
5.2.1. Enfoque Cuantitativo	20
5.3. Variables de análisis	21
5.4. Montaje del experimento	22
5.4.1. Preparación de biofertilizantes	22
5.5. Cronograma de actividades previas a la fertilización	28
5.5.1. Germinación de lechugas	29
5.5.2. Establecimiento de camas (eras) y plantación de lechugas	29
5.5.3. Esquema del Cultivo de Lechuga por Finca	30
5.6. Fertilización	31
5.7. Siembra de Plantas	32
5.8. Toma de datos	33
5.8.1. Evaluación del desarrollo del cultivo	33
5.8.2. Evaluación del rendimiento del cultivo	34
5.9. Análisis de datos	34

6.	RESULTADOS.....	35
6.2.1.	Altura.....	36
6.2.2.	Diámetro.....	37
6.2.3.	Peso.....	37
6.2.4.	Longitud de raíz.....	38
7.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	38
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	41
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42
10.	ANEXOS.....	49

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1. Inflorescencia de la lechuga	10
Ilustración 2. Crecimiento y desarrollo	10
Ilustración 3. Ubicación del municipio de Tibacuy.....	20
Ilustración 4. Proceso de elaboración biofertilizante té de humus	23
Ilustración 5. Primera parte del proceso de elaboración de biofertilizante a base de microorganismos de montaña activados con pasto fermentado	25
Ilustración 6. Mezcla de ingredientes dentro del recipiente de 18 L.....	27
Ilustración 7. Germinación de lechugas	29
Ilustración 8. Siembra de lechugas en tresbolillo a 20 cm de distancia entre planta.....	30
Ilustración 9. Esquema De Cultivo De Lechuga Por Finca.....	30
Ilustración 10. Siembra de Plántulas de Lechuga.....	32
Ilustración 11. Avance en rendimiento y desarrollo plantas de lechuga por finca. Semana 1 a 7	32
Ilustración 12. Semana 8 – Semana de Cosecha	33
Ilustración 13. Comparación de variable altura con relación de tratamientos y fincas	36
Ilustración 14. Comparación de variable diámetro con relación de tratamientos y fincas... ..	37
Ilustración 15. Comparación de variable peso con relación de tratamientos y fincas.....	38
Ilustración 16. Comparación de variable raíz con relación de tratamientos y fincas	38

Lista de Tablas

Tabla 1. Principios fundamentales de la agroecología	6
Tabla 2. Datos del diseño experimental.....	21
Tabla 3. Ingredientes té de humus hidrolizado.....	22
Tabla 4. Ingredientes primera parte del biofertilizante de microorganismos de montaña activados con pasto fermentado.....	24
Tabla 5. Ingredientes para la elaboración del biofertilizante a base de microorganismos activados de montaña con pasto fermentado. Segunda parte	26
Tabla 6. Ingredientes para la preparación del biofertilizante a base de boñiga de vaca.....	28
Tabla 7. Cronograma de actividades previo a la aplicación de fertilizantes	28
Tabla 8. Cronograma de fertilización en las fincas del área de estudio	31
Tabla 9. Estadística descriptiva por tratamiento y variables dependientes	35
Tabla 10. Estadística descriptiva por finca y variables dependientes.....	35
Tabla 11. Estadística Descriptiva por Semana y variables dependientes	36

1. INTRODUCCIÓN

La producción de alimentos ha sido crucial para la supervivencia de la humanidad desde el inicio de la agricultura hace millones de años. En la década de 1960 llegó la Revolución Verde (RV), que trajo consigo un incremento de la productividad agrícola y por tanto de alimentos, la cual tuvo como objetivo satisfacer esta demanda a través de procesos más eficientes y aprovechando intensivamente las tierras de cultivo (cabe señalar que un aumento en la productividad agrícola no significa, necesariamente, mayor acceso a la alimentación), este hito en la historia de la agricultura marcó un antes y un después en la forma en que se producen los alimentos en todo el mundo.

Con el objetivo de aumentar la productividad agrícola, se implementaron diversas estrategias de modernización, entre las cuales se destacan la industrialización, el empleo de diversos insumos y maquinaria pesada y el desarrollo del mejoramiento genético. Aunque estas prácticas aumentaron la productividad, también tuvieron un impacto negativo en aspectos culturales, sociales, económicos, de salud humana y ambientales. En cuanto a este último aspecto se puede mencionar la erosión y la disminución de la fertilidad del suelo, el detrimento de nutrientes, la deforestación, la sobreexplotación de acuíferos, pérdida de biodiversidad debido al uso de organismos genéticamente mejorados (OGM), entre otros (Ceccon, 2008; Chilón, 2017).

Los impactos relacionados con aspectos socioculturales, han sido la pérdida de diversidad nativa y de saberes populares y campesinos, debido a que la revolución verde consideró la agricultura tradicional como obsoleta e ineficiente. Como consecuencia, nos hemos visto obligados a adoptar un modelo que fomenta el consumo y cultivo de solo unas pocas especies industrializables, manteniéndose esta práctica hasta el día de hoy. Además, lamentablemente, la diversidad genética nativa y ancestral de las comunidades campesinas ha ido a parar a grandes bancos de germoplasma que quedaron en manos de empresas transnacionales, bajo la excusa del mejoramiento genético (Blanco, 2021).

En el ámbito socioeconómico, el inicio del desarrollo genético, tuvo un impacto significativo en los pequeños productores, ya que implicó sacrificar las semillas locales, las cuales estaban adaptadas al ecosistema y no requerían grandes inversiones. Sin embargo, su rendimiento quizás no era tan alto, lo que gradualmente condujo a su reemplazo por semillas de mayor

productividad, prometiendo así mayores ingresos. No obstante, estas semillas exigían un paquete tecnológico (uso de fertilizantes, insecticidas, fungicidas, herbicidas y maquinaria, entre otros) para alcanzar dichos resultados. Sin embargo, la mayoría de estos agricultores no contaban con la capacidad económica para costear todos los insumos incluidos en dichos paquetes, lo que resultó en un aumento de las deudas y en consecuencia un incremento en la pobreza rural. Es importante mencionar que la falta de alguno de los insumos del paquete tecnológico, aumentaba significativamente las probabilidades de fracaso en la productividad de las cosechas y dificultaba el pago de las deudas adquiridas para su adquisición.

En la actualidad, tras décadas del inicio de la RV, una gran mayoría de pequeños agricultores en todo el mundo continúa sin tener acceso a cualquiera de estas tecnologías o al crédito para su obtención. Lo que evidencia que el modelo siempre ha sido desigual, concebido para beneficiar a grandes productores que cuentan con una base económica sólida. Así lo demostró Freebairn quien, en 1995, realizó un estudio de más de 300 casos sobre las consecuencias de la revolución verde durante el periodo de 1970- 1989, y concluyó que en más del 80% de los casos examinados, el resultado fue un aumento significativo de la desigualdad en zonas rurales (Ceccon, 2008).

Además de las consecuencias generadas por la RV a nivel mundial, en Colombia, los pequeños agricultores enfrentan hoy en día otros múltiples desafíos que dificultan su labor y hacen que cada día sea menos rentable: los altos índices de pobreza que afectan considerablemente el desarrollo y la productividad del campo, la infraestructura existente de transporte es precaria, falta de financiación para los nuevos proyectos, el conflicto armado, el desplazamiento, la infraestructura y logística en las áreas rurales del país, falta de competencias laborales en zonas rurales; tenencia de tierras, la calidad de vida; las técnicas y tecnologías utilizadas en el proceso de producción, también hay un rezago en la infraestructura para el control, manejo y aprovechamiento de aguas, lo que dificulta el desarrollo socioeconómico de las comunidades rurales y atenta contra la competitividad de sus emprendimientos productivos, la insuficiente regulación y normatividad asociadas al transporte de carga y ahora hay que añadirle otro factor que está golpeando fuertemente la productividad y es el poco desarrollo en estrategias para adaptación al cambio climático. (Castaño y Cardona, 2014).

Por otro lado, para cualquier tipo de proyecto productivo es indispensable el equilibrio económico entre los costos de producción y los precios de comercialización, aquí se identifica otro desequilibrio en la balanza contra el sector agrícola debido a los altos costos de producción y la baja competitividad de la misma. Dentro de estos factores determinantes se encuentra sin duda el costo de los agroquímicos, ya que como lo menciona Jiménez (2021), en el caso de los fertilizantes, el valor experimentó un notorio incremento en los últimos años. Entre 2015 y 2020 el precio por bulto (carga de 50 kg) oscilaba alrededor de los \$80.000, mientras que, en 2021, esta misma cantidad alcanzó un valor cercano a los \$220.000, lo que representa un aumento de hasta el 140%.

Otro tema importante con respecto a tierras son las grandes extensiones utilizadas para ganadería de baja productividad, las restricciones legislativas sobre tenencia de la tierra en Colombia y la posesión de tierras de vocación agrícola en poder de grupos al margen de la ley o en manos del Estado por extinción de dominio, lo que está impidiendo un crecimiento dinámico del sector (Castaño y Cardona, 2014).

Debido a todos los retos que enfrentan los agricultores en nuestro país y sumado a los impactos que dejó la RV, ha aumentado considerablemente la preocupación y enfoque por la preservación de los recursos naturales, la biodiversidad y el medio ambiente lo que ha llevado a la búsqueda de nuevas alternativas para mejorar la calidad y cantidad de los cultivos de forma sostenible. En este contexto, aparecen prácticas agroecológicas y dentro de ellas los biofertilizantes se presentan como una opción prometedora para mejorar la fertilidad del suelo y el rendimiento de los cultivos sin afectar los ecosistemas ni la salud humana.

Por ello es imprescindible que los productores tengan la capacidad de producir sus propios insumos agrícolas, tanto para sus cultivos comerciales como para aquellos destinados a autoabastecerse. Esta estrategia no solo mejoraría su rentabilidad, sino que también reduciría su dependencia de insumos químicos costosos y con graves consecuencias ambientales. Además, esto sería un paso fundamental hacia la soberanía alimentaria, un concepto cada vez más importante que defiende el derecho de los campesinos y los estados a elegir sus propias formas de producir y distribuir alimentos, basándose en sus necesidades culturales y agrícolas y, asimismo, busca favorecer a los pequeños productores y a la producción agroecológica, fomentando la diversidad en los cultivos, intentando cerrar la brecha entre los pequeños y

grandes productores y promover una relación armoniosa entre el ser humano y la naturaleza (Guinta, 2018).

Esta investigación se centró en analizar la efectividad de tres tipos de biofertilizantes en el cultivo de Lechuga, una de las hortalizas más cultivadas en Colombia, debido a su volumen de consumo (ICA, 2019). Estos biofertilizantes están diseñados para mejorar la fertilidad del suelo y el rendimiento de los cultivos de manera sostenible. La importancia de este estudio radica en brindar alternativas viables y más respetuosas con el ambiente a los pequeños productores agrícolas en Colombia, quienes podrían optimizar su producción y generar ingresos adicionales mientras reducen el uso de insumos costosos y perjudiciales y en consecuencia tener un impacto significativo en sus medios de vida.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Agroecología: una esperanza para el sector rural

La agroecología surge como una ciencia multidisciplinar y se consolida como un movimiento de renovación a partir de la década de 1970, para enfrentar los problemas causados por la pseudo-agricultura, y los conceptos de desarrollo económico aplicados a estos sistemas de producción (Monje, 2011) y a partir de los años 90 comienza a integrar, mucho más, conceptos sociales, económicos y políticos en su análisis (Méndez y Gliessman, 2002).

Esta práctica se convierte en una construcción popular, surgida de la alianza entre sectores campesinos e indígenas y de agricultura familiar y/o comunitaria y profesionales técnicos, como ecólogos, agrónomos, politólogos, sociólogos, antropólogos entre otros. Sus diversas experiencias relacionadas con el manejo y preservación de recursos naturales y biodiversidad contribuyen a la construcción de un modelo arraigado en Latinoamérica, impulsado por una dinámica participativa que involucra todo un núcleo de saberes y toma en cuenta a todas las partes interesadas en los sistemas agroalimentarios. La agroecología, persigue un manejo ecológico de los bienes naturales para, mediante iniciativas regionales internas, de índole socioeconómica, construir sistemas agroalimentarios locales y generar procesos de transformación y sustentabilidad entre productores y consumidores (Sevilla, 2015).

En resumen, la agroecología puede definirse como:

- Un enfoque de investigación científica que implica el estudio holístico de los agroecosistemas y sistemas alimentarios.

- Un conjunto de principios y prácticas que mejora la resiliencia y perdurabilidad de los sistemas alimentarios y agrícolas, mientras conserva la integridad social.
- Un movimiento socio-político, con nuevas visiones sobre la agricultura, la transformación, distribución y consumo de alimentos y sus relaciones con la sociedad y la naturaleza. (CIDSE, 2018)

Desde este punto de vista, la agroecología critica el enfoque de la seguridad alimentaria, que ha sido adoptado por las políticas neoliberales para orientar al sistema agroalimentario mundial, basado en el modelo de la RV. Este enfoque promueve la descontextualización de la producción de alimentos y la desvinculación de las relaciones sociales y los ecosistemas locales (Rosset y Martínez, 2013). Dicho enfoque al proponer el acceso global a los alimentos se ajusta a la monopolización del sector alimentario en donde las empresas transnacionales se imponen sobre las agriculturas locales, lo que provoca enormes desigualdades, inequidades y graves dependencias sobre los derechos de toma de decisiones sobre lo se produce, quien, cómo, para qué y para quiénes se produce. Además, estas políticas no toman en cuenta aspectos como la dieta y la cultura alimentaria, llevando a que los alimentos sean transportados a largas distancias, fácilmente atravesando el globo, para satisfacer antojos y caprichos, lo cual genera una significativa huella de carbono, otro impacto adicional generado por un erróneo modelo agroalimentario.

En contraste, la perspectiva de la soberanía alimentaria considera fundamental la capacidad de las personas para mantener y producir alimentos básicos sin tener que importarlos. Revisa y analiza al sistema agroalimentario globalizado identificándolo como el origen las desigualdades que provocan la falta de acceso a los alimentos para los sectores más vulnerables de la población (Pérez, 2010 & Holt, 2009).

