

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSERVACIÓN



**EFFECTO DE DOS BIOFERTILIZANTES EN EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DEL
FRIJOL (*Phaseolus vulgaris*) Y EN LA ACTIVIDAD BIOLÓGICA DEL SUELO**

TESIS

Presentado como requisito previo a la realización del trabajo de investigación

POR:

ANGEL ISRAEL CASTILLO VILLATORO

Catacamas, Olancho

Septiembre de 2025

EFFECTO DE DOS BIOFERTILIZANTES EN EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DEL FRIJOL
(*Phaseolus vulgaris*) Y EN LA ACTIVIDAD BIOLOGICA DEL SUELO

Por:

Angel Israel Castillo Villatoro

Carlos Roberto Irías Zelaya, MSc.

Director de tesis

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de

INGENIERO EN GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES

Catacamas, Olancho

Septiembre de 2025

CONTENIDO

CONTENIDO	II
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. General.....	3
2.2. Específico	3
III. HIPÓTESIS	4
3.1. Hipótesis Alternativa:	4
3.2. Hipótesis Nula:	4
IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
4.1. Agricultura orgánica	5
4.1.1. Principios y prácticas de la agricultura orgánica.....	5
4.1.2. Impacto ambiental, social y económico de la agricultura orgánica	6
4.2. Fenología del Frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>).....	7
4.2.1. Efecto de la temperatura en la fenología del frijol.....	9
4.2.2. Efecto del agua y humedad en la fenología del frijol	9
4.2.3. Fertilización.....	9
4.2.4. Cultivo de frijol y su impacto en la seguridad alimentaria.....	10
4.3. Biofertilizantes	11
4.3.1. Interacciones planta-microorganismos en biofertilizantes	12
4.3.2. Efectos de los biofertilizantes en los cultivos	12
4.3.3. Biofertilizantes como alternativas a fertilizantes químicos	13
4.4. Actividad Biológica del suelo.....	14
4.4.1. Diversidad microbiana del suelo	14
4.4.2. Enzimas del suelo como indicadores de actividad biológica.....	15
4.4.3. Efectos de prácticas agrícolas en la actividad biológica del suelo	16
4.5. Suelo Cambisol.....	16
4.5.1. Caracterización fisicoquímica de los cambisoles.....	17
4.5.2. Comportamiento de los microorganismos en los cambisoles.....	18
4.5.3. Interacción suelo-planta en cambisoles.....	18
V. MATERIALES Y MÉTODOS	19
5.1. Área de estudio	19
5.2. Materiales y Equipo.....	20

5.2.1. Composición de biofertilizantes utilizados	20
5.2.2. Material vegetal utilizado	21
5.3. Descripción de los tratamientos	22
5.4. Establecimiento del ensayo.....	23
5.4.1. Preparación unidades experimentales	23
5.4.2. Tiempo de aplicación de los biofertilizantes por tratamiento.....	24
5.4.3. Diseño experimental.....	24
5.6. Variables evaluadas	25
5.6.1. Fenología del frijol.....	25
5.6.2. Actividad biológica en el Suelo.....	27
5.7. Análisis estadísticos.....	29
VI. RESULTADOS Y DISCUSION.....	30
6.1 Fenología del cultivo	30
6.2 Actividad biológica del suelo	40
6.3. Efectos sobre las propiedades químicas del suelo	42
6.4 Correlación de variables de suelo y planta.....	¡Error! Marcador no definido.
VII. CONCLUSIONES	45
VIII. RECOMENDACIONES.....	46
REFERENCIA BIBLIOGRAFICA.....	47

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Descripción de los tratamientos y los métodos de aplicación que se aplicaran en el ensayo.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 2 Composición química del biofertilizante "Organic Humus"	20
Tabla 3 Composición química del biofertilizante "Super Humek R"	21

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Escala de desarrollo de una planta de frijol.....	8
Figura 2. Nutrientes extraídas por el cultivo de frijol por cada tonelada de grano	10
Figura 3. Mapa de la ubicación de la Finca Agroecológica, Catacamas Olancho.	19
Figura 4. Esquematación de la distribución de los tratamientos, utilizando un Diseño Completamente al Azar (DCA)	25
Figura 5. Promedios semanales de altura de planta de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) sometidas a aplicaciones de biofertilizantes super bajo los distintos tratamientos. T1 = Frijol con biofertilizante Super Humek R, T2 = Frijol con biofertilizante Organic Humus, T3 = Frijol sin aplicación de biofertilizante, T7 = Frijol con biofertilizante mezclados Organic humus y Super Humek R	30
Figura 6. Evolución del diámetro del tallo (mm) en plantas de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) durante cinco semanas, bajo la aplicación de diferentes tratamientos. T1 = Frijol con biofertilizante Super Humek R, T2 = Frijol con biofertilizante Organic Humus, T3 = Frijol sin aplicación de biofertilizante, T7 = Frijol con biofertilizante mezclados Organic humus y Super Humek R.....	32
Figura 7. Número de hojas promedio de plantas de frijol por semana bajo cuatro tratamientos (T1: Super Humek R, T2 (Frijol con biofertilizante), T3 (Frijol sin aplicación de biofertilizante) y T7 (Frijol con biofertilizante mezclados Organic humus y Super Humek R).....	34
Figura 8. Materia seca promedio de plantas de frijol bajo los tratamientos T1 (Frijol con biofertilizante Super Humek R), T2 (Frijol con biofertilizante Organic Humus), T3 (Frijol sin aplicación de biofertilizante) y T7 (Frijol con biofertilizante mezclados Organic humus y Super Humek R).....	35
Figura 9. Variables de rendimiento y morfología del frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) para los tratamientos mostrando medias $\pm$ desviación estándar	37
Figura 10. Contenido de carbono orgánico en el Cambisol bajo diferentes tratamientos, T1 (Frijol con biofertilizante Super Humek R), T2 (Frijol con biofertilizante Organic Humus), T3 (Frijol sin aplicación de biofertilizante), T4 (Suelo sin cultivo Super Humek R), T5 (Suelo sin cultivo con biofertilizante Super Humek R), T6 (Suelo sin cultivo con	

biofertilizante Organic Humus), T7 (Frijol con biofertilizante mezclados Organic humus y Super Humek R)	39
Figura 11. Respiración basal por tratamiento por etapa (T1, T2, T3, T7; Inicio, Media, Final).....	40
Figura 12. Promedio del pH del suelo por tratamiento con barras de error. Las letras indican diferencias significativas entre grupos	42
Figura 13. Matriz de correlación entre variables de planta y suelo.	43

I. INTRODUCCIÓN

La agricultura orgánica es un sistema que busca promover la salud del suelo, los ecosistemas y las personas mediante prácticas que excluyen del uso de insumos convencionales, favoreciendo alternativas naturales. Este enfoque tiene como objetivo proporcionar alimentos de alta calidad nutricional y minimizar el impacto ambiental mediante el uso de productos permitidos y sustentables. (Lelechenko, 2021).

Sin embargo, el uso de fertilizantes convencionales, aunque sea efectivo a corto plazo, puede generar problemas ambientales y económicos debido a la contaminación del suelo y agua, además del deterioro de la salud de los ecosistemas agrícolas (García Montealegre, 2009).

El cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) es de gran importancia en sistemas agrícolas, especialmente en países en desarrollo, tanto por su valor nutricional como por su capacidad de fijar nitrógeno, mejorando la fertilidad del suelo y reduciendo la necesidad de fertilizantes nitrogenados. Sin embargo, la productividad del frijol puede verse afectada por las limitaciones de fertilidad en suelos como el Cambisol, los cuales, a pesar de ser aptos para la agricultura, requieren de estrategias que fortalezcan su actividad biológica. (Balmford, Amano, & Bartlett, 2018)

En este contexto, surge la necesidad de evaluar alternativas sostenibles que mejoren tanto el desarrollo del frijol como la salud del suelo. El uso de biofertilizantes puede ser clave para potenciar la productividad del cultivo sin comprometer el medio ambiente, al promover la actividad de microorganismos beneficiosos y mejorar la disponibilidad de nutrientes.

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de dos biofertilizantes específicos, SUPER HUMEK R y ORGANIC HUMUS, en la fenología del frijol y en la actividad biológica de un Cambisol.

II. OBJETIVOS

2.1. General

- Evaluar el efecto de dos biofertilizantes SUPER HUMEK R y ORGANIC HUMUS en el crecimiento y rendimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris*) y en la actividad biológica del suelo.

2.2. Específico

- Monitorear las fases fenológicas del frijol (*Phaseolus vulgaris*) tratado con dos biofertilizantes SUPER HUMEK R y ORGANIC HUMUS.
- Medir la actividad biológica en un Cambisol tratado con los biofertilizantes SUPER HUMEK R y ORGANIC HUMUS.
- Identificar las diferencias en el rendimiento del cultivo de frijol tratado con los biofertilizantes SUPER HUMEK R y ORGANIC HUMUS.

III. HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis Alternativa: La aplicación de los biofertilizantes SUPER HUMEK R y ORGANIC HUMUS tiene efecto en la fenología en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris*) mejora y la actividad biológica del cambisol.

3.2. Hipótesis Nula: El uso de biofertilizantes no tiene un efecto significativo en la fenología del frijol (*Phaseolus vulgaris*) ni en la actividad biológica del cambisol.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Agricultura orgánica

La agricultura orgánica es un sistema de producción que trata de utilizar al máximo los recursos de la finca, dándole énfasis a la fertilidad del suelo y la actividad biológica y al mismo tiempo, a minimizar el uso de los recursos no renovables y no utilizar fertilizantes y plaguicidas sintéticos para proteger el medio ambiente y la salud humana. La agricultura orgánica involucra mucho más que no usar agroquímicos (FAO, 2018).