Así mismo, La Vía Campesina (2015) rectificó su definición sobre la soberanía alimentaria de la siguiente manera: es el derecho de los pueblos a definir sus políticas agrícolas y de alimentos, a proteger y regular su producción nacional agrícola y ganadera, a proteger sus mercados domésticos del dumping de los excedentes agrícolas y de las importaciones a bajos precios de otros países. La soberanía alimentaria implica la organización de la producción y el consumo de alimentos de acuerdo con las necesidades de las comunidades locales, otorgando prioridad a la producción y el consumo domésticos y locales. En consecuencia, los trabajadores sin tierra, el campesinado y la pequeña agricultura deben tener acceso a la

tierra, el agua, las semillas y los recursos productivos, así como a un adecuado suministro de servicios públicos.

La soberanía alimentaria y la agroecología están estrechamente entrelazadas ya que comparten principios y objetivos comunes. Ambos enfoques buscan promover sistemas agroalimentarios sostenibles y justos, priorizando la participación, saberes y costumbres de las comunidades locales, campesinas e indígenas, dándoles voz en la toma de decisiones relacionadas con la producción y el consumo de alimentos.

En este sentido, la Tabla. 1 muestra, como CIDSE (2018) ha catalogado los principios fundamentales de la agroecología:

Tabla 1. Principios fundamentales de la agroecología

PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE LA AGROECOLOGÍA
<p>Dimensión Ambiental:</p> <ul style="list-style-type: none"> - La agroecología aumenta una interacción, una sinergia, una integración y una complementariedad positivas entre los elementos de los ecosistemas agrícolas (plantas, animales, árboles, tierra, agua, etc.) y los sistemas alimentarios. - La agroecología, crea y conserva la vida en el campo al proporcionar condiciones favorables para el crecimiento de las plantas. - La agroecología optimiza y cierra los ciclos de recursos (nutrientes, biomasa) al reciclar los nutrientes y biomásas existentes en los sistemas agrícolas y alimentarios. - La agroecología optimiza y mantiene la biodiversidad por encima y por debajo de la tierra a lo largo del tiempo y del espacio. - La agroecología elimina el uso y la dependencia de insumos sintéticos externos, lo que posibilita que los agricultores controlen las plagas, arvenses, y mejoren la fertilidad a través de una gestión ecológica. - La agroecología apoya la adaptación y resiliencia climáticas a la vez que contribuye a mitigar la emisión de gas efecto invernadero (reducción y retención) mediante el menor uso de combustibles fósiles y una mayor retención del carbono en la tierra.
<p>Dimensión Social y Cultural:</p> <ul style="list-style-type: none"> - La agroecología está arraigada en la cultura, la identidad, la tradición, la innovación y el conocimiento de las comunidades locales.

- La agroecología contribuye a las dietas saludables, diversificadas, estacional y culturalmente apropiadas.
 - La agroecología es intensiva en conocimiento y promueve contactos horizontales (de agricultor a agricultor) para compartir conocimientos, habilidades e innovaciones, junto con alianzas que otorgan igual peso al agricultor y al investigador.
 - La agroecología crea oportunidades y promueve la solidaridad y el debate entre personas de diversas culturas y entre poblaciones rurales y urbanas.
 - La agroecología respeta la diversidad y crea oportunidades para la gente joven y las mujeres y alienta el liderazgo de la mujer y la igualdad de género.
- La agroecología no requiere necesariamente una certificación externa costosa, ya que a menudo se basa en las relaciones productor-consumidor y las transacciones basadas en la confianza, promoviendo alternativas a la certificación tales como PGS (Sistemas Participativos de Garantía) y CSA (Agricultura de Apoyada por la Comunidad).

Dimensión Económica:

- La agroecología promueve redes de distribución razonables y pequeñas en lugar de las cadenas de distribución lineal y construye una red de relaciones transparentes (a menudo invisible en la economía formal) entre productores y consumidores.
 - La agroecología principalmente ayuda a proporcionar medios de vida a las familias campesinas y contribuye a crear mercados, economías y empleos locales más sólidos.
 - La agroecología se construye sobre la visión de una economía social y solidaria.
 - La agroecología promueve la diversificación de las rentas agrarias dando a los agricultores una independencia financiera mayor, aumenta la resiliencia al multiplicar los recursos de producción y medios de vida, promoviendo la independencia de aportaciones externas y reduciendo la falta de cultivo a través de su sistema diversificado.
- La agroecología saca partido al poder de los mercados locales al habilitar a los productores de alimentos para vender su producto a precios justos y responder activamente a la demanda del mercado local.

Dimensión Política:

- La agroecología jerarquiza las necesidades y los intereses de los pequeños productores de alimentos que suministran la mayoría del alimento mundial y resta importancia a los intereses de los grandes sistemas de industria alimentaria y agricultura.
- La agroecología pone el control de la semilla, la biodiversidad, la tierra y los territorios, el agua, el conocimiento y los bienes comunes en manos de la gente que forma parte del sistema alimentario y así consigue una gestión más integrada de los recursos.

- La agroecología puede cambiar las relaciones de poder al fomentar una mayor participación de los productores de alimentos y los consumidores en la toma de decisiones sobre los sistemas alimentarios y ofrece nuevas estructuras de gobierno.
- La agroecología precisa de un conjunto de políticas públicas complementarias de apoyo, legisladores e instituciones de apoyo, e inversión pública para alcanzar su pleno potencial.
- La agroecología fomenta formas de organización social necesarias para una gobernanza descentralizada y una gestión local flexible de los sistemas alimentario y agrícola. También incentiva la auto organización y gestión colectiva de grupos y redes a diferentes niveles, desde el local al global (organizaciones de agricultores, consumidores, organizaciones de investigación, instituciones académicas, etc.).

Fuente: CIDSE, 2018

En conclusión, la agroecología es una esperanza para el sector rural porque adopta un enfoque transformador para abordar la mitigación y adaptación al cambio climático, ayudando a los agricultores con la resiliencia, mediante la aplicación de principios ecológicos y humanísticos, mientras fortalece la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en las fincas. También la agroecología mejora la diversidad dietética y la nutrición al aumentar la disponibilidad y el acceso a fuentes de alimentos y dietas saludables y diversas. Varias prácticas agroecológicas como, policultivos e integración de cultivos, rotación de cultivos, sistemas silvopastoriles y especies acuáticas, agrosilvicultura, conservación de hábitats naturales, entre otros pueden aumentar la disponibilidad de especies cultivadas y silvestres para el consumo (Bezner et al., 2023).

2.2. Cultivo de Lechuga

Teniendo en cuenta que los principios sobre los cuales se basa la agroecología, promueven prácticas agrícolas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente, es fundamental examinar la aplicación de estos conceptos en el cultivo de lechuga, una hortaliza ampliamente cultivada y consumida en Colombia (ICA, 2019).

Según Sánchez (2005), la lechuga es una planta anual que pertenece a la familia Asteraceae y corresponde a la especie *Lactuca sativa*, presenta una gran diversidad genética ya que existen diferentes tipos de especies caracterizados por sus diferentes tipos de hojas y hábitos de crecimiento de la planta. La mayor densidad de raíces laterales está cerca de la superficie; por lo tanto, la absorción de nutrientes y agua ocurre mayormente en los niveles superiores

del suelo (Jackson, 1995). Su principal producción se concentra en zonas subtropicales. En la actualidad se cultiva al aire libre o en invernaderos, en suelo o en forma hidropónica; esta última evita las limitaciones que provocan las condiciones climáticas, luminosas y de suelo. Las lechugas se clasifican en diferentes especies dentro de las cuales se encuentran la de hoja suelta: *Lactuca sativa* L. var *crispa* L. Este tipo corresponde a las lechugas que forman cabeza, como las Great Lakes o Batavias. En este grupo se distinguen dos subtipos: las llamadas Iceberg, que forman una cabeza compacta y las Batavia, que forman una cabeza menos densa, son más pequeñas y de formas irregulares. En ambos casos, en su desarrollo la planta pasa desde un estado de roseta hasta que las primeras hojas se alargan, pero cada incremento en número de hojas aumenta el grosor de la planta hasta que se convierte en más ancha que larga cuando madura. Cuando alcanza 10 a 12 hojas, estas se ponen curvadas envolviendo las hojas interiores, lo cual lleva a formar una cabeza esférica. (Saavedra et al., 2017).

Cuando el periodo vegetativo de la lechuga llega a su madurez, se produce la elongación del tallo, que puede alcanzar 1 m de altura, y el periodo reproductivo comienza. Un tallo simple termina en una inflorescencia, la cual es una densa panícula corimbosa compuesta por muchos capítulos, cada uno consistiendo en varios floretes, que varían entre 12 a 20, como se puede ver en la *Ilustración 1*. Estos floretes son todos de tipo rayo, perfectos y fértiles, están rodeados de 3 o 4 filas de brácteas. Cada florete consiste en un simple, ligulado pétalo amarillo con cinco dientes. La parte baja está fusionada como un tubo y rodea los órganos sexuales. (Ryder, 1999).

Ilustración 1. Inflorescencia de la lechuga



Fuente: Saavedra et al., 2017

Crecimiento y desarrollo: El crecimiento de la lechuga puede ser dividido en cuatro estadios: plántula, roseta, encabezamiento (no en todos los tipos) y reproductivo, como se observa en la Ilustración 2, a continuación:

Ilustración 2. Crecimiento y desarrollo

Estado	
Plántula	
Roseta	
Encabezamiento	
Reproductivo	

Fuente: Saavedra et al., 2017

El estado de plántula comienza una vez que ha ocurrido la protrusión de la radícula a través de la cubierta seminal y se pueden distinguir tres etapas:

- Primera: en la semilla germinando, la radícula emerge y se transforma en la raíz pivotante.
- Segunda: los cotiledones emergen y se expanden.
- Tercera: el primer par de hojas verdaderas es formado, esto toma, desde la emergencia, unas 2 semanas.

Después que emerge, la radícula se elonga rápidamente para formar una raíz pivotante, la cual crece alrededor de 3 cm después de 48 horas y puede alcanzar una longitud de unos 60 cm o más. El crecimiento de las raíces laterales comienza unos pocos días después de la emergencia, formándose principalmente en la parte superior de la raíz principal, solo el 35% está bajo los 20 cm. Esto implica que la planta reacciona al suelo seco entre 0 y 20 cm de profundidad con reducción del contenido de agua en las hojas y fotosíntesis (Saavedra et al., 2017).

2.2.1. Morfología de la Lechuga

- **Las Hojas:** Las hojas son grandes, simples, sésiles, brillantes, de forma redondeada, oblonga, de superficie glabra, lisa a ondulada, de color verde, pasando por amarillo hasta rojo y con margen irregularmente sinuoso, recortado, crespo o denticulado. La disposición de las hojas en el tallo es variable, como se mencionó anteriormente, en algunas especies las hojas se mantienen desplegadas y abiertas y en otras, en cierto momento del desarrollo, las hojas se expresan de tal manera que forman una cabeza o cogollo más o menos consistente y apretada.
- **La Flor:** Cuando la lechuga está madura emite el tallo floral, que se ramifica, éste alcanza una altura de hasta 1.20 metros, se observa una diferencia de hojas abrasadoras, sagitadas, auriculadas y progresivamente más pequeñas hacia su extremo distal, en que se produce un capítulo terminal y una serie de ramas con muchos capítulos pequeños agrupados en panículas o corimbos. Cada capítulo se compone de un involucre de brácteas herbáceas, erectas y sobrelapadas, rodeando entre 10 y 20 flores perfectas, liguladas, de corola color amarillo o blanco amarillento.
- **Fruto:** Después de la autofecundación se producen frutos secos, indehiscentes y uniseminados llamados aquenios, generalmente con pelos apicales formando el vilano; los

que son comprimidos, agudos de 2 a 3 mm de largo, blancos o negros, y son conocidos en términos prácticos como la “semilla” de la especie.

- **La Semilla:** En algunas variedades de lechuga las semillas tienen un periodo de latencia después de su recolección, que es inducido por altas temperaturas. Muchas variedades germinan mal en los primeros dos meses después de su recolección.
- **La Raíz:** Nunca llega a sobrepasar los 25 centímetros de profundidad, es pivotante, corta y con ramificaciones.
- **El Tallo:** El tallo es comprimido y en éste se ubican las hojas muy próximas entre sí, generando el hábito de roseta típico de la familia. Es cilíndrico y ramificado. (Sánchez, 2005)

2.3. Biofertilizantes

De acuerdo con Restrepo y Agredo (2020), los biofertilizantes son abonos líquidos, preparados a base de boñiga de vaca fresca, disuelta en agua y enriquecida con suero o leche, ceniza o fosfitos y melaza, que se ha puesto a fermentar por varios días en recipientes o tanques de plástico, bajo un sistema anaeróbico y muchas veces enriquecidos con harina de rocas molidas, con algunas sales minerales o con sulfatos como lo son de magnesio, zinc, cobre entre otros. Estos biofertilizantes sirven para nutrir, recuperar y reactivar la vida del suelo; fortalecen la fertilidad de las plantas y la salud de los animales, al tiempo que estimulan la protección de los cultivos contra el ataque de insectos y enfermedades. Los biofertilizantes sustituyen por completo el uso de fertilizantes químicos altamente solubles de la industria, que son muy caros y vuelven dependientes a los campesinos, haciéndolos cada vez más pobres. Funcionan al interior de las plantas, fortaleciendo la armonía nutricional como su mecanismo de defensa, a través de ácidos orgánicos, hormonas de crecimientos, antibióticos, vitaminas, minerales, enzimas y co-enzimas, carbohidratos, aminoácidos y azúcares, complejas y simples, siempre presentes en las reacciones y relaciones biológicas, químicas, físicas y energéticas que se establecen entre las plantas y la vida del suelo.

De acuerdo con Herrán et al. (2008), el desarrollo de sistemas de producción alternativos, que se caracterizan por prescindir de agroquímicos y utilizar constantemente fuentes de materia orgánica, ofrece la posibilidad de mantener un equilibrio saludable entre las plantas y el suelo, logrando una buena producción mediante la aplicación de humus, vermicompost, compost, abonos verdes, abonos líquidos y biofermentos. Estos abonos, cuando se integran en el sistema productivo, mejoran la productividad tanto a nivel familiar como comercial,

pero el mayor beneficio radica en la optimización de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Romero et al., 2012; Zagoya, 2013).