4.1.1. Principios y prácticas de la agricultura orgánica

Dentro de la agricultura orgánica hay 4 principios:

- **Salud:** La agricultura orgánica evita el uso de productos químicos que podrían tener un impacto negativo en el suelo, los cultivos, los animales y seres humanos. Por ello se busca obtener cosechas y alimentos que contribuyan a la buena salud (Pochteca Colombia, 2023).
- **Ecología:** Este principio muestra como todo el ecosistema esta interconectado y como la pérdida de biodiversidad necesita atención inmediata. Las prácticas agrícolas como el monocultivo y la agricultura industrial despojan a la tierra de sus hábitats naturales, los polinizadores y la vida silvestre que son esenciales para los sistemas alimentarios sostenibles (Organizacion Internacional Agropecuaria, 2023).

- **Equidad:** El principio de equidad en la agricultura orgánica aboga por una actitud decente y respetuosa con todos los agentes implicados: agricultores, proveedores, comerciantes y consumidores. La equidad en agricultura orgánica también sugiere proporcionar una alimentación y entorno adecuados (Cherlinka, 2024).
- **Cuidado:** La práctica de la agricultura orgánica pueden incrementar la eficiencia y la productividad siempre que no comprometan la salud y el bienestar (IFOAM).

Las prácticas de agricultura orgánica se basan en los principios anteriormente mencionados. Lo cual se enfocan en producir alimentos de calidad, libres de pesticidas y, mantener un ecosistema viable.

Dentro de las prácticas de la agricultura orgánica tenemos:

- Uso de insumos no agrícolas.
- Compostaje y uso de abonos orgánicos.
- Protección de la diversidad de insectos benéficos y polinizadores.
- Recuperación y mantenimiento de la fertilidad del suelo.

4.1.2. Impacto ambiental, social y económico de la agricultura orgánica

a) Su relación con el factor social

Se ha destacado la importancia e influencia de este tipo de agricultura en la sociedad, en el sentido de lo beneficioso que esta resulta siendo para la población en general. Ejemplo de ello es que esta agricultura produce alimentos mucho más saludables, nutritivos para los consumidores, lo cual repercute de forma positiva en la salud de estos.

El no usar productos químicos para su producción, hace que los alimentos ecológicos sean el aliado perfecto para evitar grandes enfermedades en los consumidores y, por el contrario, se incentiva una dieta mucho más sana (Camacho, 2023).

b) Su relación con el factor económico

Lo que (Valero, 2022) pretende es demostrar la viabilidad económica de la agricultura orgánica ante la insostenibilidad energética y económica de la agricultura industrial actual. La lógica capitalista, que persigue la maximización de la tasa de ganancia, atenta contra las dos fuentes de riqueza más importantes: trabajo y naturaleza.

Es por lo que las prácticas de la agricultura orgánica presentan, desde principios solidarios, una cultura emergente que se preocupa por la relación de equilibrio entre el hombre y la naturaleza.

c) Su relación con el factor medioambiental

En este principio (Cherlinka, 2024) nos dice que la utilización de técnicas respetuosas con el medio ambiente, como las que fomentan la calidad del suelo (evitando el agotamiento, la erosión y la degradación) o la eliminación de la contaminación de la naturaleza. También significa proporcionar condiciones de vida favorables a todos los miembros del ecosistema, ya que están estrechamente interconectados. Las prácticas ecológicas en agricultura orgánica mantienen el equilibrio necesario y ahorran recursos naturales, por ejemplo, restauran la fertilidad del suelo con materias no sintéticas (abonos verdes y animales), fomentan el reciclaje y la diversidad genética de las especies de la zona.

4.2. Fenología del Frijol (*Phaseolus vulgaris*)

La fenología del frijol hace referencia al estudio de los cambios en crecimiento y desarrollo de las estructuras de las plantas, a través del tiempo y de los efectos de las variables agroclimáticas sobre dichos procesos, mediante la construcción de escalas de estadios de desarrollo como la formación de hojas, floración, aparición de frutos y su maduración, caída de hojas y dormancia (Maeve & Williams, 2002).

La escala fenológica del frijol según el (IICA, 2009) consta de 10 etapas, cinco de las cuales son vegetativas (V) y las otras cinco son del estado reproductivo (R). (Fernandez, Gepts, & Lopez) Nos dice que el desarrollo de la planta del frijol comprende de manera general dos fases sucesivas:

- La fase vegetativa: Se inicia en el momento en que la semilla dispone de condiciones favorables para germinar y termina cuando aparecen el primero botones florales; en esta fase se forma la mayor parte de la estructura vegetativa que la planta necesita para iniciar su reproducción.
- La fase reproductiva: Se inicia con la aparición de los primeros botones o racimos florales y termina cuando el grano alcanza el grado de madurez necesario para la cosecha.

A lo largo de las fases vegetativa y reproductiva se identifica 10 etapas bien definidas de desarrollo las cuales conforman la escala representada en la **Figura 1**.

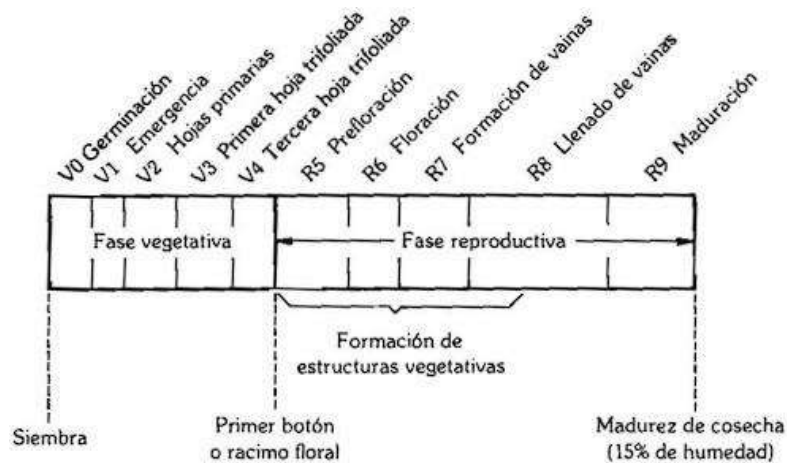


Figura 1. Escala de desarrollo de una planta de frijol

4.2.1. Efecto de la temperatura en la fenología del frijol

El clima propicio para el adecuado desarrollo del cultivo es el clima tropical y la temperatura que requiere esta entre 18 y 24 °C, aunque de igual forma este cultivo puede ser desarrollado a más altas y bajas temperaturas, solo que no tendría la misma producción que cuando se produce en sus temperaturas óptimas (FAO, Legumbres pequeñas semillas, grandes soluciones, 2018).

4.2.2. Efecto del agua y humedad en la fenología del frijol

Este cultivo requiere entre 350 a 600 mm de precipitación a lo largo de su ciclo productivo, los días que más requiere agua, es en los 15 días antes de que ocurra el periodo de floración y los días donde se debe mantener lo más seco posible, es en los 15 días antes de cosecha, para asegurar una buena humedad de los granos (FAO, Legumbres pequeñas semillas, grandes soluciones, 2018).

El cultivo de frijol requiere normalmente 2,5 cm (1 pulgada) de agua por semana. El mantillo puede ayudar a mantener el suelo húmedo durante más tiempo. Si la tierra está seca a una profundidad de 2,5 cm, es el momento de regar. Un riego suficiente es especialmente importante durante la etapa de floración. Para evitar enfermedades transmitidas por el suelo, lo mejor es emplear el riego por goteo para que la tierra no salpique el follaje (Watering & Fertilizing Beans).

4.2.3. Fertilización

Los requerimientos nutricionales del cultivo, esta referido a la necesidad de nutrimentos que tiene el cultivo para producir cada tonelada de grano de frijol. En el cultivo de frijol existen investigaciones que han reportado valores de extracción de nutrimentos con resultados variables; lo cual obedece a las condiciones que prevalecieron en el lugar en el que se llevaron a cabo, las variedades de frijol utilizadas y factores de manejo, principalmente. En la **Figura 2** se colocan los resultados de algunas investigaciones de

extracción de nutrientes en frijol y un promedio general, que nos ayuda como punto de partida para el cálculo de las necesidades de fertilización del cultivo (INTAGRI, 2021).

Fuente: Mora-Gutiérrez, 2021.

Autor	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
	kg/t					g/t			
Castellanos <i>et al.</i> , 2000	40	12	40						
Bertsch <i>et al.</i> , 2003	45	7	63	33.4	7.4	271	90.5	192.8	174.8
Hernández, 2009	53	6	55	30	8				
Lata, 2017	76	8.3	64.1	56	10				
Promedio	53.5	7.8	55.5	39.8	8.4				

Figura 2. Nutrientes extraídas por el cultivo de frijol por cada tonelada de grano.

El nitrógeno en el frijol es el de más importancia, fósforo no se requiere en gran cantidad, pero cabe recalcar que este nutriente no se encuentra siempre disponible en todos los suelos, por lo que de igual forma se debe realizar su debida aplicación, acorde a lo que indique el análisis de suelo, potasio y calcio son otros nutrientes que se necesitan en grandes cantidades en el cultivo de frijol (Fonseca, 2009).

4.2.4. Cultivo de frijol y su impacto en la seguridad alimentaria

Los países que tienen una mayor producción de frijol a nivel mundial son: Brasil, India, Myanmar, China, México y Estados Unidos y los países como Estados Unidos y China son los que tienen un mayor rendimiento promedio en todo el mundo (Gaucín, 2019). En Honduras, el frijol es cultivado en 16 de los 18 departamentos, pero en los que más se produce es en Olancho, Comayagua y El Paraíso (FAO, Legumbres pequeñas semillas, grandes soluciones, 2018).

El cultivo de frijol es una fuente bien importante de proteína vegetal en los estatus o clases económicas que son bajas y que por esa razón no pueden conseguir proteína animal para su propia alimentación, además, el consumo de este alimento ayuda para el control de ciertas enfermedades, como: la reducción de niveles de colesterol en la sangre, en pacientes diabéticos auxilia el metabolismo, lo que ayuda a reducir los aumentos de niveles de glucosa en la sangre, además de que prevé en ciertos tipos de cáncer (Sangerman, 2010).