Los agricultores latinoamericanos han estado desarrollando la producción de biofermentos durante mucho tiempo. Estos biofermentos se presentan como una herramienta agrícola que permite reducir o incluso reemplazar los abonos químicos de alta solubilidad, lo que ayuda al productor a disminuir su dependencia de insumos externos (Xiu, 2018).

Los biofertilizantes enriquecidos con cenizas fosfitos, sales minerales, sulfatos o harina de rocas molidas, después del periodo de fermentación (30 a 90 días), están listos y equilibrados en una solución tampón y coloidal, cuyos efectos pueden ser superiores de 10 a 100.000 veces con respecto a las cantidades de micronutrientes que recomienda la agroindustria para aplicar al suelo y a los cultivos de forma foliar. (Restrepo y Agredo, 2020)

Los biofertilizantes presentan numerosas ventajas sobre los productos químicos convencionales para usos agrícolas, entre los cuales se destaca: 1) los formulados microbiológicos se consideran más seguros que los productos químicos, 2) los microbios no se acumulan en la cadena trófica, 3) no entran sustancias tóxicas en la cadena trófica en contraste con muchos pesticidas químicos, 4) la replicación de los microorganismos en el ecosistema ahorra aplicaciones repetidas, 5) cuando se utilizan como agentes de biocontrol, los organismos objeto de ataque pocas veces desarrollan resistencia como sucede con los pesticidas químicos, y 6) los agentes de biocontrol no se consideran dañinos para los procesos ecológicos y medioambientales (Kohler, 2008).

2.3.1. Ventajas de la aplicación de biofertilizantes

Además de los beneficios mencionados anteriormente, a continuación, se mencionan otras ventajas y resultados que se logran con la aplicación de biofertilizantes en los cultivos (Restrepo 2007):

- Utilización de recursos locales, fáciles de conseguir (boñiga de vaca, melaza, leche, suero, etc.).
- Inversión económica baja (tanques o barriles de plástico, niples, mangueras, botellas desechables, etc.)
- Tecnología de fácil apropiación por los productores (preparación, aplicación, almacenamiento).
- Se observan resultados a corto plazo.

- Independencia de la asistencia técnica viciada y mal intencionada.
- El aumento de la resistencia contra el ataque de insectos y enfermedades.
- Los cultivos perennes tratados con los biofertilizantes se recuperan más rápidamente del estrés poscosecha y pastoreo.
- La longevidad de los cultivos perennes es mayor
- El aumento de la cantidad, el tamaño y vigorosidad de la floración.
- El aumento en la cantidad, la uniformidad, el tamaño y la calidad nutricional; el aroma y el sabor de lo que se cosecha.
- Los ahorros económicos que se logran a corto plazo, por la sustitución de los insumos químicos (venenos y fertilizantes altamente solubles).
- La eliminación de residuos tóxicos en los alimentos.
- El aumento de la rentabilidad.
- La independencia de los productores del comercio al apropiarse de la tecnología.
- La eliminación de los factores de riesgo para la salud de los trabajadores, al abandonar el uso de plaguicidas.
- El mejoramiento y la conservación del medio ambiente y la protección de los recursos naturales, incluyendo la vida del suelo.
- El mejoramiento de la calidad de vida de las familias rurales y de los consumidores.
- El aumento de un mayor número de ciclos productivos por área cultivada para el caso de hortalizas (incremento del número de cosechas por año).

2.3.2. Efectos de la aplicación de biofertilizantes:

Así también, (Restrepo, 2007) nombra algunos efectos que se pueden lograr con la aplicación de los biofertilizantes en el suelo, como:

- El mejoramiento diversificado de la nutrición disponible del suelo para las plantas.
- El desbloqueo diversificado de muchos nutrimentos que no se encuentran disponibles para los cultivos.
- El mejoramiento de la biodiversidad, la actividad y la cantidad microbiana (ecoevolución biológica del suelo).
- El mejoramiento de la estructura y la profundidad de los suelos.
- Aumento de la capacidad del intercambio catiónico (CIC).
- Aumento de la asimilación diversificada de nutrimentos por parte de las plantas.

- Mejoramiento de los procesos energéticos de los vegetales a través de las raíces y su relación con la respiración y la síntesis de ácidos orgánicos.
- Estimulación precoz en la germinación de semillas y aumento del volumen radicular de las plantas.
- Aumento del contenido de vitaminas, auxinas y antibióticos en relaciones complejas entre raíz y suelo.
- Estimulación de la ecoevolución vegetal diversificada, para la recuperación, revestimiento y protección de los suelos con capa vegetal verde.
- Estimula la formación de ácidos húmicos, de gran utilidad para la salud del suelo y los cultivos.
- Aumento de la microdiversidad mineral del suelo disponible para las plantas.
- Aumento de la resistencia de las plantas contra el ataque de enfermedades principalmente de las raíces.
- Mejoran la bioestructuración del suelo y la penetración de las raíces hasta las capas más profundas.
- Estimulan las rizobacterias como promotoras del crecimiento de las plantas y de la bioprotección.
- Aumento del tamaño y volumen de las raíces, con el incremento de la materia orgánica en el suelo (abonera orgánica subterránea).
- Finalmente, debido a las características altamente quelantes que poseen los biofertilizantes, facilitan la nutrición equilibrada del suelo y maximizan el aprovechamiento mineral por los cultivos.

2.3.3. Importancia de los ingredientes comunes para la elaboración de los biofertilizantes. (Xiu, 2018).

- **Agua:** Con el agua y los materiales se genera una solución que propician las condiciones esenciales para el buen desarrollo de todas las actividades y reproducción de microorganismos. El agua es de suma importancia para la sobrevivencia de los microorganismos y para que no se rigidicen los abonos líquidos; es de suma importancia evitar el uso de agua contaminada y/o clorada. Si el agua es potable es necesario dejarla en reposo durante un día para que evapore el cloro, por lo tanto, es recomendable almacenar y usar agua de lluvia (Infante, 2011).

- **Estiércol:** El aporte principal del estiércol son los microorganismos indispensables para que ocurra la fermentación, tienen un aporte en: hongos, protozoos y bacterias que son responsables de digerir la materia orgánica, metabolizar los minerales y proporcionar a las plantas nutrientes (Restrepo, 2009). Por otro lado, permite disminuir la acidez de la mezcla, elevando el pH, aportando compuestos que se degradan muy rápido, y ayuda a iniciar el proceso de descomposición (Infante, 2011)
- **Melaza/Azúcar:** La principal función de la melaza/azúcar es aportar la energía necesaria para activar el metabolismo microbiológico para que el proceso de fermentación tenga un mayor potencial de desarrollo del producto, además que aporta minerales como: calcio, potasio, fósforo, boro, hierro, azufre, manganeso, zinc y magnesio. (Restrepo, 2007; 2009)
- **Levaduras:** Infante (2011), indica que la levadura contiene hongos microscópicos unicelulares que ayuda a tener una buena descomposición mediante la fermentación de hidratos de carbono principalmente.
- **Suero/Leche:** La leche y el suero aportan vitaminas, proteínas, grasas y aminoácidos que les permiten la formación de otros compuestos orgánicos que se generan durante el periodo de la fermentación (Restrepo, 2001). Según Infante (2011), estos productos contienen bacterias y enzimas que ayudan a descomponer y generar proteínas llamadas caseína que enriquece el medio, favoreciendo el desarrollo de microorganismos y eliminan hongos y bacterias indeseadas.
- **Microorganismos de montaña:** El medio natural alberga millones de microorganismos diversos entre hongos, bacterias, actinomicetos, protozoarios y otros que pueden ser utilizados para la elaboración de los biofertilizantes. Para identificar si los microorganismos capturados son de buena calidad, es necesario que tenga una coloración blanca cremosa o café y que tenga un agradable olor, si se encuentra una coloración negra no es de buena calidad (Xiu, 2018).
- **Harina de roca:** Son ricas en elementos como el silicio, aluminio, hierro, calcio, magnesio, sodio, potasio, cobre, zinc, fósforo y azufre. La forma de aprovecharlo en estos tiempos es mediante las técnicas biológicas de fermentación como es el biol, permitiendo con una gran facilidad la preparación y la aplicación foliar de forma eficiente en las plantas (Bernal y Rojas, 2014).

- **Sales minerales:** Son sustancias sólidas inorgánicas de origen natural que generan un efecto sobre la fertilidad del suelo, activan y enriquece la fermentación y tiene como función principal nutrir la planta, al incluirlas en la fermentación los microorganismos cobran vida a través de la digestión de las sales (Restrepo, 2009). Prácticamente, todos los minerales se derivan de formaciones geológicas y pueden ser utilizado como fertilizantes para el cultivo, por ejemplo: sulfato de hierro, sulfato de zinc. Otros elementos se pueden encontrar en su mayoría en casas comerciales, para enriquecer el biol y cubrir las necesidades de cultivo (Infante, 2011).

2.3.4 Propiedades de los biofertilizantes

- **Biofertilizante fermentado a base de boñiga de vaca**

Enriquecido con algunas sales minerales, harinas de rocas y cenizas, se puede encontrar elementos como: Nitrógeno, potasio, fósforo, calcio, magnesio, sodio, azufre, cloro, silicio, litio, vanadio, cobre, molibdeno, plata, cromo, zinc, selenio, estroncio, iodo, cadmio, cobalto, plomo, níquel, rubidio, cesio, bario, estaño, berilio, y bromo, entre otros. También se pueden encontrar algunas vitaminas como: Tiamina, pirodoxina, ácido nicotínico, ácido pantoténico, riboflavina, cobalamina, ácido ascórbico, ácido fólico, pro vitamina A, ergosterol, alfa amilasa y aminoacilasa. Entre los ácidos orgánicos se destacan: aconítico, carólico, fumárico, gláucico, cítrico, byssoclámico, carolínico, gálico, glucuronico, láctico, cárlico, fúlvico, gentésico, kójico y puberúlico. En este tipo de biofertilizantes también se puede encontrar hormonas, hongos, bacterias y levaduras muy importantes para lograr la producción de cultivos sanos y saludables, “inmunes” al ataque de enfermedades y plagas (Restrepo, 2007).

- **Biofertilizante a base de microorganismos de montaña**

El biol de pasto fermentado con microorganismos de montaña es un buen sustituto de los abonos orgánicos a base de sustratos de origen animal, cuando no hay disponibilidad del estiércol.

De acuerdo con Montero (2019), el pasto fermentado es materia orgánica en forma sólida, y se lo puede aplicar en biofertilizantes tanto de forma líquida como sólida. Es una forma natural y sostenible de mejorar la calidad del suelo y promover el crecimiento de las plantas. Estos fertilizantes contienen una variedad de nutrientes esenciales y microorganismos que son beneficiosos para el desarrollo de las plantas. Entre las propiedades a destacar: aporte de

nutrientes, mejora la estructura del suelo al aumentar su capacidad de retención de agua y aireación. Esto permite que las raíces de las plantas se desarrollen de manera más eficiente y facilita la absorción de nutrientes, también estimula la actividad microbiana ya que contiene una gran cantidad de microorganismos beneficiosos, como bacterias y hongos, los que a su vez promueven la descomposición de la materia orgánica, liberando nutrientes adicionales en el suelo y mejorando la disponibilidad de nutrientes para las plantas y fomenta la biodiversidad del suelo entre otros. Además, en el pasto fermentado, los microorganismos de montaña son los encargados de favorecer la fermentación de los materiales y reproducir una mayor cantidad de microorganismos benéficos que se ocupan, posteriormente, en la elaboración de los abonos orgánicos líquidos.

- **Té de humus hidrolizado**

Los ingredientes de este abono foliar casero son: humus e hidróxido de potasio. El humus contiene nutrientes minerales acomplexados que son liberados gracias al proceso de hidrólisis, de esta manera se incrementa la probabilidad de que los nutrientes queden en formas químicas susceptibles de penetrar por vía foliar. Además, el humus hidrolizado contiene compuesto de carbono que al depositarse en la superficie de la hoja constituyen una fuente de energía para favorecer el crecimiento de organismos saprófitos, algunos con acción antagónica a organismos patógenos (Saborío, 2002; Khan et al., 2014; Tadayyon et al., 2018; Zamora et al., 2017). Por último, cuando el humus hidrolizado cae al suelo, ayuda a mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas de este, también promueve la formación de agregados del suelo, mejorando su porosidad y capacidad de retención de agua. (Lavelle y Spain, 2003; Coleman et al., 2017).

En resumen, los abonos foliares elaborados de forma casera representan una herramienta efectiva y versátil en sistemas de producción a pequeña y mediana escala, especialmente aquellos gestionados bajo enfoques agroecológicos. Sin embargo, para aprovechar al máximo estos abonos, es crucial utilizar insumos como sales minerales, urea o cenizas, que puedan ser fácilmente absorbidos por las plantas a través de sus hojas.

Adicionalmente, al aplicar materiales orgánicos, se favorece la salud de las plantas y se estimula el desarrollo de una microbiota benéfica en el suelo al promover un entorno propicio para el crecimiento de microorganismos benéficos (Orozco y Calvo, 2019).

3. HIPÓTESIS

La aplicación de uno o varios de los tres tipos de biofertilizantes, uno a base de microorganismos de montaña activados con pasto fermentado, otro a base de boñiga de vaca y el último, té de humus hidrolizado, promueven de manera efectiva el desarrollo y rendimiento del cultivo de *Lactuca sativa*.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Analizar la efectividad de tres tipos de biofertilizantes en el rendimiento y desarrollo del cultivo de *L sativa*, en el municipio de Tibacuy, Cundinamarca (Colombia).