La producción de este cultivo generalmente es realizada por pequeños productores, de la cual se generan innumerables empleos en este sector, por lo que, si se sigue aumentando la producción de este cultivo cada año, esto va a ser mucho más importante y beneficioso para las personas de bajos recursos que buscan empleos (Alvarez, 2009).

4.3. Biofertilizantes

El concepto de biofertilizantes ha sido descrito de diversas formas según varios autores. Se podrían describir como sustancias que contienen uno o más microorganismos vivos, que, al aplicarlos a las plantas, promueven su crecimiento aumentando la disponibilidad de nutrientes y/o produciendo o regulando sustancias promotoras del crecimiento vegetal (PGRs).

De esta manera, menciona que los biofertilizantes están formados por microorganismos beneficiosos para los cultivos y otras sustancias o portadores (Navarro Arenas, 2021). De acuerdo con Franche *et al.* (2009), los microorganismos actúan principalmente en la conversión de nutrientes no disponibles en formas asimilables por la planta, a través de su actividad metabólica.

Por otro lado, las sustancias portadoras hacen posible la formulación de los biofertilizantes de manera que estos sean estables por un periodo largo de tiempo y ayuden a potenciar el efecto de los microorganismos en los cultivos (Edyta Derkowska, 2015)

4.3.1. Interacciones planta-microorganismos en biofertilizantes

Los biofertilizantes promueven el crecimiento de las plantas mediante asociaciones simbióticas con microorganismos que mejoran la disponibilidad de nutrientes en el suelo. Este efecto se debe, en gran medida, a los microorganismos solubilizadores de nutrientes esenciales, como el fósforo, que actúan liberando compuestos solubilizantes y enzimas en la rizosfera. La presencia de estos microorganismos incrementa la eficiencia de absorción de nutrientes de la planta, mejorando su crecimiento y resistencia a condiciones de estrés (Khan, 2022).

Los estudios recientes destacan el papel de bacterias y hongos como *Pseudomonas*, *Bacillus*, y hongos micorrizas arbusculares (AMF) en la mejora de la nutrición y desarrollo del sistema radicular (Munees Ahemad, 2014). Además de la disponibilidad de nutrientes, los microorganismos presentes en los biofertilizantes también mejoran la salud del suelo y la actividad biológica en el mismo.

Los biofertilizantes aumentan la biodiversidad microbiana, lo que contribuye a suprimir patógenos de plantas y promover el crecimiento de microorganismos benéficos en la rizósfera (Vessey, 2003). Por ejemplo, la presencia de bacterias fijadoras de nitrógeno, como *Rhizobium* en leguminosas, mejora la disponibilidad de nitrógeno en el suelo y facilita una relación simbiótica que contribuye al crecimiento y rendimiento del cultivo de frijol (Souza, 2015).

4.3.2. Efectos de los biofertilizantes en los cultivos

Los biofertilizantes presentan diversas ventajas en comparación con los fertilizantes clásicos. Primeramente, gracias al uso de microorganismos podemos reducir la cantidad de fertilizantes químicos aplicados a los cultivos, que en exceso pueden comportar una reducción de la fertilidad del suelo y contaminación ambiental. En este sentido, se ha observado que los cultivos únicamente son capaces de utilizar del 10 al 40% de los

nutrientes aplicados, de manera que del 60 al 90% se pierde por inmovilización, lixiviación o volatilización (Anthony O. Adesemoye, 2009).

Además, los biofertilizantes incrementan la resistencia de las plantas a condiciones de estrés abiótico, como la sequía y la salinidad, lo cual es especialmente útil en zonas con limitación hídrica o suelos degradados. Los hongos micorrízicos, por ejemplo, mejoran la absorción de agua en las raíces y promueven una mayor eficiencia en el uso de recursos. Este tipo de asociaciones simbióticas permite a las plantas superar condiciones adversas, lo que se traduce en un aumento de la biomasa y del rendimiento final del cultivo (Pamela Calvo, 2014).

4.3.3. Biofertilizantes como alternativas a fertilizantes químicos

Bargaz *et al.* Citado por Arenas, (2021) nos presenta que debido a la problemática expuesta por las Naciones Unidas incluye los objetivos mencionados entre los 17 objetivos de desarrollo sostenible, diseñados para mejorar la sostenibilidad ambiental, económica y social para el 2030 (United Nations General Assembly, 2015). En este sentido, el segundo objetivo expuesto se basa en: “Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible”.

En este objetivo se proponen varias metas para el 2030, entre ellas duplicar la productividad agrícola para asegurar el acceso a los alimentos de toda la población. Además, se propone conseguir este objetivo al mismo tiempo que se asegura la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos.

Debido a estos motivos, en las últimas décadas se ha observado un cambio de paradigma en la agricultura, que se centra en una agricultura de precisión y una demanda de alternativas respetuosas con el medio ambiente. En este sentido, el uso de microorganismos en agricultura, a través de biofertilizantes, ha surgido como una alternativa al uso excesivo de fertilizantes químicos.

El uso de microorganismos beneficiosos en agricultura permite un uso más eficiente de los nutrientes del suelo, de manera que se reduce la necesidad de aporte de nutrientes. Por otro lado, mejorando la disponibilidad de nutrientes para el uso de estos por los cultivos, disminuye la contaminación derivada de los nutrientes residuales en suelo, que generalmente provocan una eutrofización y forman lixiviados, contaminando aguas subterráneas. Por último, los biofertilizantes mejoran la biodiversidad y fertilidad del suelo, consiguiendo frenar la pérdida de tierras cultivables en el planeta.

4.4. Actividad Biológica del suelo

La actividad biológica es considerada como un índice de la fertilidad de los suelos (Alef & Nannipieri, 1995). El suelo es un organismo vivo, que cumple funciones vitales, entre ellas transformar la materia inerte y en descomposición, así como los minerales, en nutrientes para las plantas, por otra parte, mejorar la estructura de los suelos con efectos positivos para la capacidad de retención de agua y nutrientes de los suelos y, por último, mejorar la producción de cultivos (Hernandez, 2021).

4.4.1. Diversidad microbiana del suelo

La alta diversidad microbiana en el suelo es crucial, ya que diferentes microorganismos cumplen roles específicos y complementarios en los ciclos biogeoquímicos, lo cual permite la resiliencia del suelo ante cambios ambientales y la adaptación a diferentes condiciones ecológicas (Paolina Garbeva, 2006). La diversidad microbiana del suelo es fundamental para la salud y la productividad de los ecosistemas terrestres.

Los microorganismos del suelo, como bacterias, hongos y arqueas, realizan funciones clave en el reciclaje de nutrientes, la formación de la estructura del suelo y la degradación de compuestos orgánicos. Estos organismos descomponen la materia orgánica y la transforman en nutrientes accesibles para las plantas, ayudando a mantener el equilibrio de nutrientes en los ecosistemas (Paolo Nannipieri, 2003).

4.4.2. Enzimas del suelo como indicadores de actividad biológica

Las enzimas son proteínas cuyo papel es catalizar las reacciones químicas en los sistemas vivos, actúan sobre sustratos específicos transformándolos en productos necesarios para los ciclos biológicos. Los organismos y las plantas liberan enzimas al suelo por secreción y por lisis celular después de su muerte; un bajo porcentaje de estas proteínas quedan inmovilizadas y estabilizadas en interacción con los diferentes componentes de la fase sólida del suelo, como las arcillas, moléculas orgánicas y complejos órganominerales (Noinville *et al.*, (2004).

Dependiendo del material, la interacción se da por mecanismos que incluyen: microencapsulación, enlaces transversales, formación de copolímeros, adsorción, entrapamiento, intercambio iónico y enlaces covalentes (Dick & Tabatabai, 1992).

Solo un bajo porcentaje de las enzimas que abandonan las células se encuentran estabilizadas, ya que se liberan a un ambiente inhóspito donde pueden ser sometidas a desnaturalización no biológica, adsorción, inactivación o degradación por proteasas. Al igual que en los otros sistemas vivos, la velocidad de la reacción catalizada por una enzima es dependiente del pH, de la fuerza iónica, de la temperatura y de la presencia o ausencia de inhibidores (Burns, 1982).

Las enzimas proceden de células proliferantes, latentes, o restos de ellas. La mayor producción de enzimas extracelulares se les atribuye a microorganismos por su gran biomasa, su alta actividad metabólica y su corto ciclo de vida, en contraste con otros organismos que también las pueden liberar como las plantas y los animales (Dick & Tabatabai, 1992).

4.4.3. Efectos de prácticas agrícolas en la actividad biológica del suelo

Las prácticas agrícolas tienen un impacto significativo en la actividad biológica del suelo, influyendo tanto en la diversidad como en la funcionalidad de sus organismos. El uso excesivo de fertilizantes químicos, pesticidas y herbicidas puede alterar la composición del microbiota del suelo, reduciendo la abundancia de organismos beneficiosos como bacterias, hongos y lombrices, los cuales juegan roles clave en la descomposición de materia orgánica y el reciclaje de nutrientes (Else K. Bünemann, 2006).

4.5. Suelo Cambisol

De acuerdo con las investigaciones realizadas por (UNESCO-FAO, 1976) El nombre suelos pardos forestales, ha sido usado para describir una amplia variedad de suelos distintos. Según el concepto originario, el suelo pardo forestal era un suelo que se formaba en climas templados subhúmedos con un (mull) o capa de humus suave, un horizonte B con una coloración más fuerte y un contenido de arcilla ligeramente más alto que el horizonte C, pero sin mostrar indicios de eluviación de arcilla y con carbonato cálcico en la porción inferior del solum.

Subsiguientemente este término se utilizó también para los suelos ácidos (suelos pardos forestales ácidos), suelos tropicales (sols bruns eutrophes tropicaux) y para los suelos con eluviación de arcilla (suelos pardos forestales podzolizados).