4.2. Objetivos específicos

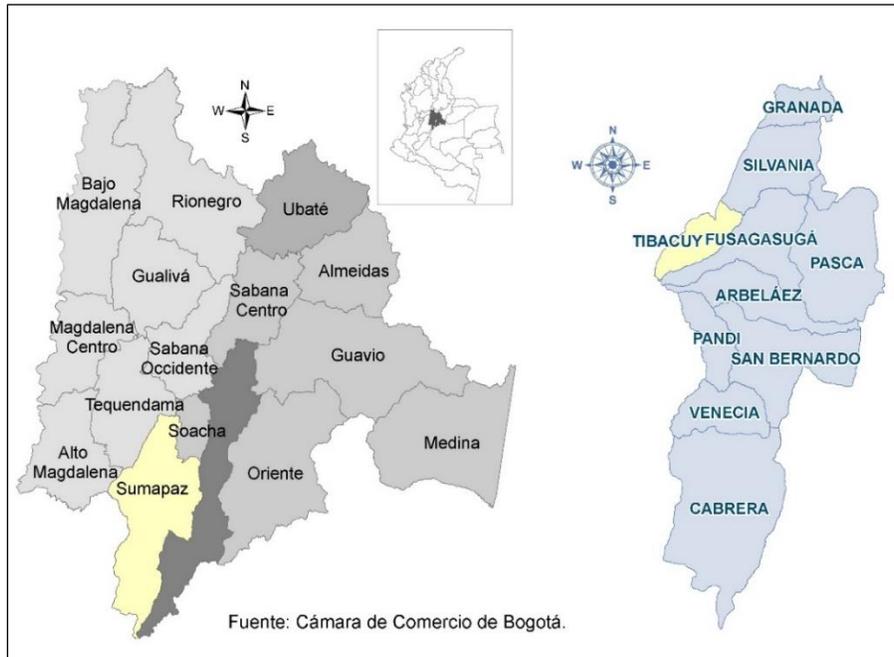
- Analizar el desarrollo del cultivo de *L sativa* frente a la aplicación de los tres tipos de biofertilizantes, tomando como indicadores altura (cm) y diámetro (cm).
- Analizar el rendimiento del cultivo de *L sativa* frente a la aplicación de los tres tipos de biofertilizantes, tomando como indicadores peso fresco (g) y longitud de raíz (cm).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Área de estudio

El presente estudio se realizó en tres fincas que se describen a continuación: San Rafel (1571 msnm), Tijiky (1653 msnm) y Quininí Zimbawe (1739 msnm), ubicadas en la vereda La Vuelta del municipio de Tibacuy, en la provincia del Sumapaz en Cundinamarca (Ilustración 3), a aproximadamente 80 km de Bogotá. Estas fincas tienen una tradición cafetera y una herencia indígena, ya que colindan con el cerro Quininí, conocido como "Montaña sagrada de la Luna" en la lengua de las comunidades indígenas *Panches* y *Sutagaos* que solían habitar la zona. Este cerro se constituyó como reserva forestal desde 1987 y abarca 1900 hectáreas. Las tres fincas se dedican al cultivo ecológico de café y plátano, y sus productores están comprometidos con la producción de alimentos de manera saludable, limpia y sostenible.

Ilustración 3. Ubicación del municipio de Tibacuy



Fuente: Cámara de comercio de Bogotá, 2021 (Bogotá, 2021)

5.2. Estrategia y diseño de la investigación

5.2.1. Enfoque Cuantitativo

La investigación se desarrolló utilizando un enfoque cuantitativo, específicamente un diseño experimental comparativo. El enfoque cuantitativo usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías. Asimismo, esta metodología brinda una gran posibilidad de réplica y un enfoque sobre puntos específicos de los fenómenos de estudio y además facilita la comparación entre estudios similares.

Por su parte, el diseño experimental consiste en hacer un cambio en el valor de una variable (variable independiente) y observar su efecto en otra variable (variable dependiente). Esto se lleva a cabo en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular. Los métodos experimentales son los adecuados para poner a prueba hipótesis de relaciones causales. (Hernández et al., 2010).

Variable independiente: es la variable que causa el cambio en el fenómeno estudiado y es aquella que el investigador puede manipular.

Variable dependiente: Es la variable que recopila las modificaciones que tienen lugar al manipular la variable independiente. Será aquello que se debe observar y medir.

5.2.1.1. Características de la investigación experimental

- ✓ Equivalencia estadística de sujetos en diversos grupos normalmente formados al azar: los sujetos se reúnen en grupos equivalentes para que de esta forma las diferencias en los resultados de la investigación no sean provocadas por diferencias iniciales entre los grupos de sujetos.
- ✓ Comparación de dos o más grupos o conjuntos de condiciones: es necesario que haya un mínimo de dos grupos de sujetos para establecer comparaciones entre ellos, ya que un experimento no se puede llevar a cabo con un único grupo y una única condición experimental.
- ✓ Manipulación directa de una variable independiente: Un experimento consiste en manipular variables independientes para observar su efecto en las variables dependientes. Por ello, es una de las características más distintivas del enfoque experimental.
- ✓ Medición de cada variable dependiente: deben poder asignarse valores numéricos a las variables dependientes.
- ✓ Uso de estadística inferencial: la estadística inferencial nos permite hacer generalizaciones a partir de las muestras de sujetos analizadas (Alonso et al., 2010).

5.3. Variables de análisis

En la Tabla 2, se describen las variables de análisis y los indicadores que sirvieron para el desarrollo de la investigación. Igualmente, se presentan detalles del diseño experimental llevado a cabo.

Tabla 2. Datos del diseño experimental

DATOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL	
VARIABLES DEPENDIENTES	<ul style="list-style-type: none"> - Altura (cm) - Diámetro (cm) - Peso fresco (g) - Longitud de raíz (cm)
VARIABLES INDEPENDIENTES	<ul style="list-style-type: none"> - Biofertilizante a base de boñiga de vaca - Biofertilizante a base de microorganismos de montaña - Biofertilizante Té de humus hidrolizado - Testigo

Unidades de investigación	- Finca San Rafael - Finca Tijiky - Finca Quininí Zimbawe
Repeticiones por finca	Cada finca tuvo 4 camas de cultivo, cada una con 10 plantas de lechuga. De estas camas, tres estaban asignadas a un tipo de biofertilizante específico, mientras que la cuarta cama se utilizó como grupo de control o testigo. Es decir, por finca se sembraron 40 plantas de lechuga.

5.4. Montaje del experimento

5.4.1. Preparación de biofertilizantes

De cada biofertilizante se elaboró uno por finca, es decir tres tipos diferentes de biofertilizante por finca, para un total de 9 preparaciones. Cada biofertilizante se hizo en un recipiente de 18 litros, la literatura (Restrepo y Agredo, 2020) se basa en un recipiente de 200 litros, por lo cual se hizo la proporción adecuada, según lo requerido.

5.4.1.1. Té de humus hidrolizado

En la tabla 3, se describen los ingredientes y las cantidades para la preparación del biofertilizante.

Tabla 3. Ingredientes té de humus hidrolizado

Té de humus hidrolizado	
Ingredientes	Cantidades (por finca)
	Para un recipiente de 18 L
Agua (L)	13,5
Humus de lombriz (Kg)	4,6
Hidróxido de potasio (Kg)	0,36

- **Preparación:** Primero se coloca la mitad del volumen del humus de lombriz (2,3 Kg) en el fondo del recipiente plástico de capacidad de 18 litros, bien seco; luego se coloca la mitad del hidróxido de potasio (180 g) encima del humus, después se agregan los otros 2,3 Kg de humus restantes y luego la otra mitad del hidróxido de potasio. En forma lenta y gradual, se adiciona el agua y se agita lenta y constantemente con un bastón de madera largo, hasta lograr una mezcla homogénea, viscosa, negra y brillante. Se tapa el recipiente y se deja en reposo. Aproximadamente cada 12 horas durante 3 días se destapa y se mezcla con el bastón durante unos 5 minutos, para lograr un preparado homogéneo.

Al cabo de los 3 días, se completa el proceso de hidrólisis.

Observación: Entre más lentamente se agrega el agua, mejor se aprovecha el calor de la reacción exotérmica (alto desprendimiento de calor) provocada por el hidróxido de potasio.

- **Aplicación:** Una vez terminado el tiempo de espera para que el producto esté listo, se puede aplicar en las partes aéreas de los cultivos, en proporción de 3 litros por cada 100 litros de agua; para mejorar su adherencia y su respuesta nutricional en los cultivos, a la mezcla se le puede agregar 2 litros de melaza de caña. El producto se debe tamizar, utilizando un colador plástico. El resto del producto se deja en el recipiente y se tapa protegiendo de la lluvia y del sol bajo sombra.
- **Dosis:** 3 litros del preparado x 100 litros de agua
- **Elaboración en campo:** En la ilustración 4 se muestra como fue el proceso de elaboración del biofertilizante de té de humus hidrolizado, junto con los productores de las tres fincas.

Ilustración 4. Proceso de elaboración biofertilizante té de humus



5.4.1.2. Microorganismos de Montaña Activados con Pasto Fermentado

Este tratamiento se divide en dos partes, en la primera se hace la preparación del pasto fermentado, el cual debe tener un tiempo mínimo de fermentación de un mes. En la segunda parte se hace la preparación del biofertilizante, para el cual su principal insumo es el pasto fermentado.

➤ **Primera Parte**

En la tabla 4, se describen los ingredientes y las cantidades para el primer paso de la preparación del biofertilizante de microorganismos de montaña activados con pasto fermentado.

Tabla 4. Ingredientes primera parte del biofertilizante de microorganismos de montaña activados con pasto fermentado

Microorganismos de montaña activados con pasto fermentado (1 mes de fermentación)	
Ingredientes	Cantidades por finca Para un recipiente de 18 L
Pasto picado fresco (Kg)	2
Salvado o sémola de arroz (Kg)	8
Melaza (L)	0,4
Microorganismos líquidos MM (L)	0,4
Microorganismos sólidos MM (Kg)	0,3

- **Preparación:**

- Mezclar todos los ingredientes de manera uniforme y homogénea sobre una superficie, antes de llevar al tanque.
- Llenar el tanque o recipiente, con la mezcla anterior, el material dentro del recipiente debe quedar muy bien compactado, se aconseja pisar.
- Dejar un mes en fermentación aerobia o anaerobia

Nota: El producto se puede guardar por 2-3 años, entre más tiempo, es mejor el producto.

- **Elaboración en campo:** en la ilustración 5, se observa la primera parte de la elaboración del biofertilizante a base de microorganismos de montaña activados con pasto fermentado.

Ilustración 5. Primera parte del proceso de elaboración de biofertilizante a base de microorganismos de montaña activados con pasto fermentado



➤ **Segunda Parte**

Cuando paso el tiempo aconsejado (un mes) para la fermentación de los microorganismos de montaña activados en forma de pasto fermentado, la preparación resultante se tomó como insumo principal para la segunda parte de la preparación del biofertilizante. En la tabla 5, se describen los demás ingredientes, a parte del paso fermentado y sus cantidades para la preparación final del biofertilizante.

Tabla 5. Ingredientes para la elaboración del biofertilizante a base de microorganismos activados de montaña con pasto fermentado. Segunda parte

Microorganismos activados de montaña con pasto fermentado (2 meses de fermentación)	
Ingredientes	Cantidades por finca
	Para un recipiente de 18 L
Pasto fermentado (Kg) - primer paso	4,5
Agua de lluvia o nacimiento (L)	16,2
Leche (L)	0,2
Suero (opcional si no se tiene leche)	0,4
Melaza (L)	0,2
Ceniza de lecho o fosfitos (Kg)	0,3
Sulfato de magnesio (g)	125
Sulfato de cobre (g)	125
Sulfato de zinc (g)	125
Harina de rocas (g)	125

- **Otros materiales a tener en cuenta:**

- Botella plástica
- Manguera plástica de ½”
- Neumático de bicicleta
- Funda de almohada
- Alambre de cobre
- Gramera de gancho
- Flanche o adaptador macho y hembra de ½”

- **Preparación:**

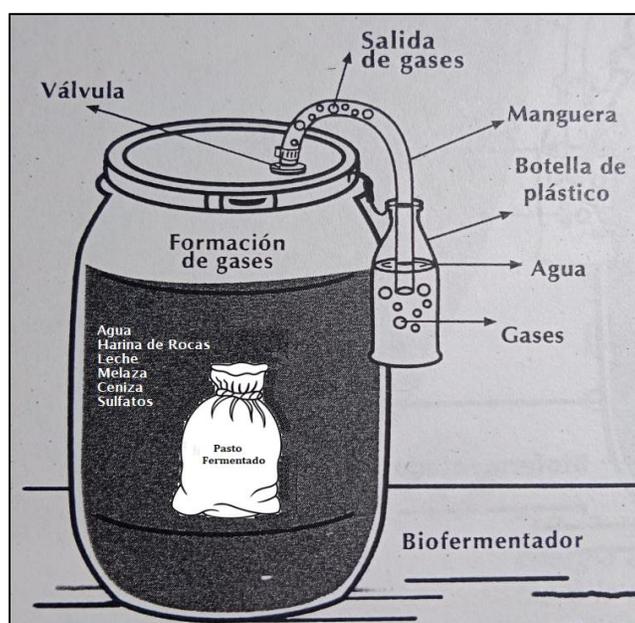
- Dentro de la funda de almohada se pone el pasto fermentado, se cierra con un cordón y se introduce en el tanque. La funda de almohada ayuda a filtrar el pasto fermentado.
- Luego se va adicionando dentro del tanque y encima de la funda, los demás materiales, sin incluir el agua y se empieza a revolver hasta lograr una mezcla homogénea.
- Finalmente, se adiciona el agua y se sigue mezclando. Se debe dejar un espacio libre entre toda la mezcla de materiales y la tapa, ya que es el lugar donde se van a formar los gases.
- El recipiente se tapa herméticamente para una fermentación anaerobia del biofertilizante de 60 a 90 días. La tapa del recipiente debe tener un agujero donde va el flanche o el adaptador macho y hembra, conectado a la manguera, para la salida de los

gases, la manguera se introduce en una botella con agua, que funciona como sello, la cual se amarra al tanque con el alambre.

Nota: Si se utiliza un recipiente que no tiene aro metálico para cierre hermético, entonces, se usa el neumático de bicicleta para forrar el espacio entre la tapa y el tanque y asegurar que no quede ningún espacio libre para que entre oxígeno.

La ilustración 6, muestra la mezcla de los ingredientes y los pasos anteriormente descritos para la completa preparación del biofertilizante.

Ilustración 6. Mezcla de ingredientes dentro del recipiente de 18 L



- **Aplicación:** El producto se debe colar. El resto del producto se deja en el recipiente tapado herméticamente para que siga fermentando, protegido de la lluvia y del sol bajo sombra.
- **Dosis:** 1 litro del preparado se disuelve en 20 litros de agua. Se recomienda usar muy temprano en la mañana o cuando haya caído el sol, para que no se evapore tan rápido.

5.4.1.3. Biofertilizante a Base de Boñiga de Vaca

En la tabla 6 se describen los ingredientes y las cantidades para la elaboración del biofertilizante a base de boñiga de vaca.

Tabla 6. Ingredientes para la preparación del biofertilizante a base de boñiga de vaca

Boñiga de vaca (2 meses de fermentación)	
Ingredientes	Cantidades por finca Para un recipiente de 18 L
Boñiga de vaca (Kg)	4,5
Agua de lluvia o nacimiento (L)	16,2
Leche (L)	0,2
Suero (opcional si no se tiene leche)	0,4
Melaza (L)	0,2
Ceniza de lecho o fosfitos (Kg)	0,3
Sulfato de magnesio (g)	125
Sulfato de cobre (g)	125
Sulfato de zinc (g)	125
Harina de rocas (g)	125

Los otros materiales a utilizar y la preparación de este biofertilizante se realiza de la misma manera como se elaboró la segunda parte del biofertilizante a base de microorganismos activados de montaña con pasto fermentado, lo único que cambia es que, en vez del pasto fermentado, para este biofertilizante se usa la boñiga de vaca. La aplicación y la dosis también es la misma.

5.4.1.4. Testigo

El testigo es el tratamiento de comparación adicional. Para esta investigación las camas que fueron el testigo, no se les hizo ninguna aplicación. Solo recibieron agua cuando llovió.

5.5. Cronograma de actividades previas a la fertilización

En la tabla 7 se muestra el cronograma de las actividades que se realizaron previas a la siembra y aplicación de los biofertilizantes.

Tabla 7. Cronograma de actividades previo a la aplicación de fertilizantes

Fecha	Actividad	Finca
25 de junio de 2022	<ul style="list-style-type: none">• Elaboración de la primera parte del biofertilizante a base de pasto fermentado• Elaboración del biofertilizante a base de boñiga de vaca Ambos biofertilizantes se dejaron en fermentación	Tijiky
12 de julio de 2022	<ul style="list-style-type: none">• Elaboración de la primera parte del biofertilizante a base de pasto fermentado• Elaboración del biofertilizante a base de boñiga de vaca Ambos biofertilizantes se dejaron en fermentación	San Rafael y Quininí Zimbawe

20 de agosto de 2022	Cuando se cumplió el tiempo de fermentación de la primera parte del biofertilizante de microorganismos de montaña activados con pasto fermentado, se completó su elaboración y nuevamente se dejó fermentando	Tijiky San Rafael Quininí Zimbawe
13 de octubre de 2022	<ul style="list-style-type: none"> • Se realizó el biofertilizante té de humus. El cual no necesita fermentación. • Se pusieron a germinar las lechugas 	Tijiky San Rafael Quininí Zimbawe

5.5.1. Germinación de lechugas

En la ilustración 7, se muestra el proceso de germinación de las semillas, la variedad sembrada fue lechuga crespa Simpson de la marca Sáenz Fety. La germinación duro 20 días y cuando las plantas presentaron tres hojas verdaderas se trasplantaron.

Ilustración 7. Germinación de lechugas



5.5.2. Establecimiento de camas (eras) y plantación de lechugas

En cada finca se instauraron los mismos parámetros de cultivo:

- Orientación de las camas (oriente – occidente)
- A exposición solar completa, sin sombra
- No dejar pegadas o muy al límite, las plantas a las cercas
- En cada finca se hicieron 4 camas, 3 de ellas se fertilizaron con un biofertilizante específico y la otra cama fue la de control o testigo, ya que no se le aplicó nada.
- Se sembraron 10 plantas de lechuga por cama, en sistema tresbolillo a una distancia entre plantas de 20 cm, como se muestra en la ilustración 8.

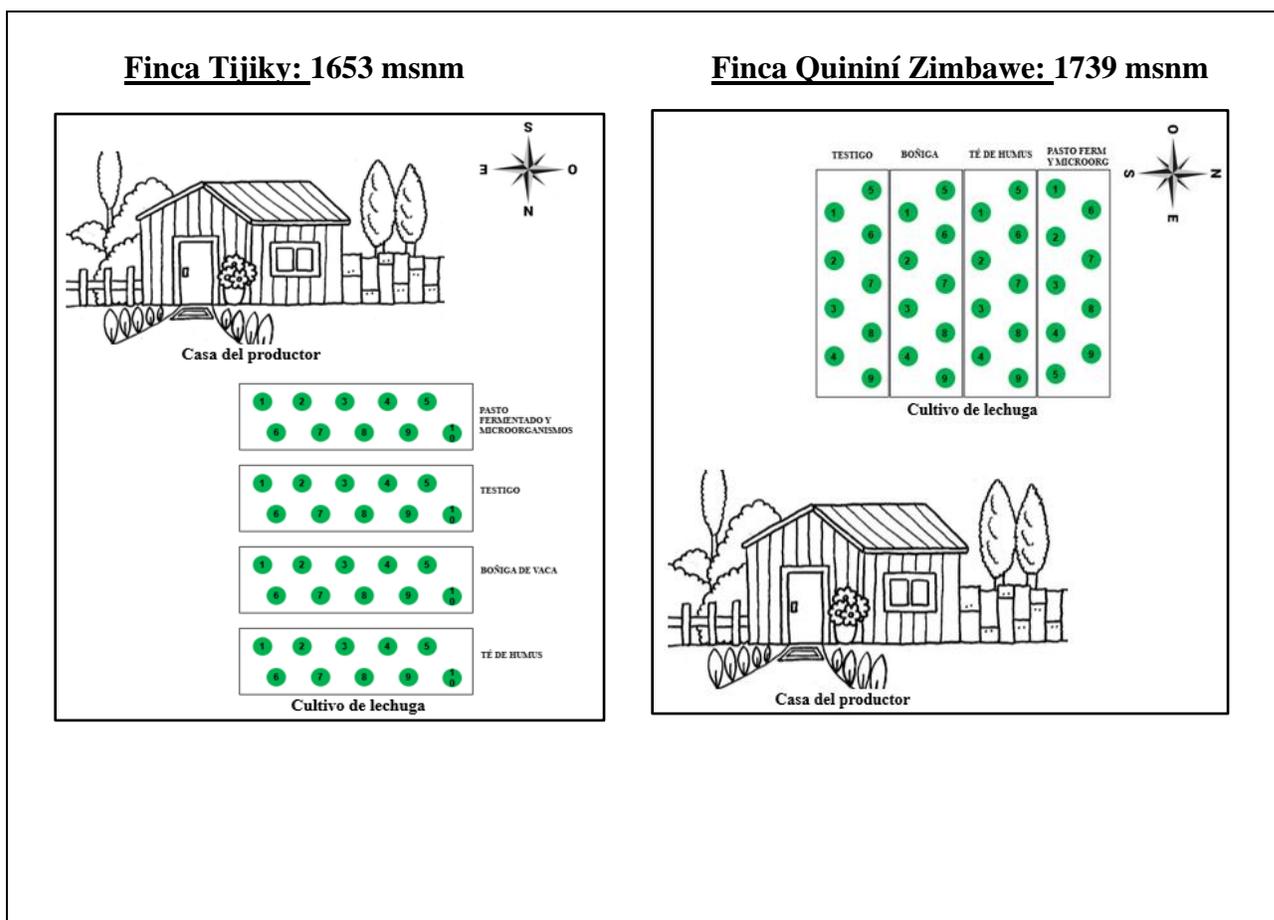
Ilustración 8. Siembra de lechugas en tresbolillo a 20 cm de distancia entre planta

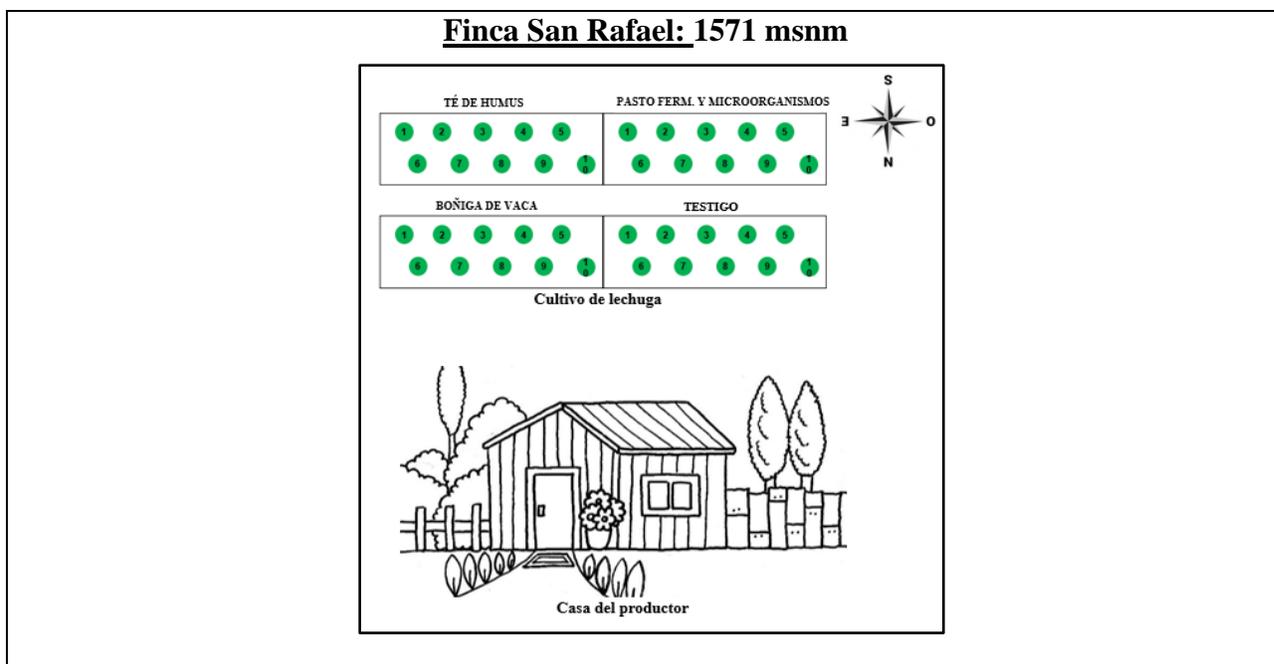


5.5.3. Esquema del Cultivo de Lechuga por Finca

A continuación, se expone como se diseñó la aplicación de cada biofertilizante por cama, según la finca (Ilustración 9):

Ilustración 9. Esquema De Cultivo De Lechuga Por Finca





5.6. Fertilización

En la Tabla 8 se detalla el cronograma de aplicaciones de los diferentes biofertilizantes en el área de estudio. En la semana 0 (cero) y semana 4 (cuatro), además, de la aplicación de los biofertilizantes se aplicó 25 gr de lombricompost a cada planta.

Tabla 8. Cronograma de fertilización en las fincas del área de estudio

Semana	Actividad	Insumo			
		Té de humus	Pasto fermentado y microorganismos	Boñiga de vaca	Lombricompost
0	Siembra y fertilización	-	-	-	25 gr/planta
1	Fertilización y toma de datos	3 litros/100 agua	1 litro/20 agua	1 litro/20 agua	-
2	Fertilización y toma de datos	3 litros/100 agua	1 litro/20 agua	1 litro/20 agua	-
3	Fertilización y toma de datos	3 litros/100 agua	1 litro/20 agua	1 litro/20 agua	-
4	Fertilización y toma de datos	3 litros/100 agua	1 litro/20 agua	1 litro/20 agua	25 gr/planta
5	Fertilización y toma de datos	3 litros/100 agua	1 litro/20 agua	1 litro/20 agua	-
6	Fertilización y toma de datos	3 litros/100 agua	1 litro/20 agua	1 litro/20 agua	-
7	Fertilización y toma de datos	3 litros/100 agua	1 litro/20 agua	1 litro/20 agua	-
8	Toma de datos	-	-	-	-

5.7. Siembra de Plantas

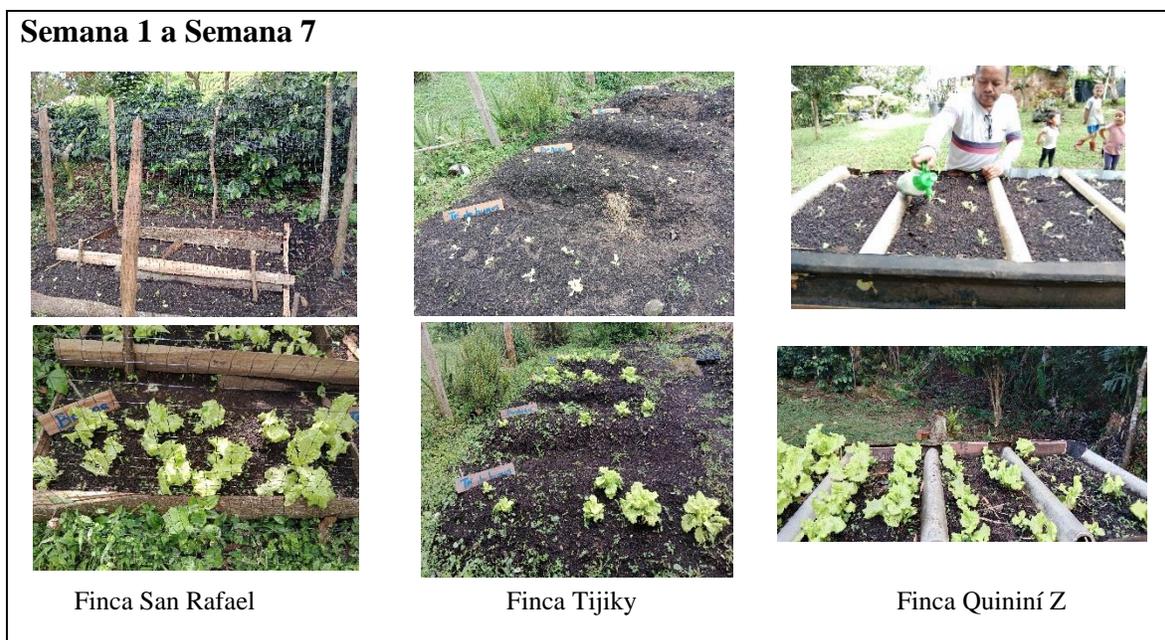
En la ilustración 10 se muestra el proceso de trasplante de las plántulas de lechuga a suelo, en cada finca. Este periodo se cuenta como la semana cero (0). En cada finca el productor ya tenía listo el espacio para la siembra, ellos hicieron un encerramiento del sitio del cultivo de la lechuga para evitar daños producidos por algún animal.