Por otro lado, surgen otras dificultades al establecer una distinción entre los suelos pardos forestales (Brown forest soils) y los suelos pardos arbolados (Brown wooded soils), burozems, los brunosoles o los suelos pardos, y al tratar de justificar por qué ciertos suelos pardos forestales pueden ser de color rojo o amarillo, o pueden no haber sustentado nunca algún tipo de bosque. Por estas razones se creó el término cambisoles como denominador común (del bajo lat. cambiare, cambiar; connotativo de cambios en color, consistencia y estructura resultantes de la meteorización in situ).

4.5.1. Caracterización fisicoquímica de los cambisoles

Juan José Ibáñez et al. (2011) nos dice que los cambisoles son un grupo de suelos que se caracterizan por una pedogénesis marcada pero no avanzada, lo que significa que presentan un desarrollo inicial de horizontes discernibles, principalmente el horizonte cámbico. Este horizonte se distingue por la formación de minerales de arcilla y óxidos de hierro, así como por la remoción de carbonatos o yeso. Nos señala cuales son las principales características fisicoquímicas estructura y composición:

- Horizontes: Los Cambisoles típicamente presentan un perfil de suelo con tres horizontes: A (superficial), B (cámbico) y C (material parental). El horizonte A es generalmente más oscuro debido a la materia orgánica, mientras que el horizonte B muestra un color pardo o rojizo.
- Textura: Su textura varía entre franca y arcillosa, con una notable presencia de limo en algunos casos. En particular, se ha observado que pueden tener más del 40% de limo en el horizonte superior.
- Estructura: La estructura del suelo es generalmente bien desarrollada, con formas granulares o subangulares en los horizontes A y B, lo que favorece la aireación y la retención de agua

Gómez González et al. (2017) identifica que las propiedades químicas son; saturación de bases, normalmente presentan una saturación de bases superior al 50%, lo que los hace aptos para diversos usos agrícolas si las condiciones climáticas son adecuadas. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC); Generalmente, su CIC es menor a 24 cmol c/kg , lo que indica una capacidad moderada para retener nutrientes.

4.5.2. Comportamiento de los microorganismos en los cambisoles

Los microorganismos desempeñan un papel crucial en la formación y desarrollo de los horizontes en los cambisoles, que son suelos jóvenes caracterizados por un proceso de formación incipiente, estos organismos influyen en la génesis de los horizontes del suelo.

(Vega, 2009) nos dice que la presencia de microorganismos en el suelo es variable, pero sigue la tendencia que a mayor profundidad se disminuye la cantidad de éstos.

La razón para ello es que buena parte de los microorganismos que se aíslan en medio de cultivos agarizados son heterótrofos y aeróbicos, y con la profundidad los compuestos carbonáceos y el O₂ disminuyen. En consecuencia, la densidad de las poblaciones microbiales disminuye.

4.5.3. Interacción suelo-planta en cambisoles.

Los cambisoles generalmente constituyen buenas tierras agrícolas y se utilizan intensivamente, con alta saturación de bases en la zona templada se encuentran entre los suelos más productivos de la tierra. En terrenos ondulados o montañosos se plantan con una variedad de cultivos anuales y perennes o se utilizan como tierras de pastoreo (FAO, 2015).

Los cambisoles son conocidos por su capacidad de retener nutrientes debido a su moderada capacidad de intercambio catiónico (CIC), lo que permite que las plantas accedan a elementos esenciales como nitrógeno, fósforo, y potasio.

Este suelo, aunque puede ser pobre en nutrientes en algunas áreas, presenta una mayor riqueza mineral en comparación con otros tipos de suelos, lo que beneficia el crecimiento vegetal (Juan Jose Ibáñez, 2011).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Área de estudio

El experimento de campo se estableció en el invernadero de la Finca Agroecológica del departamento académico de desarrollo rural y agroecológico de la Facultad de Ciencias de la Tierra y la conservación, dentro del campus de la Universidad Nacional de Agricultura, ubicada en la ciudad de Catacamas, departamento de Olancho. Con coordenadas (Figura 3.) latitud $14^{\circ} 49' 33''$ norte y longitud $85^{\circ} 50' 34''$ oeste. Altitud media 360 msnm. Se realizó durante el periodo comprendido entre enero - mayo de 2025.

El municipio de Catacamas tiene una precipitación mensual entre 80 – 90 mm, con una temperatura máxima de 31.9°C y una mínima de 23.9°C . Tomando en cuenta la evapotranspiración de 33.0 mm, con una velocidad de viento aproximado de 7.2 km/h.

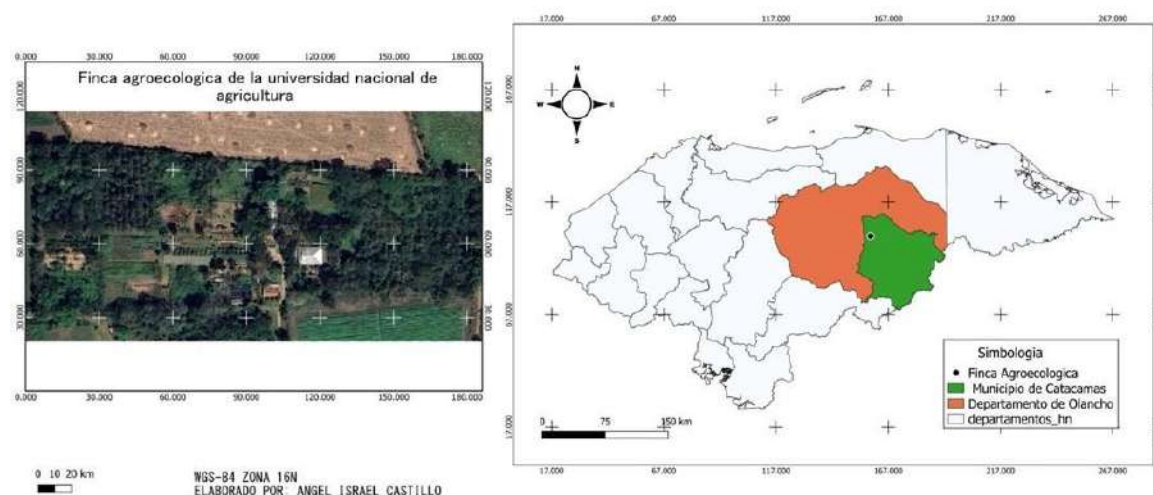


Figura 3. Mapa de la ubicación de la Finca Agroecológica, Catacamas Olancho.

5.2. Materiales y Equipo

Para la realización del ensayo se utilizaron diversos recursos agronómicos, entre ellos semillas de frijol (Amadeus) y una muestra de suelo tipo cambisol, la cual se obtuvo de la montaña. Además, se emplearon materiales básicos como una libreta de campo, cinta métrica, maceteros con capacidad de 2 kg, así como también instrumentos de medición como el pie de rey.

El equipo utilizado incluyó una computadora para el registro y análisis de datos, herramientas agrícolas como, pala, azadón, piochas. Asimismo, se contó con el apoyo de un laboratorio de suelos para la realización de los análisis correspondientes.

5.2.1. Composición de biofertilizantes utilizados

a) ORGANIC HUMUS

Para esta investigación se utilizó el producto Organic Humus, el cual es un biofertilizante rico en compuestos orgánicos (Tabla 2.) que favorecen en la actividad biológica del suelo y mejoran su fertilidad. A continuación, se presenta la composición del producto:

Tabla 1 Composición química del biofertilizante "Organic Humus"

Compuesto	Unidad
Potasio (K ₂ O)	10.00%
Ácido húmico	55.00%
Acido fúlvico	20.00%

b) SUPER HUMEK R

El biofertilizante Super Humek R utilizado en el estudio, en la Tabla 3. se presenta la composición química del producto comercial, así como sus respectivas concentraciones.

Tabla 2 Composición química del biofertilizante "Super Humek R"

Compuesto	Unidad
Nitrógeno (N)	2.00%
Calcio (CaO)	4.00%
Azufre (S)	0.70%
Boro (B)	0.08%
Cobre (Cu)	0.16%
Hierro (Fe)	0.35%
Manganeso (Mn)	0.35%
Molibdeno (Mo)	0.003%
Zinc (Zn)	0.23%
Silicio (SiO ₂)	2.0%
Ácidos húmicos	37.0%
Rhizobium	10.00%
Ácido Fúlvico	1.0%
Alga marina	1.0%
Aminoácidos	1.0%

5.2.2. Material vegetal utilizado

Se utilizó como material vegetal la variedad de frijol Amadeus 77, ampliamente reconocida y adoptada por los productores del departamento de Olancho debido a su alto rendimiento, buena adaptación a las condiciones agroclimáticas locales y resistencia a enfermedades comunes del cultivo. Esta variedad presenta un ciclo de maduración

intermedio, granos de color rojo brillante y buena aceptación en el mercado, lo que la convierte en una de las más sembradas en la región.

5.3. Descripción de los tratamientos

Tabla 1. Descripción de los tratamientos y los métodos de aplicación que se aplicaran en el ensayo.

Tratamiento	Descripción	Método de aplicación*
T1	Frijol con la aplicación de biofertilizantes Super Humek R	Se aplicarán 50 ml vía drench
T2	Frijol con la aplicación de biofertilizante Organic Humus	Se aplicará 40 ml vía drench
T3	Frijol sin aplicación de biofertilizante	No se aplica
T4	Suelo sin cultivo	Se aplicarán 50ml vía drench
T5	Suelo sin cultivo con la aplicación de biofertilizante Super Humek R	Se aplicarán 50ml vía drench
T6	Suelo sin cultivo con la aplicación de biofertilizante Organic Humus	Se aplicará 40 ml vía drench
T7	Frijol con biofertilizantes mezclados (Organic Humus y Super Humek R)	Se aplicará 40 ml via drench

*Se utilizarán las dosis recomendadas por el fabricante de igual forma la vía de aplicación.

En el presente ensayo se evaluaron diferentes combinaciones de biofertilizantes y testigos, con el fin de determinar su efecto sobre la fenología del frijol y la actividad biológica del suelo. Los tratamientos fueron establecidos considerando la aplicación individual y combinada de dos biofertilizantes, así como testigos con y sin cultivo, siguiendo las dosis y métodos de aplicación recomendados por los fabricantes. La Tabla 1 presenta la descripción detallada de cada tratamiento y la vía de aplicación correspondiente.

5.4. Establecimiento del ensayo

El establecimiento del ensayo se realizó siguiendo las condiciones y procedimientos definidos en el diseño experimental, con el propósito de garantizar la uniformidad y confiabilidad de los resultados. Las actividades incluyeron la preparación del sustrato, la siembra del material vegetal, la asignación aleatoria de los tratamientos y la instalación de las unidades experimentales dentro del invernadero. Asimismo, se llevaron a cabo las labores necesarias para el correcto manejo del cultivo y la aplicación de los biofertilizantes según las recomendaciones técnicas.

5.4.1. Preparación unidades experimentales

En todos los tratamientos se utilizó el mismo tipo y cantidad de suelo para garantizar la uniformidad en las condiciones de cultivo. El suelo fue recolectado de una zona conocida como La Montañita, catalogada como Sitio de Importancia para la Vida Silvestre (SIPVS), seleccionada por sus características representativas de un cambisol.

Durante la recolección, se eliminaron residuos como piedras, raíces y materia orgánica de mayor tamaño visible. El suelo fue trasladado al invernadero de la finca agroecológica de la UNAG y posteriormente tamizado para obtener un suelo homogéneo adecuado para su uso en las macetas.

Cada unidad experimental consistió en 3 maceteros plásticos que tuvieron una capacidad de dos kilogramos de suelo cada uno, haciendo un total de 84 maceteros. Fueron seleccionados para el ideal desarrollo del frijol en condiciones controladas y permitir un manejo eficiente. Para evitar problemas de drenaje, cada maceta contó con perforaciones en la base.

El método de siembra fue directo, colocando cinco semillas de frijol por maceta. Una vez que las semillas germinaron, se seleccionó la plántula más vigorosa considerando su

altura y uniformidad en comparación a las demás, eliminando las menos desarrolladas para garantizar condiciones óptimas de crecimiento de la planta seleccionada.

5.4.2. Tiempo de aplicación de los biofertilizantes por tratamiento

a) Super Humek R

Se aplicó cuando el cultivo presentó las primeras hojas verdaderas, a los 10 días después de la siembra, considerando que esta es una etapa crucial para el desarrollo y productividad del cultivo. La primera aplicación se realizó vía drench, seguida de una segunda aplicación 7 días después. Posteriormente, las aplicaciones se efectuaron cada 7-8 días de forma continua hasta la etapa reproductiva. Este esquema de aplicación corresponde a la recomendación establecida por el fabricante del producto, garantizando así un manejo acorde con las especificaciones técnicas para maximizar su efectividad.

b) Organic Humus

Su aplicación estuvo indicada a plantas en cualquier estado vegetativo. Se aplicó en los primeros 10 días vía drench, después de que las plantas presentaron las hojas verdaderas, la segunda aplicación se realizó a los 7 días y así de forma continua durante todo el periodo experimental. Esto se hizo con el fin de evaluar el efecto en la estructura del suelo y desarrollo de la planta.

5.4.3. Diseño experimental

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) que incluyó un total de siete tratamientos con cuatro repeticiones, lo que resultó en un total de 28 unidades experimentales. La unidad experimental consto con maceteros de 2 kg de suelo al cual se le sembró plantas de frijol de la variedad Amadeus. Los tratamientos con su respectiva repetición fueron asignados aleatoriamente a las unidades experimentales (Figura 4).

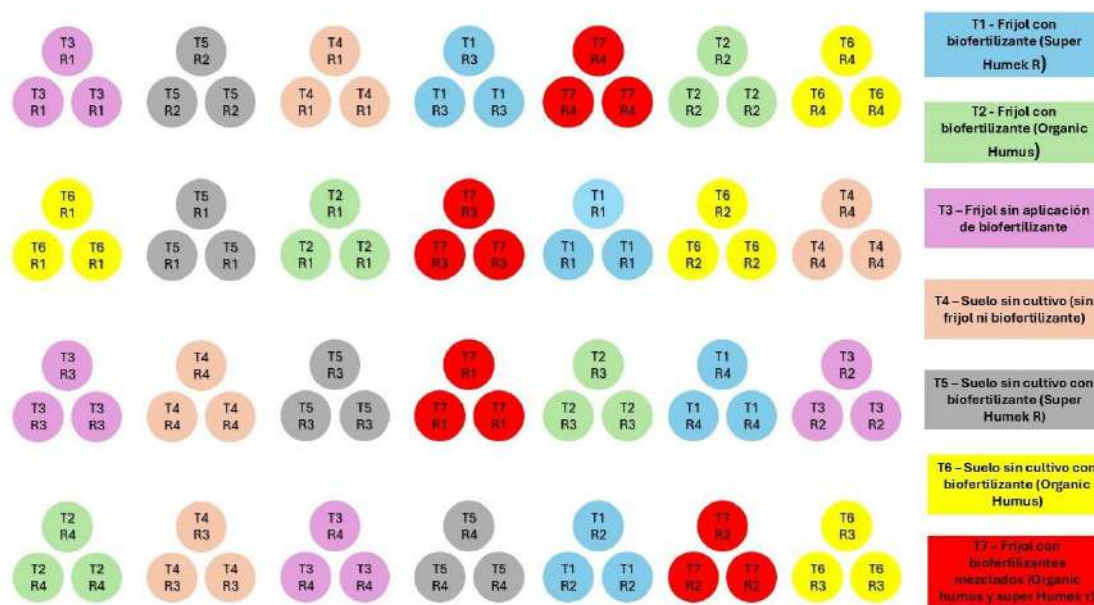


Figura 4. Esquematización de la distribución de los tratamientos, utilizando un Diseño Completamente al Azar (DCA)

5.6. Variables evaluadas

Para facilitar la medición de las variables en esta investigación, estas fueron agrupadas en dos categorías, la primera denominada fenología del frijol y la segunda corresponde a la actividad biológica en el suelo.

5.6.1. Fenología del frijol

En la etapa correspondiente de la fenología del cultivo del frijol, se evaluaron cuatro variables de la siguiente manera:

- Germinación:** En esta variable, se midió el tiempo de emergencia de las plántulas utilizando el método de monitoreo diario desde la siembra hasta que la mayoría de las plántulas emergieron del suelo. Para registrar esta información se utilizó como herramienta un registro manual. La germinación se evaluó mediante el

conteo de los días transcurridos, observándose que todas las plántulas germinaron en un periodo de cinco días.

- b. Altura: Para la medición de las variables altura de planta, se midió utilizando cinta métrica desde la base del tallo hasta el ápice de la planta.
- c. Número de hojas: El método que se utilizó fue contar manualmente todas las hojas por planta, incluyendo sanas, enfermas o dañadas, para obtener un registro completo del desarrollo del cultivo.
- d. Grosor del tallo: El grosor del tallo se midió utilizando un pie de rey. La frecuencia de las mediciones fue una vez por semana, preferiblemente por la mañana, con el fin de minimizar los efectos de la deshidratación del tallo de las plántulas. Las mediciones se realizaron a la mitad del tallo, ya que esta zona presentaba una estructura más uniforme, lo que permitió obtener datos más consistentes y reducir el margen de error.
- e. Floración: En esta variable se registró al inicio y duración de floración, para ello mediante la observación directa y utilizando un cronograma de seguimiento se registró el día que aparece la primera flor y cuantos días de duración tiene esta fase.
- f. Fructificación: En esta variable se evaluó la producción de vainas de la planta, para ello se realizaron dos actividades principales. La primera consistió en contar el número de vainas por planta al final del ciclo del cultivo. La segunda actividad incluyó la determinación del peso fresco y seco tanto de las vainas como de las semillas, utilizando una báscula.
- g. Materia seca: Se procedió a la destrucción de las plantas, primero se pesaron en su estado húmedo, y luego se colocaron en un horno para deshidratarlas a 60 grados celcius y determinar su peso seco.

5.6.2. Actividad biológica en el Suelo

En esta categoría se evaluó la actividad biológica del suelo, para ello se midieron las siguientes variables:

- a. Respiración del suelo: se utilizó el método de titulación de CO₂ liberado. Este procedimiento consistió en incubar muestras de suelo en frascos de plástico herméticamente cerrados, donde se colocó un medio absorbente para capturar el dióxido de carbono (CO₂) producido por la respiración microbiana. Posteriormente, se realizó una titulación para cuantificar la cantidad de CO₂ liberado. Las mediciones se llevaron a cabo en tres momentos clave del experimento: al inicio, a la mitad y al final del ciclo del cultivo, con el propósito de monitorear los cambios en la actividad microbiana del suelo a lo largo del tiempo.

$$RBS \text{ (mg de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ Suelo dia}^{-1}) = \frac{(Vb - Vm) \cdot M \cdot 6.1000}{P_{sg}}$$

Donde:

RBS = Respiración basal del suelo

Vb = Volumen de HCl consumidos para titular el blanco

Vm = Volumen de NaOH gastado en la muestra con suelo

M = Molaridad de 0.5

Psg = Peso del suelo en gramos

- b. Materia orgánica del suelo: La determinación de la materia orgánica se realizó mediante el método de Walkley-Black, el cual se basa en la oxidación química del carbono orgánico presente en la muestra del suelo, utilizando dicromato de potasio. Posteriormente, se llevó a cabo una titulación para cuantificar el carbono oxidado, lo que permitió estimar el contenido de materia orgánica. Este procedimiento se desarrolló siguiendo los lineamientos establecidos en los manuales de análisis de suelos de (Pardo, 2020)