Ilustración 10. Siembra de Plántulas de Lechuga



En la ilustración 11 se muestra el progreso y el crecimiento de las plántulas por finca, desde la semana 1 a la 7.

Ilustración 11. Avance en rendimiento y desarrollo plantas de lechuga por finca. Semana 1 a 7



En la ilustración 12 se muestra el resultado de la cosecha de las plantas de lechuga por finca, en la semana 8.

Ilustración 12. Semana 8 – Semana de Cosecha



5.8. Toma de datos

Durante el transcurso del estudio, se realizaron mediciones semanales del desarrollo del cultivo, específicamente de la altura y el diámetro de las plantas de lechuga y solo la última semana se realizó la medición para analizar el rendimiento, tomando el peso en fresco (g) de cada lechuga al cosecharla y midiendo la longitud de la raíz (cm). Estos datos fueron recopilados para cada una de las plantas de las camas de cultivo y registrados en un formato en papel en campo. Posteriormente, los datos se trasladaron a una plantilla en formato Excel para su análisis.

Es importante destacar que la recolección de los datos se llevó a cabo en las tres fincas por la misma persona, con los mismos parámetros y utilizando los mismos instrumentos de medición. Con el fin de reducir la probabilidad de errores durante la recopilación de los datos.

5.8.1. Evaluación del desarrollo del cultivo

La altura de cada planta de lechuga se midió verticalmente, desde la base del tallo hasta la parte más alta de su hoja, utilizando una regla milimétrica como instrumento de medición.

Para calcular el diámetro de las plantas, se utilizó la siguiente fórmula: $\frac{D1+D2}{2}$. El valor D1 representa el ancho de la planta, medido desde los extremos de las hojas, mientras que el valor D2 corresponde a la medida en profundidad, también tomada desde los extremos de las hojas.

Tanto la altura como el diámetro de las plantas se tomaron una vez por semana, procurando que las mediciones se realizaran en el mismo día de la semana para mantener la consistencia en los datos recopilados. Los datos se tomaron durante 8 semanas, desde la primera aplicación de los biofertilizantes hasta la cosecha de la lechuga.

5.8.2. Evaluación del rendimiento del cultivo

Para analizar el rendimiento de las plantas de lechuga, se tomó el peso en fresco de cada una utilizando una balanza digital y también se midió la longitud de la raíz con una regla milimétrica, en la semana número ocho, cuando se cosecharon las plantas.

5.9. Análisis de datos

Para realizar el análisis de datos, toda la información recopilada en campo y registrada en formatos en físico, se llevó a Excel donde se llevó a cabo la organización y tabulación.

Para evaluar si se presentaron diferencias significativas entre los cuatro tratamientos y entre las tres fincas para las variables altura, diámetro, peso y longitud de la raíz, se emplearon dos tipos de pruebas estadísticas: Análisis de Varianza y la prueba de Friedman.

Inicialmente se comprobó si las variables cumplían con los supuestos de normalidad (distribución normal) y la homogeneidad de varianzas (Anexo 2). Puesto que las variables altura y diámetro no presentaron una distribución normal ni homoscedasticidad, se recurrió a la alternativa no paramétrica, la prueba de Friedman, para determinar si hubo diferencias significativas entre los tratamientos y entre las fincas en un diseño de medidas repetidas. Por otra parte, las variables peso y longitud de raíz sí presentaron una distribución normal y homoscedasticidad, por lo que se corrió un Análisis de Varianza de 2 factores. Finalmente, para identificar entre cuáles pares de grupos hubo diferencia, se aplicó la prueba de signos de Wilcoxon (para Friedman) y la prueba de Tukey (para el Análisis de Varianza). Los análisis se corrieron y graficaron empleando el software R (lenguaje de programación y entorno de software utilizado principalmente para el análisis estadístico, la visualización de datos y la manipulación de información), con los paquetes ggplot2 y rstatix (paquetes para mejorar el análisis y la visualización de datos).

6. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados, según el análisis estadístico hecho con la ayuda del software R:

6.1. Estadística descriptiva

En la tabla 9, se relacionan los resultados de la estadística descriptiva por tratamiento y variable dependiente. Se observa que el testigo obtuvo los mejores resultados en cuanto a rendimiento y desarrollo. Entre los biofertilizantes analizados en la investigación, el té de humus mostro el mejor resultado en cuanto a la altura de plantas, superando a los otros biofertilizantes. Por otro lado, el biofertilizante a base de boñiga de vaca presento los valores más altos en cuanto a diámetro, peso y raíz entre los demás biofertilizantes.

Tabla 9. Estadística descriptiva por tratamiento y variables dependientes

Tratamiento	Altura (n=672)		Diámetro (n=672)		Peso (n=84)		Raíz (n=84)	
	Media	Sd	Media	Sd	Media	Sd	Media	Sd
Boñiga de vaca	9.53	6.41	10.37	7.53	38.24	32.63	9.21	2.90
Microorganismos activados	7.78	4.91	7.53	5.61	19.89	17.41	7.69	2.15
Té de humus	9.75	5.40	10.13	6.51	23.52	14.31	7.84	1.38
Testigo	10.89	6.78	11.51	7.89	42.95	29.00	9.74	2.17

En la tabla 10, se relacionan los resultados de la estadística descriptiva comparando finca y las variables dependientes. Para este caso San Rafael presentó los mejores resultados en altura, diámetro y peso y Quininí Zimbawe se destacó en el tamaño de longitud de raíz.

Tabla 10. Estadística descriptiva por finca y variables dependientes

Finca	Altura (n=672)		Diámetro (n=672)		Peso (n=84)		Raíz (n=84)	
	Media	Sd	Media	Sd	Media	Sd	Media	Sd
Quininí Zimbawe	9.55	5.12	9.85	6.53	31.50	19.82	9.07	3.00
San Rafael	12.61	7.26	12.38	8.71	46.91	31.22	8.82	1.87
Tijiky	6.29	3.13	7.44	4.46	15.04	13.60	7.96	1.94

En la tabla 11 se presentan los resultados de la estadística descriptiva por semana y variables dependientes, aquí se observa que a medida que pasa el tiempo de la semana 1 a la 8 las plantas aumentan en altura y diámetro. Las variables peso y longitud de raíz solo se tomaron cuando se cosecharon las plantas en la semana 8.

Tabla 11. Estadística Descriptiva por Semana y variables dependientes

Semana	Altura (n=672)		Diámetro (n=672)		Peso (n=84)		Raíz (n=84)	
	Media	Sd	Media	Sd	Media	Sd	Media	Sd
1	4.88	1.44	4.37	1.51	-	-	-	-
2	5.09	1.94	5.06	1.98	-	-	-	-
3	6.39	2.54	5.61	2.24	-	-	-	-
4	7.96	3.61	7.55	3.52	-	-	-	-
5	9.55	4.19	9.14	4.26	-	-	-	-
6	11.45	5.05	12.32	5.51	-	-	-	-
7	13.99	6.54	15.91	7.39	-	-	-	-
8	16.57	7.28	19.16	8.34	31.15	26.01	8.62	2.35

6.2. Comparación de variables dependientes (altura, diámetro, peso y longitud de raíz) entre fincas y tratamientos

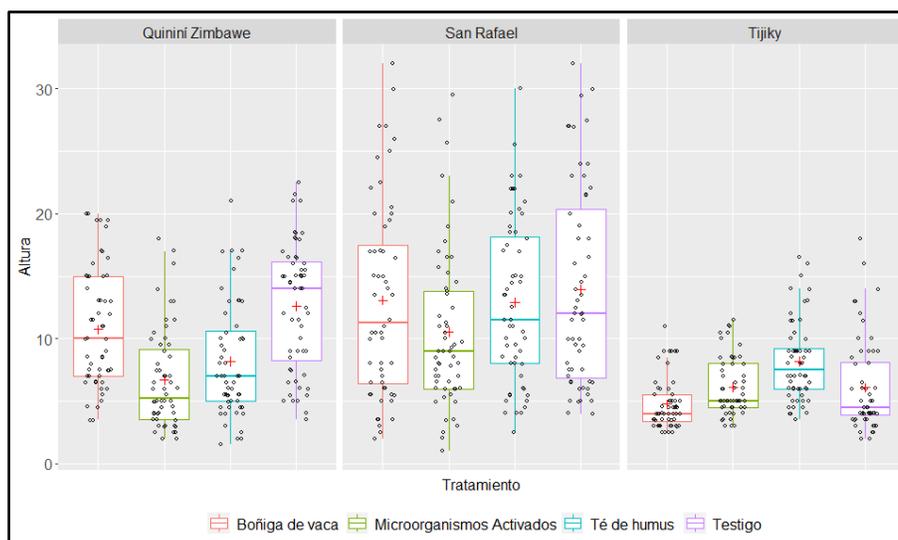
A continuación, se presentan los resultados de la comparación del comportamiento de las variables dependientes entre fincas y entre tratamientos, de la siguiente manera:

6.2.1. Altura

Como se observa en la ilustración 13, los tratamientos que difieren entre sí son Microorganismos activados vs Boñiga de vaca, Microorganismos activados vs Té de humus, Microorganismos activados vs Testigo y Boñiga de vaca vs Testigo.

A pesar que las tres fincas son diferentes entre sí (Anexo 3), se puede destacar que, a parte del testigo, el biofertilizante de té de humus presentó los valores más altos en las fincas San Rafael y Tijiky. Para la finca Quininí Zimbabwe el biofertilizante más eficiente en cuanto a este parámetro fue la boñiga de vaca.

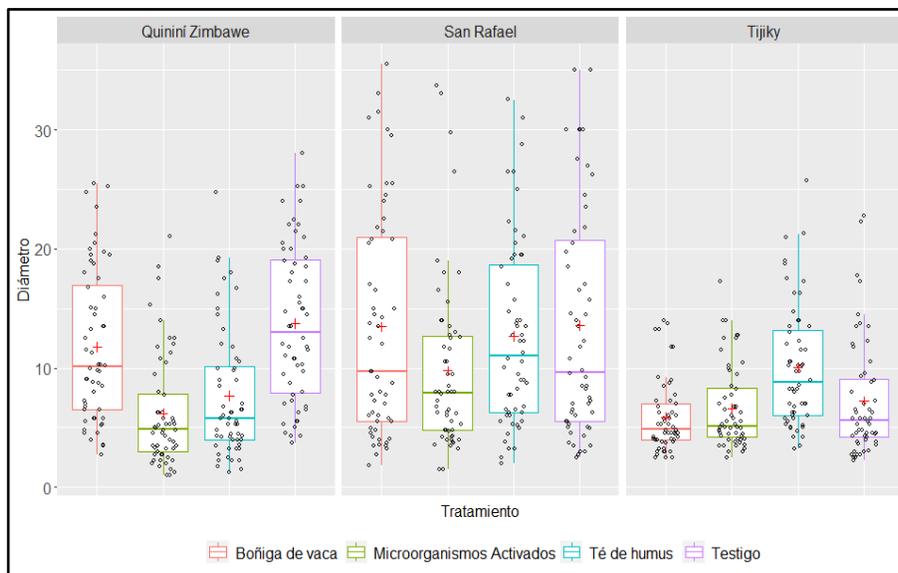
Ilustración 13. Comparación de variable altura con relación de tratamientos y fincas



6.2.2. Diámetro

Como se aprecia en la ilustración 14, las tres fincas presentaron diferencias entre si (Anexo 3). Sin embargo, cabe resaltar que en la finca San Rafael y Quininí Zimbawe, después del testigo, el biofertilizante a base de boñiga de vaca presento los mejores resultados y para la finca Tijiky el biofertilizante que mostró los valores más altos en diámetro fue el té de humus.

Ilustración 14. Comparación de variable diámetro con relación de tratamientos y fincas

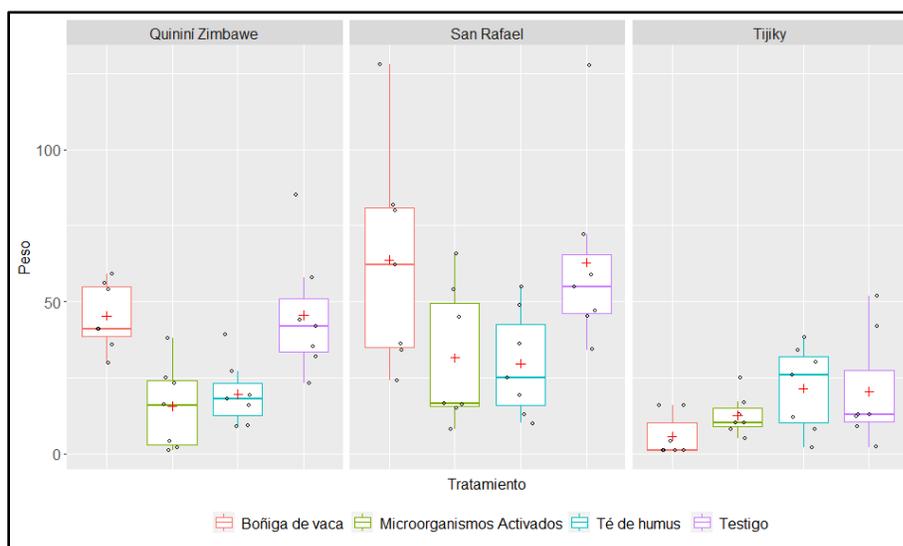


En el anexo 5 y 6 se presenta la comparación de la variable altura y diámetro respectivamente, con relación a su comportamiento por semana, de acuerdo al tratamiento y la finca.

6.2.3. Peso

En la ilustración 15, se observa la comparación de la variable peso con relación de los tratamientos y las fincas. Las tres fincas son diferentes entre sí (Anexo 4), sin embargo, se puede resaltar que el tratamiento que obtuvo los valores más altos en peso, para la finca San Rafael y Quininí Zimbawe fue el biofertilizante a base de boñiga de vaca y en Tijiky fue el té de humus.