Cada una de las muestras fue sometida a la metodología explicada en la determinación de la materia orgánica, para obtener el resultado fue necesario obtener los mililitros gastados al titular el blanco y para obtener el porcentaje de materia orgánica se requirió de las siguientes formulas:

$$\% C = \frac{(ml\ blanco - ml\ muestra)(N)(0.003)(100)}{peso\ de\ la\ muestra} \times 1.3$$

% C = Porcentaje de carbono

ml blanco = mililitros gastados en la titulación del carbono

ml muestra = mililitros gastados en la titulación de la muestra

N = Normalidad del sulfato ferroso amoniacal

0.003 = miliequivalente en gramo del carbono

1.3 = factor de corrección

$$\% MO = (\%C)(1.724)$$

Donde:

% MO = porcentaje de materia orgánica

% C = porcentaje de Carbono

1.724 = factor de determinación

- c. pH del suelo: La determinación del pH del suelo se llevó a cabo mediante el método potenciométrico. Para ello, se recolectaron muestras representativas de suelo de cada una de las unidades experimentales. Posteriormente, se preparó una suspensión de suelo-agua, que fue agitada y dejada en reposo durante un tiempo determinado para asegurar una lectura estable. Las mediciones se realizaron utilizando un potenciómetro debidamente calibrado con soluciones buffer de pH 7 y 10 antes de cada sesión de lectura. El electrodo del equipo se introdujo en cada muestra y una vez que la lectura se estabilizó, se registró el valor correspondiente. Este procedimiento permitió evaluar posibles cambios en la acidez del suelo a lo largo del ciclo del cultivo, en respuesta a los tratamientos aplicados.

5.7. Análisis estadísticos

Para el análisis de los datos recolectados durante la investigación, inicialmente se procedió a la preparación de estos, se utilizó el software estadístico Infostat se realizó los análisis necesarios, incluyendo pruebas como el análisis de varianza (ANOVA) y la comparación de medias, con el fin de evaluar los efectos de los tratamientos aplicados.

Para mejor comprensión se visualizaron los datos a través de gráficos y tablas para identificar patrones iniciales tanto en la fenología del frijol como en la actividad biológica en el suelo. Además, se realizaron pruebas de correlación para identificar posibles relaciones entre estas variables. En caso de encontrar asociaciones significativas, se contempló la aplicación de análisis multivariado para evaluar de forma conjunta la influencia de las variables y comprender mejor la dinámica y complejidad del sistema evaluado.

VI. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1 Fenología del cultivo

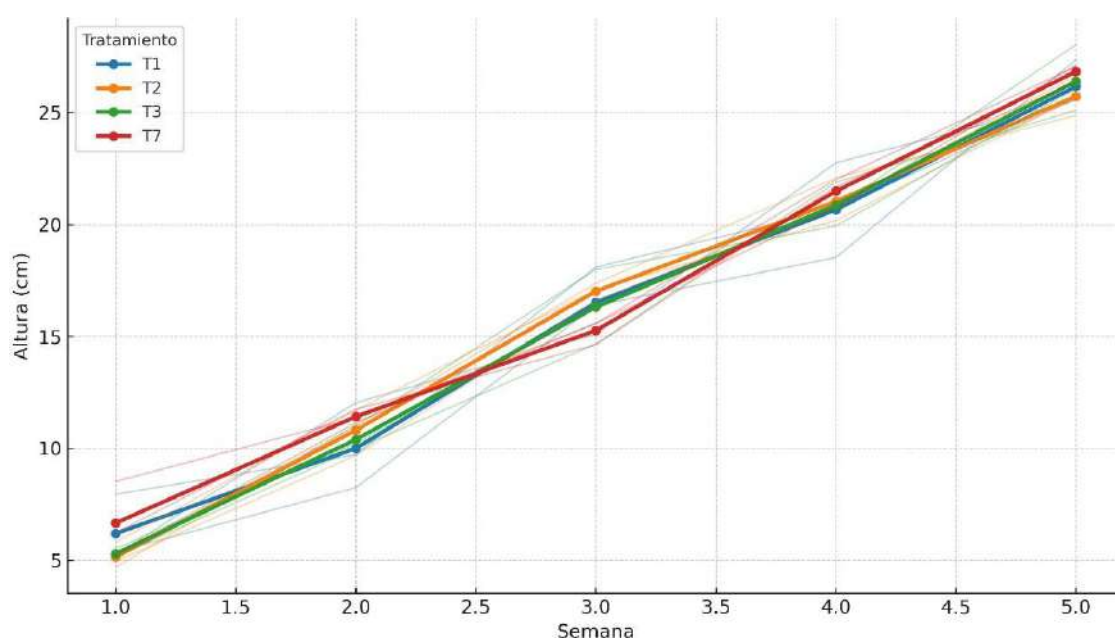


Figura 5. Promedios semanales de altura de planta de frijol (*Phaseolus vulgaris*) sometidas a aplicaciones de biofertilizantes super bajo los distintos tratamientos. **T1**= Frijol con biofertilizante Super Humek R, **T2** = Frijol con biofertilizante Organic Humus, **T3** = Frijol sin aplicación de biofertilizante, **T7** = Frijol con biofertilizante mezclados Organic humus y Super Humek R.

Como se puede observar en la **Figura 5** un crecimiento sostenido en todos los tratamientos. Hasta en la semana 2 las diferencias entre el T1 (Super Humek R), T2 (Organic Humus), T3 (Frijol sin aplicación) y finalmente el T7 (Frijol con aplicación de dos biofertilizantes) son mínimas, reflejando un establecimiento similar. A partir de la semana 3, T1 y T3 superan a los demás, alcanzando cerca de 27 cm al final. T7 se sitúa en un nivel intermedio, mientras que el T2 presenta el valor más bajo.

En el caso del T1 (Super Humek R) fue el que tuvo mayor crecimiento, esto debido a lo investigado por (Intagri, s.f.) y (Lombricentro, 2025) que el N y micronutrientes promueven división celular, clorofila y metabolismo. Ácidos húmicos mejoran la CIC, la retención de agua y estimulan el microbiota. En el T2 (Frijol con biofertilizante Organic Humus) es el que tuvo menor altura al final, aunque los ácidos húmicos y fúlvicos mejoren la estructura del suelo, la disponibilidad directa de N y micronutrientes pudo haber sido baja. Los ácidos húmicos benefician raíces y suelo, pero sin un N adicional el crecimiento aéreo puede ser menos sin causar un crecimiento relevante (Sembralia, 2020).

El T3 (Frijol sin aplicación de biofertilizantes) tuvo un crecimiento alto igual al T1, puede ser debido a que la planta de frijol tuvo mejor adaptación al manejo y cuidados que se le dieron a cada plata, por otro lado, naturalmente las leguminosas fijan N_2 y el suelo, apporto suficientes nutrientes inicialmente, lo que permitió un desarrollo vigoroso que no fue necesario la aplicación de insumos adicionales.

Por ultimo el T7 (Frijol con biofertilizante mezclados Organic humus y Super Humek R) este tratamiento fue el que tuvo un crecimiento intermedio, esto puede ser debido a lo que nos indica (Valenzuela, 2017) puede existir competencia en la absorción o saturación de efectos (ej. exceso de húmicos que impidan absorción de N) o interferencia entre productos, generando un efecto menos sinérgico que usar uno a la vez y (sugiere que combinaciones no siempre aumentan la eficiencia).

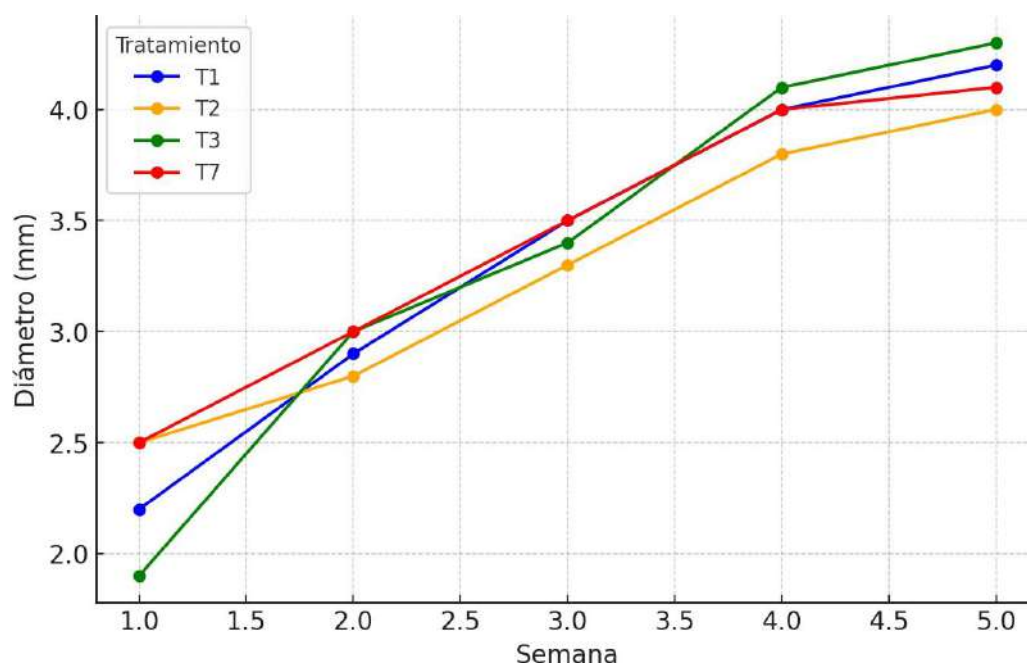


Figura 6. Evolución del diámetro del tallo (mm) en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) durante cinco semanas, bajo la aplicación de diferentes tratamientos. **T1**= Frijol con biofertilizante Super Humek R, **T2** = Frijol con biofertilizante Organic Humus, **T3** = Frijol sin aplicación de biofertilizante, **T7** = Frijol con biofertilizante mezclados Organic humus y Super Humek R.