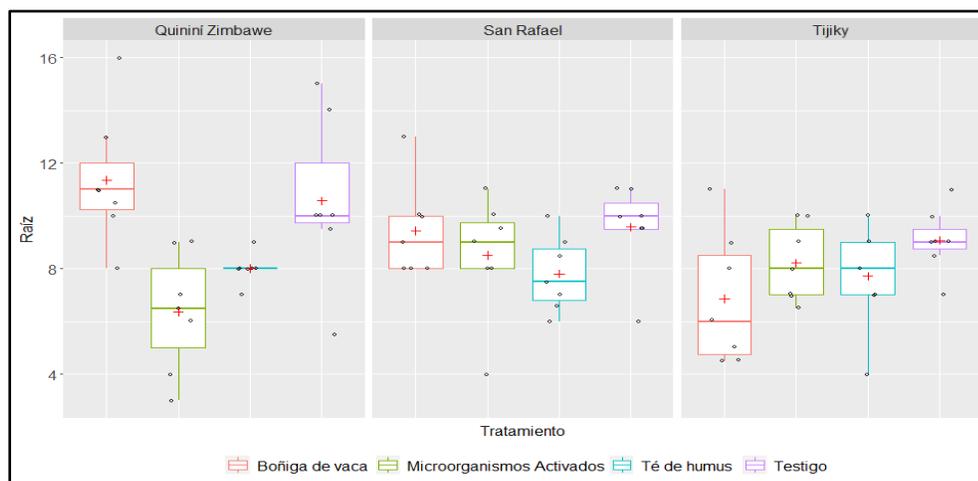
Ilustración 15. Comparación de variable peso con relación de tratamientos y fincas



6.2.4. Longitud de raíz

Como se observa en la ilustración 16 después del testigo, el tratamiento con boñiga de vaca presentó los mejores resultados en Finca Quinini Zimbabwe y San Rafael y en la finca Tijiky el mejor tratamiento para el crecimiento de raíz fue los microorganismos activos con pasto fermentado. (Anexo 4).

Ilustración 16. Comparación de variable raíz con relación de tratamientos y fincas



7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- Entre todas las fincas, el tratamiento que mostró los valores más altos en diámetro, peso y desarrollo de raíces, después del testigo, fue el biofertilizante a base de boñiga de vaca. Este

tipo de biofertilizante se obtiene a partir de la descomposición y fermentación de los excrementos de vaca, y contiene una diversidad de microorganismos beneficiosos, como bacterias y hongos, así como una alta concentración de nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio y otros elementos traza en comparación con otros fertilizantes analizados. Estudios previos también han respaldado la eficiencia de este tipo de biofertilizante en la producción de cultivos. Así lo demuestran Islam et al. (2012), en su estudio sobre los efectos de la fertilización orgánica sobre el crecimiento y rendimiento de *Lactuca sativa* L. En el estudio se analizaron 7 tipos de tratamientos: T0 (control), T1 (10 ton/ha de estiércol de aves), T2 (20 t/ha de estiércol avícola), T3 (30 t/ha de estiércol avícola), T4 (15 t/ha de estiércol vacuno), T5 (25 t/ha estiércol vacuno), T6 (35 t/ha estiércol vacuno) y T7 (10 t/ha fertilizante comercial), de los cuales, el tratamiento 6, con estiércol vacuno, presentó la mayor efectividad en rendimiento. Por otro lado, el fertilizante que generó menores rendimientos fue el de estiércol avícola.

Carhuancho (2020), también proporciona evidencia de los beneficios de este tipo de biofertilizante en su investigación donde evaluó el efecto de la aplicación de cuatro biofertilizantes líquidos sobre el rendimiento del cultivo de fresa, los cuales fueron: té de estiércol vacuno, abono de frutas, biol, súper magro, y un testigo. Los resultados obtenidos en esta investigación revelaron que el tratamiento T1 (té de estiércol vacuno) fue el que presentó mayor diámetro y longitud de fruto con 2.92 cm y 3.47 cm respectivamente. Por otro lado, el tratamiento T4 (súper magro) exhibió la mayor altura de la planta con 8.39 cm, mientras que el tratamiento T2 (abono de frutas) presentó el mayor rendimiento de peso de frutos, con 408.50 gr por planta.

Xiu (2018) también recomienda el uso de biofertilizantes con estiércol de vaca y sales minerales, porque de acuerdo a su investigación, este producto, no presenta coliformes, por tener un pH ácido y a este nivel no hay condiciones para que coliformes crezcan porque son desplazados fácilmente por los *Lactobacillus*, por lo tanto, es recomendable este tratamiento para garantizar la inocuidad de hortalizas en general.

- Dentro de las tres fincas y los tratamientos a evaluar, después del testigo, el té de humus mostró los mejores resultados para la variable altura. De acuerdo con investigaciones previas, este biofertilizante ha demostrado una buena eficiencia en cultivo de lechuga. Un estudio realizado por Hamed et al. (2022), destaca que la combinación de té de vermicompost al 20%

con extracto de hoja de romero demostró ser altamente efectiva en términos del crecimiento, rendimiento y propiedades fisicoquímicas de la lechuga cultivada en suelos arenosos.

Sugino et al., (2022), sugieren también la resistencia de las plantas de cultivo ante plagas con la aplicación de este tratamiento. Durante su investigación, trataron semanalmente cuatrocientas treinta plantas de tomate con mezclas de té de vermicompost en un rango de 1:20 (5%), 1:10 (10%) y 1:5 (20%) de vermicompost y agua (v/v) respectivamente, donde demostraron que la adición de este té mejoró los parámetros de crecimiento y a su vez influyó en la producción de metabolitos secundarios. El té de alta concentración alteró la producción y acumulación de terpenoides, compuestos fenólicos, ácidos grasos y alcanos, lo que contribuye a la resistencia de plagas.

Los beneficios del té de humus no se limitan solo a cultivos de tierra. Por ejemplo, Arancon et al., (2019) demostraron en su investigación, la eficiencia de té de vermicompost en cultivos hidropónicos de lechuga y tomate. En ambos casos, los té aumentaron notablemente los rendimientos del cultivo, cuando se redujeron las concentraciones de soluciones nutritivas al 25 % y 50 % de la tasa completa recomendada, reemplazándolas con el té, en comparación con los tratamientos sin té de vermicompost.

- En términos estadísticos y al evaluar el comportamiento de los tratamientos (ver tabla 9), el biofertilizante que mostró los resultados más bajos, en las variables: altura, diámetro, peso y raíz, fue el biofertilizante con microorganismos activados de montaña y pasto fermentado. Aunque se siguió al pie de la letra la receta y su preparación, es importante tener en cuenta que la diversidad de los microorganismos de montaña varía según el lugar o ambiente donde se recolectan y la actividad microbiana genera una gran variabilidad, lo que a su vez influye en la composición química de los biofertilizantes, que suele ser diferente (Xiu, 2018).
- Los resultados revelan que los tratamientos y las fincas fueron diferentes entre sí y que el testigo en general obtuvo los mejores resultados en cuanto a rendimiento y desarrollo, con una poca diferencia respecto al tratamiento con boñiga de vaca en las fincas San Rafael y Quininí Zimbawe. Por su parte la finca Tijiky, tuvo el comportamiento más inusual y los más bajos resultados de desarrollo y rendimiento, esto pudo deberse a las condiciones del suelo y sus antecedentes.
- Es fundamental señalar que, durante el año 2022, Colombia se vio afectada por el fenómeno de La Niña, el cual se caracterizó por lluvias abundantes, en el segundo semestre del año,

principalmente en los meses de octubre a diciembre. Según el informe de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (2022), los departamentos más afectados por esta temporada invernal fueron Cundinamarca, Risaralda y Cauca, donde se registraron deslizamientos e inundaciones, entre otras consecuencias. De acuerdo con el IDEAM (2022), este fenómeno en Colombia durante el 2022 fue entre un 40% y un 70% más intenso que en años anteriores, convirtiéndose en la peor ola invernal desde 2015. Uno de los municipios afectados por estas constantes lluvias fue Tibacuy, ubicado en el departamento de Cundinamarca, donde se llevó a cabo el presente estudio. Se asume que esta precipitación incesante haya barrido los biofertilizantes aplicados mediante fertilización foliar, a pesar de que dichas aplicaciones se realizaron en las primeras horas de la mañana con el propósito de evitar el lavado provocado por la lluvia. Lamentablemente, las precipitaciones fueron constantes durante todo ese periodo. El arrastre de las aplicaciones debido a las intensas lluvias afectó considerablemente los beneficios que las plantas podrían haber obtenido mediante esta fertilización.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El tratamiento de control (testigo) fue más efectivo en rendimiento y desarrollo, este mostró una ligera diferencia positiva en altura, diámetro y peso fresco. Sin embargo, los resultados del tratamiento con boñiga de vaca en la finca San Rafael y Quininí Zimbawe estuvieron muy cercanos al testigo.
- El biofertilizante a base de boñiga de vaca mostró los mejores resultados en diámetro, peso y desarrollo de raíces, en comparación con el biofertilizante a base de microorganismos activados con pasto fermentado y el té de humus.
- En la variable altura se destacó el té de humus por encima de los otros dos biofertilizantes.
- El biofertilizante de microorganismos activados de montaña con pasto fermentado obtuvo los resultados más bajos en todas las variables, posiblemente debido a la variabilidad de los microorganismos y su actividad en diferentes ambientes.
- Se recomienda seguir haciendo pruebas con los diferentes biofertilizantes, con más repeticiones, con diferentes dosis, en periodos de menos lluvia o sin lluvia o bajo cubierta. También se recomienda utilizar tanques con anillo de cierre hermético para

asegurar que las condiciones sean anaeróbicas totales ya que esto puede influir en la calidad de los tratamientos.

- Para la aplicación de los fertilizantes de manera foliar, se recomienda hacerlo por el envés de las hojas ya que la absorción de nutrientes es mayor a través de los estomas y también de esta manera se protege del lavado del producto en caso de lluvia y así mismo, se recomienda utilizar un coadyuvante para potencializar los efectos de las aplicaciones y su adherencia.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alonso, A; García, L; León, I; García, E; Gil, B; Ríos, L. (2010). Métodos de Investigación de Enfoque Experimental. Ciencias de la Educación.

Arancon, N; Owens, J; Converse, C. (2019). The effects of vermicompost tea on the growth and yield of lettuce and tomato in a non-circulating hydroponics system. Journal of plant nutrition. Volume 42.

Bernal, M; Rojas, P. (2014). Optimización del proceso de elaboración y el uso de los abonos biofermentados (Tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, pp. 239. Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/5479>.

Bezner, R; Postigo, J; Smith, P; Cowie, A; Singh, P; Rivera, M; Neufeldt, H. (2023). Agroecology as a Transformative Approach to Tackle Climatic, Food, and Ecosystemic Crises. Current Opinion in Environmental Sustainability Journal. Vol 62. Recuperado de 10.1016/j.cosust.2023.101275

Blanco, M. (2021). La revolución verde: mitos y verdades caso Bolivia. Revista Apathapi, Vol. 7 (1), pp. 2213-2218. Recuperado de <https://apthapi.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/94/86>

Cámara de Comercio de Bogotá (2021). Mapa municipio de Tibacuy. Biblioteca Digital de la Cámara de Comercio de Bogotá CCB. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11520/28285>

- Carhuancho, J. (2020). Efecto de aplicación de cuatro biofertilizantes líquidos orgánicos sobre el rendimiento del cultivo de la fresa (*Fragaria vesca* L.) en el distrito de Paucartambo (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Recuperado de <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2304>
- Castaño, N; Cardona, M. (2014). Factores Determinantes en la inestabilidad del sector agrícola Colombiano. *Revista En-Contexto*. Vol. 2 (2), pp. 91-107. Recuperado de <https://doi.org/10.53995/23463279.137>.
- Ceccon, E. (2008). La revolución verde tragedia en dos actos. *Redalyc: Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*. Vol. 1 (91), pp 21-29. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/644/64411463004.pdf>.
- Chilón, E. (2017). Revolución Verde agricultura y suelos, aportes y controversias. *Revista Apthapi*. Vol. 3 (3), pp 844-859. Recuperado de <https://apthapi.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/195>.
- Coopération internationale pour le développement et la solidarité CIDSE (2018). Los Principios de la Agroecología hacia Sistemas Alimentarios Justos, Resilientes y Sostenibles. Recuperado de https://www.manosunidas.org/sites/default/files/imce/noticias/es_los_principios_de_la_agroecologia_cidse_2018.pdf
- Coleman, D; Callaham, M; & Crossley, D. (2017). *Fundamentals of Soil Ecology* 3rd edition.
- Giunta, I. (2018). Soberanía alimentaria entre derechos del buen vivir y políticas agrarias en Ecuador. *Revista Theomai: Estudios críticos sobre Sociedad y Desarrollo*, pp 109-122. Recuperado de http://www.revista-theomai.unq.edu.ar/NUMERO_38/7_Giunta_38.pdf
- Hamed, F; Ismail, H; Abo, M; Desoky, E. (2022). Effect of Vermicompost-Tea and Plant Extracts on Growth, Physiological, and Biochemical Traits of Lettuce (*Lactuca Sativa* L.) *SABRAO: Journal of Breeding and Genetics*. Vol. 54(5), pp 1202-1215. Recuperado de <http://doi.org/10.54910/sabrao2022.54.5.21>

- Hernández, R; Fernández, C; Baptista, P. (2010). Metodología de la investigación. Editorial McGraw-Hill, pp. 4-6.
- Herrán, A; Torres, R; Rojo, G . (2008). Importancia de los abonos orgánicos. Revista Ra Ximhai. Vol. 4 (1), pp. 57-67. Recuperado de [10.35197/rx.04.01.2008.04.jf](https://doi.org/10.35197/rx.04.01.2008.04.jf)
- Holt, E. (2009). Crisis alimentarias, movimiento alimentario y cambio de régimen. Ecología política, pp. 73-79. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3123429.pdf>
- Infante, L. (2011). Manual de Biopreparados para la agricultura ecológica. (Editado por Cecilia Céspedes y Carlos Pino), pp. 13-15. Recuperado de <https://bibliotecadigital.fia.cl/handle/20.500.11944/148553>
- Instituto Colombiano Agropecuario ICA. (2019). Boyacá se consolida como productor de lechuga para exportación en fresco. Recuperado de <https://www.ica.gov.co/noticias/ica-boyaca-productor-lechuga-exportacion-fresco>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. (2022). Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/>
- Islam, S; Ahmed, A; Mahmud, S; Tusher, T; Khanom, S. (2012). Effects of Organic Fertilizer on the Growth and Yield of Lettuce (*Lactuca Sativa L.*) Used as Vegetables. International Journal of Agricultural Science and Research (IJASR). Vol. 2 (3), pp 116-128. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Tanmoy-Tusher/publication/232321766_Effects_of_organic_fertilizer_on_the_growth_and_yield_of_lettuce_Lactuca_sativa_L_used_as_vegetables/links/5aef3ed70f7e9b01d3e2cb82/Effects-of-organic-fertilizer-on-the-growth-and-yield-of-lettuce-Lactuca-sativa-L-used-as-vegetables.pdf
- Jackson, L. (1995). Root Architecture in Cultivated and Wild Lettuce (*Lactuca spp.*). Plant Cell and Environment Journal. Vol. 18(8), pp 885-894. Recuperado de <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1995.tb00597.x>
- Jiménez, F. (2021). Sector Agro se Inquieta por el Alto Costo de los Insumos. El Colombiano.