El diámetro representado en la Figura 6 el tallo mostro un crecimiento progresivo y sostenido en todos los tratamientos, con una tendencia ascendente a lo largo del tiempo. Durante las dos primeras semanas, las diferencias fueron mínimas, reflejando un patrón uniforme de establecimiento del cultivo.

A partir de la tercera semana se observó ligeras variaciones, el T3 (Frijol sin aplicación de biofertilizante) se destaca por mantener un crecimiento continuo hasta alcanzar los valores mas altos al final (4.3 mm). El T1 (Frijol con biofertilizante Super Humek R) y T7 (Frijol con biofertilizante mezclados Organic humus y Super Humek R) se ubicaron en un nivel intermedio-alto, mientras que el T2 (Frijol con biofertilizante Organic Humus) presento el menor diámetro final (4.0 mm) aunque con estabilidad en su tendencia.

El T1 tuvo un buen engrosamiento del tallo (4.2 mm) esto puede ser debido a que el N y Ca estimulan la síntesis de proteínas y la rigidez en paredes celulares; los micronutrientes actúan como cofactores enzimáticos; los ácidos húmicos y fúlvicos favorecen la absorción de nutrientes; y *Rhizobium* incrementa la fijación biológica de N, clave en leguminosas. (Chekanai, Chikowo, & Vanlauwe, 2018)

T2 a diferencia de los demás tratamientos la riqueza de los ácidos húmicos y fúlvicos del biofertilizante mejoran la estructura del suelo, como la retención de agua, pero pudo carecer de N y micronutrientes suficientes limita la síntesis de biomasa estructural. El T3 el frijol, como leguminosa establece simbiosis natural con *Rhizobium* presente en el suelo, lo que permite una fijación de N suficiente y un crecimiento equilibrado aun sin insumos externos (Valenzuela, 2017).

Por último, el T7 obtuvo un diámetro intermedio (4.1 mm) la combinación aporte nutrientes y compuestos húmicos, pero no supero a T1 o T3, posiblemente por competencia microbiana o saturación de ácidos húmicos que redujo la eficiencia en la absorción de N. Estudios muestran que combinaciones húmicas no siempre generan efectos sinérgicos (Biswas & Ma, 2016).

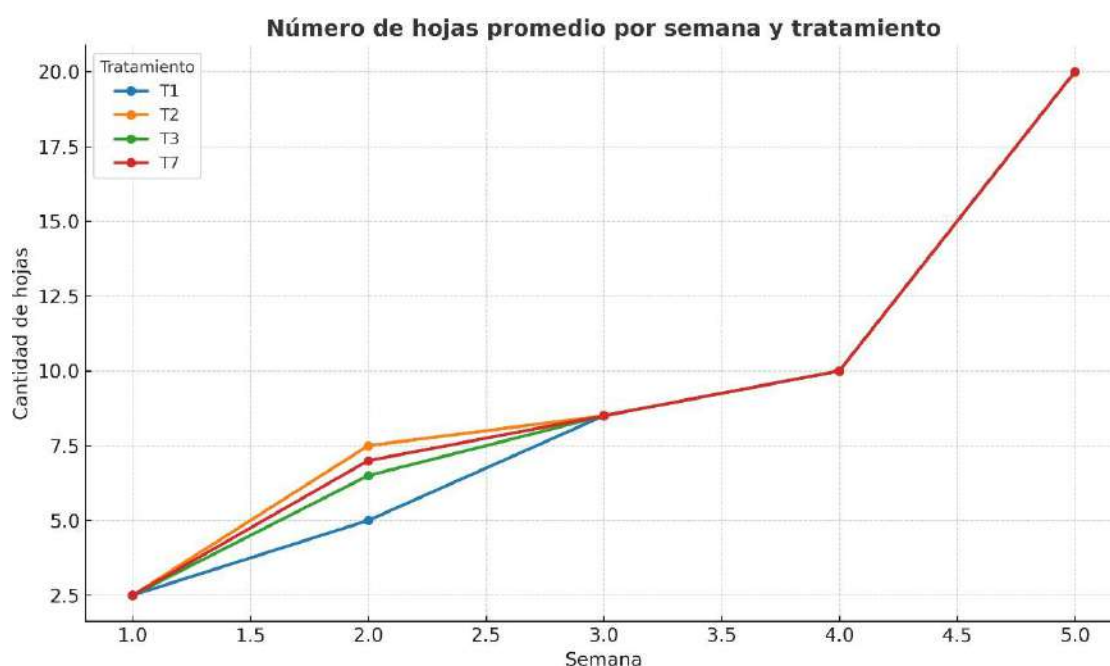


Figura 7. Número de hojas promedio de plantas de frijol por semana bajo cuatro tratamientos (T1: Super Humek R, T2 (Frijol con biofertilizante), T3 (Frijol sin aplicación de biofertilizante) y T7 (Frijol con biofertilizante mezclados Organic humus y Super Humek R).

Como muestra la **Figura 7**, el número de hojas aumentó de manera progresiva en todos los tratamientos durante las cinco semanas de evaluación. Hasta la semana 3, los tratamientos mostraron un comportamiento muy similar, con valores de 8–9 hojas en promedio. Sin embargo, a partir de la semana 4 y especialmente en la semana 5, los tratamientos fueron todos iguales en la cantidad de hojas desarrolladas. Finalmente mostraron este incremento notorio, alcanzando un promedio de 20 hojas y más.

El T1 (Frijol con biofertilizante Super Humek R) y T2 (Frijol con biofertilizante Organic Humus) ambos tratamientos mostraron incrementos similares y estables. El N, Ca mas los micronutrientes de Super Humek R sustentan el crecimiento vegetativo, mientras que los ácidos húmicos y fúlvicos de Organic Humus mejoran la disponibilidad de nutrientes.

Por otro lado, el T3 (Frijol sin aplicación de biofertilizante) mantuvo un crecimiento foliar aceptable, reflejando la capacidad del frijol para aprovechar la fertilidad y simbiosis natural del suelo.

Finalmente, el T7 (Frijol con biofertilizante mezclados Organic humus y Super Humek R) efecto complementario los ácidos húmicos y fúlvicos del Organic Humus estimulan la absorción de nutrientes y la actividad enzimática, mientras que los micronutrientes, aminoácidos y Rhizobium presentes en Super Humek R favorecen la síntesis de clorofila y fijación de nitrógeno. En la investigación desarrollada por Scott P. et al (2020) nos dice que los ácidos fúlvicos estimulan la expansión foliar y la absorción de nutrientes, incrementando el crecimiento vegetativo en leguminosas.

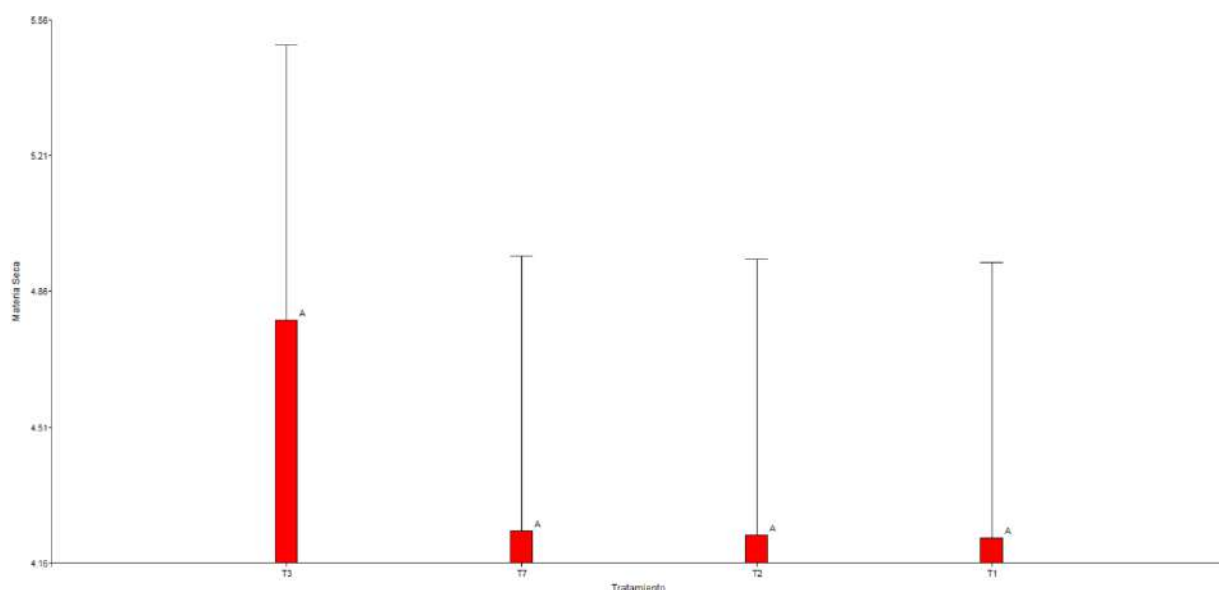


Figura 8. Materia seca promedio de plantas de frijol bajo los tratamientos T1 (Frijol con biofertilizante Super Humek R), T2 (Frijol con biofertilizante Organic Humus), T3 (Frijol sin aplicación de biofertilizante) y T7 (Frijol con biofertilizante mezclados Organic humus y Super Humek R).

En la **Figura 8**, mostro que no existieron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, aunque se ven variaciones en los valores promedio. El tratamiento T3 (Frijol sin aplicación de biofertilizante) alcanza la mayor acumulación de materia seca, mientras que T1 (Frijol con biofertilizante Super Humek R) y T2 (Frijol con biofertilizante Organic Humus) y T7 (Frijol con biofertilizante mezclados Organic humus y Super Humek R) registraron valores más bajos y similares entre sí.