- Khan, M; Meghyansi, M; Gupta, R; Veer, V; Singh, L; Kalita, M. (2014). Foliar spray with vermiwash modifies the arbuscular mycorrhizal dependency and nutrient stoichiometry of bhut jolokia (*Capsicum assamicum*). PubMed Jornal. Recuperado de <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092318>
- Kohler, J. (2008). Aplicación de biofertilizantes para la producción sostenible de lechuga y sus efectos en el sistema suelo-planta (Tesis de pregrado). Universidad de Murcia.
- Lavelle, P; Spain, A. (2003). Soil Ecology. Kluwer Academic Publishers.
- La Vía Campesina. (2015). La Agroecología: Puntal de la Soberanía Alimentaria. Recuperado de <https://viacampesina.org/es/la-agroecologia-puntal-de-la-soberania-alimentaria/>
- Méndez, E; Gliessman, S. (2002). Un enfoque interdisciplinario para la investigación en agroecología y desarrollo rural en el trópico latinoamericano. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología. CATIE: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, pp. 5-16. Recuperado de <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6865>
- Monje, J. (2011). La Agroecología: Un Marco de Referencia para Entender sus Procesos en la Investigación y la Praxis. Revista Luna Azul. Vol. 32, pp. 128-134. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-24742011000100012&script=sci_abstract&tlng=es
- Montero, R. (2019). Proceso de elaboración del biofertilizante “Pasto fermentado” con microorganismos de montaña (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Babahoyo. Recuperado de <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/6085/E-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000140.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Orozco, M; Calvo, J. (2019). Consideraciones técnicas para la preparación de abonos foliares de fabricación casera. Revista Pensamiento Actual. Vol 19 (33), pp. 106-120. Recuperado de <https://doi.org/10.15517/pa.v19i33.39636>
- Pérez, V. (2010). El Retorno de los Campesinos. Una Oportunidad para Nuestra Supervivencia. Editorial Icaria.

- Restrepo, J. (2001). Elaboración de abonos orgánicos fermentados y biofertilizantes foliares: experiencias con agricultores en Mesoamérica y Brasil. IICA. Recuperado de <http://repositorio.iica.int/handle/11324/6568>
- Restrepo, J. (2007). El A, B, C de la agricultura orgánica y harina de rocas, Manual Práctico: Algunas preguntas y respuestas sobre la preparación y uso de biofertilizantes fermentados a base de mierda de vaca. Primera Edición. SIMAS: Servicio de Información Mesoamericano sobre Agricultura Sostenible.
- Restrepo, J. (2009). Manual práctico de agricultura orgánica y panes de piedra: Biofertilizantes preparados y fermentados a base de mierda de vaca.
- Restrepo, J; Agredo, D. (2020). Mierda a la Carta un Nuevo ABC de la Agricultura Orgánica. Editorial LLC ibukku.
- Romero, C; Ocampo, J; Sandoval, C; Tobar, J. (2012). Fertilización orgánica - mineral y orgánica en el cultivo de fresa (*Fragaria x ananasa Duch*) bajo condiciones de invernadero. Revista Ra Ximhai. Vol 8 (3), pp. 41-49. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/461/46125176004.pdf>
- Rosset, P; Martínez, M. (2013). Rural social movements and diálogo de saberes: territories, food sovereignty, and agroecology. International Conference Yale University. Recuperado de http://www.schoolsforchiapas.org/wp-content/uploads/2014/06/4_Rosset_Torres_2013.pdf
- Saavedra, G; Antúnez, A; Felmer, S; Estay, P; Sepúlveda, P. (2017). Manual de producción de lechuga. Instituto de desarrollo agropecuario. Investigaciones agropecuarias. Boletín INIA No. 374. Recuperado de https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/29500/INIA_Libro_0051.pdf?sequence=1
- Sánchez, F. (2005). Estudio en plántulas de lechuga desarrolladas en microtúneles con cubiertas plásticas fotoselectivas (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Recuperado de <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1340/ESTUDIO%20DE%20PLANTULAS%20DE%20LECHUGA%20DESARROLLADAS%20>

EN%20MICROTUNELES%20CON%20CUBIERTAS%20PLASTICAS%20FOTO
SELECTIVAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sevilla, E. (2015). La participación en la construcción histórica latinoamericana de la Agroecología y sus niveles de territorialidad. *Revista Política y Sociedad*. Vol. 52(2), pp. 351-370. Recuperado de https://doi.org/10.5209/rev_POSO.2015.v52.n2.45205

Sugino, D; Salazar, D; Jayachandran, K. (2022). Influence of vermicompost tea on secondary metabolite production in tomato crop. Thesis of Master. Florida International University. Recuperado de <https://digitalcommons.fiu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=5501&context=etd>

Tadayyon, A; Naeimi, M; Pessarakli, M. (2018). Effects of vermicompost and vermiwash biofertilizers on fenugreek (*Trigonella foenum*) plant. *Communications in Soil Science & Plant Analysis Journal*. Vol. 49(14), pp. 1-10. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1510950>

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (2022). Recuperado de <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/>

Xiu, P. (2018). Efectos de bioles en brócoli (*Brassica oleracea*) y lechuga (*Lactuca sativa*) en la zona hortícola de Cartago, Costa Rica (Tesis de Maestría). CATIE: Centro de Investigaciones Agronómicas. Recuperado de https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8722/Efectos_de_bioles_en_brocoli.pdf

Zagoya, J. (2013). Evaluación de biofertilizantes y factores para su innovación con productores de Maíz en San Felipe Teotlalcingo, Puebla (Tesis de maestría). Colegio de Posgraduados, Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas. Recuperado de http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/2206/Zagoya_Martinez_J_MC_EDAR_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Zamora, K; Wang, A; Arauz, L; Uribe, L. (2017). Uso potencial de lixiviados y téis de vermicompost en el control del ojo de gallo del cafeto *Mycena citricolor*. *Revista*

Agronomía Costarricense, vol. 41 (1), pp. 33-51. Recuperado de
<https://doi.org/10.15517/rac.v41i1.29747>

10. ANEXOS

Anexo 1: Formato de recolección de datos

	TESTIGO				BOÑIGA DE VACA				TÉ DE HUMUS				MICROORGANISMOS ACT. CON PASTO FERMENTADO			
	Planta	Alto	D1	D2	Planta	Alto	D1	D2	Planta	Alto	D1	D2	Planta	Alto	D1	D2
SEMANA	1				1				1				1			
	2				2				2				2			
	3				3				3				3			
	4				4				4				4			
	5				5				5				5			
	6				6				6				6			
	7				7				7				7			
	8				8				8				8			
	9				9				9				9			
	10				10				10				10			
SEMANA	1				1				1				1			
	2				2				2				2			
	3				3				3				3			
	4				4				4				4			
	5				5				5				5			
	6				6				6				6			
	7				7				7				7			
	8				8				8				8			
	9				9				9				9			
	10				10				10				10			
SEMANA	1				1				1				1			
	2				2				2				2			
	3				3				3				3			
	4				4				4				4			
	5				5				5				5			
	6				6				6				6			
	7				7				7				7			
	8				8				8				8			
	9				9				9				9			
	10				10				10				10			

Anexo 2. Supuestos para pruebas paramétricas

Se probó si las variables Altura, Diámetro, Peso y Raíz tenían una distribución normal (con base en Tratamiento) y presentaban homoscedasticidad:

Prueba	Tratamiento	Altura (n=672)	Diámetro (n=672)	Peso (n=84)	Raíz (n=84)
Shapiro- Wilk	Boñiga de vaca	W=0.880, p<0.001	W=0.854, p<0.001	W=0.911, p=0.058	W=0.957, p=0.467
	Microorganismos activados	W=0.847, p<0.001	W=0.801, p<0.001	W=0.851, p=0.005	W=0.937, p=0.190
	Té de humus	W=0.916, p<0.001	W=0.906, p<0.001	W=0.951, p=0.363	W=0.930, p=0.136
	Testigo	W=0.917, p<0.001	W=0.892, p<0.001	W=0.915, p=0.069	W=0.904, p=0.042
Prueba de Levene		F _{3,668} =7.76, p<0.001	F _{3,668} =7.40, p<0.001	F _{3,80} =3.07, p=0.032	F _{3,80} =2.62, p=0.056

Anexo 3. Comparaciones entre pares usando la prueba de signos de Wilcoxon

Altura	Boñiga de vaca	Microorganismos activados	Té de humus
Microorganismos activados	0.012	-	-
Té de humus	0.272	0.012	-
Testigo	0.012	0.012	0.060

Altura	Quininí Zimbawe	San Rafael
San Rafael	0.016	-
Tijiky	0.012	0.012

Diámetro	Boñiga de vaca	Microorganismos activados	Té de humus
Microorganismos activados	0.016	-	-
Té de humus	0.742	0.016	-
Testigo	0.023	0.016	0.028

Diámetro	Quininí Zimbawe	San Rafael
San Rafael	0.039	-
Tijiky	0.039	0.039

Anexo 4. Comparaciones *a posteriori* de Tukey

Peso	Boñiga de vaca	Microorganismos activados	Té de humus
Microorganismos activados	0.028	-	-
Té de humus	0.111	0.942	-
Testigo	0.884	0.003	0.018

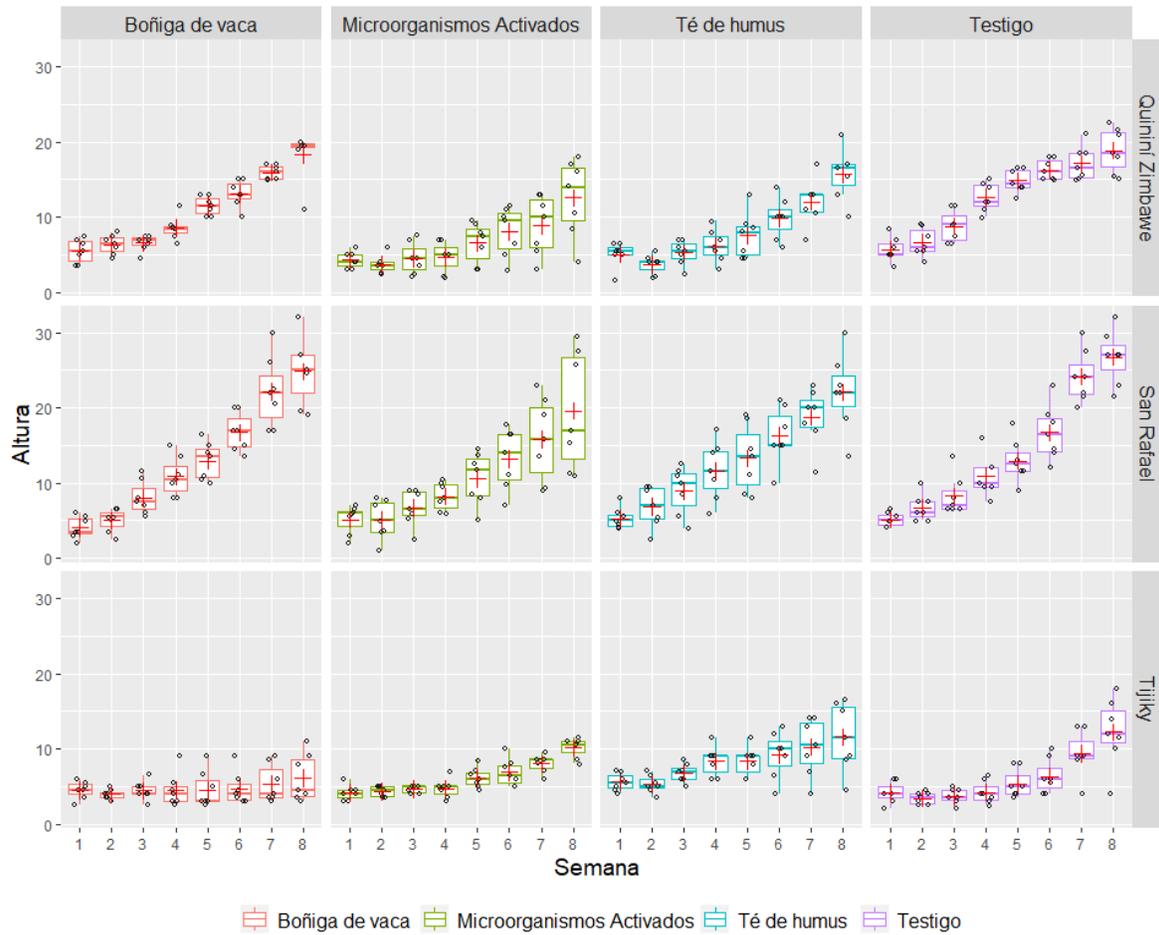
Peso	Quininí Zimbawe	San Rafael
San Rafael	0.019	-
Tijiky	0.012	<0.001

Raíz	Boñiga de vaca	Microorganismos activados	Té de humus
Microorganismos activados	0.118	-	-
Té de humus	0.184	0.996	-
Testigo	0.865	0.017	0.031

Raíz	Quininí Zimbawe	San Rafael
San Rafael	0.907	-
Tijiky	0.148	0.311

Anexo 5. Comparación altura respecto a semana en relación con el tratamiento y finca

En el anexo 5 se presenta la comparación de la variable altura respecto a su comportamiento por semana en relación con el tratamiento y la finca.



Anexo 6. Comparación diámetro respecto a semana en relación con el tratamiento y finca.

En el anexo 6 se presenta la comparación de la variable diámetro respecto a su comportamiento por semana en relación con el tratamiento y la finca.