Los biofertilizantes evaluados no lograron incrementar de manera significativa la acumulación de biomasa seca. El Super Humek R, a pesar de contener N, Ca, micronutrientes, ácidos húmicos y *Rhizobium* añadido, mostró valores similares a los demás tratamientos. Asimismo, Organic Humus, compuesto principalmente por ácidos húmicos, fúlvicos y potasio, pudo haber favorecido la estructura del suelo y la disponibilidad de nutrientes, pero sin traducirse en una mayor acumulación de materia seca en el corto plazo, como también lo señalan Capstaff et al. (2020), quienes reportan que el efecto de estas sustancias sobre la biomasa aérea puede ser altamente variable y dependiente de las condiciones del suelo.

Los resultados sugieren que el frijol es capaz de sostener su crecimiento y acumulación de biomasa sin necesidad de insumos externos, gracias a su simbiosis natural con. Los biofertilizantes aportaron estabilidad en el crecimiento, pero no mostraron efectos significativos en la producción de materia seca bajo las condiciones de este estudio.

6.2 Variables de rendimiento de frijol

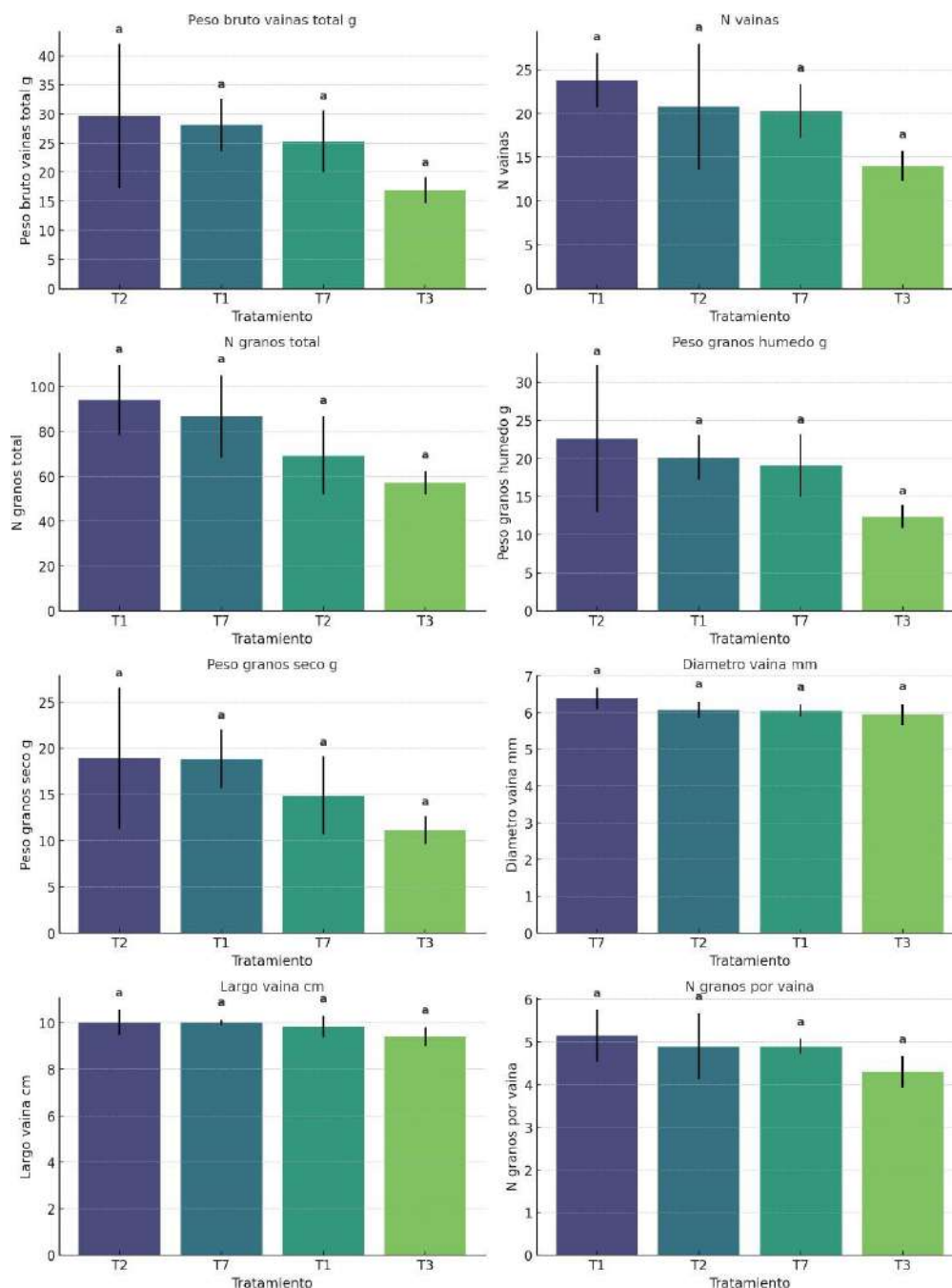


Figura 9. Variables de rendimiento y morfología del frijol (*Phaseolus vulgaris*) para los tratamientos mostrando medias $\pm$ desviación estándar.

La **Figura 9** Los análisis de medias con prueba de Tukey evidenciaron que no existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos para las variables de rendimiento (peso bruto de vainas, número de vainas, número total de granos, peso de

granos húmedos y secos, diámetro y longitud de vainas, y número de granos por vaina). Este resultado confirma que, bajo las condiciones del presente estudio, los biofertilizantes aplicados no ejercieron un efecto contundente en el rendimiento del frijol Amadeus 77.

Los tratamientos T1 (Super Humek R) y T2 (Organic Humus) son ligeramente mayores en todas las variables, en las que más similitud tienen es en peso bruto de las vainas, número de vainas, número de granos, peso húmedo y seco, entre otras, pero sin diferencias estadísticas. El llenado de vainas depende de la fijación de N y la fotosíntesis en leguminosas la simbiosis con *Rhizobium* permite compensar diferencias de fertilización (Trap, Tsoushima Ernert, & Rabary, 2022). Los ácidos húmicos y fúlvicos estimulan el metabolismo y podrían favorecer el número de granos, pero la capacidad del frijol de fijar N explica que incluso el control produzca similar Capstaff et al. (2020).

Aunque estas diferencias no fueron estadísticamente significativas, en un contexto productivo real pueden representar un incremento apreciable en la producción total por unidad de superficie, lo cual es relevante para el agricultor que busca maximizar ingresos y estabilidad en el rendimiento.

Por otra parte, variables como el diámetro y longitud de la vaina y el número de granos por vaina se mantuvieron estables en todos los tratamientos, lo cual confirma que son caracteres determinados principalmente por la genética de la variedad utilizada y menos susceptibles a la influencia de biofertilizantes en un ciclo de cultivo corto.

El K_2O y los ácidos húmicos mejoran la translocación de carbohidratos y el llenado de granos, pero la ausencia de diferencias estadísticas muestra que el frijol aprovecha eficientemente los nutrientes del suelo. La morfología de la vaina es un carácter altamente genético y poco sensible a biofertilizantes en corto plazo; por ello no se detectaron diferencias. También es un carácter genético estable, influido más por la fisiología reproductiva de la variedad que por la fertilización Ho et al. (2020).

6.3 Carbono Orgánico

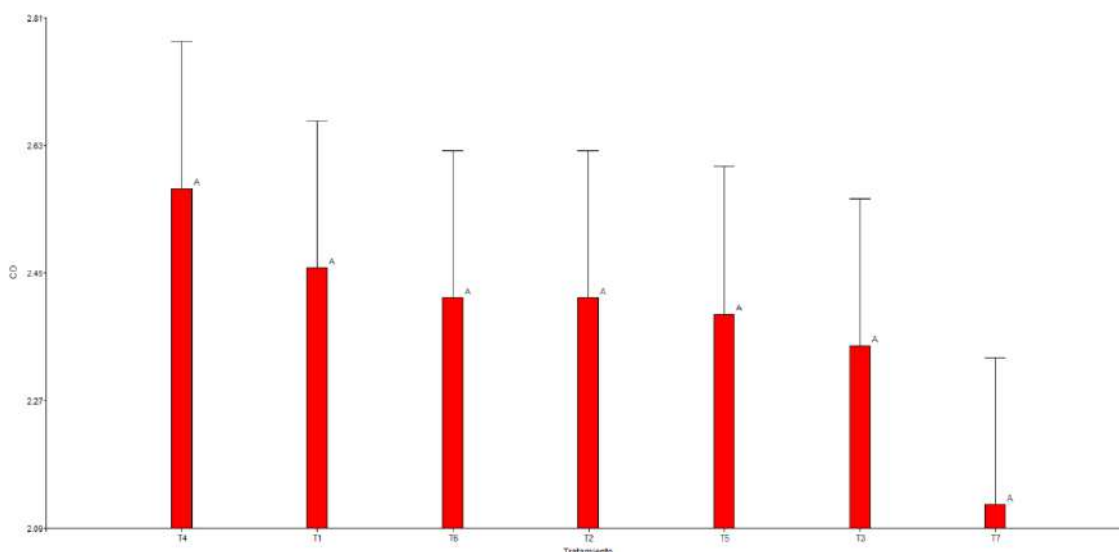


Figura 10. Contenido de carbono orgánico en el Cambisol bajo diferentes tratamientos, T1 (Frijol con biofertilizante Super Humek R), T2 (Frijol con biofertilizante Organic Humus), T3 (Frijol sin aplicación de biofertilizante), T4 (Suelo sin cultivo Super Humek R), T5 (Suelo sin cultivo con biofertilizante Super Humek R), T6 (Suelo sin cultivo con biofertilizante Organic Humus), T7 (Frijol con biofertilizante mezclados Organic humus y Super Humek R)

El análisis de medias en la **Figura 10** no mostró diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (todos con letra A). Sin embargo, se observan ligeras variaciones: T4 (T4 Suelo sin cultivo Super Humek R) y T1 (Frijol con biofertilizante Super Humek R) registraron los valores más altos de carbono orgánico, mientras que T7 (T7 Frijol con biofertilizante mezclados Organic humus y Super Humek R) mostró el valor más bajo.

Los valores T4 y T1 fueron los valores mas altos, el aporte de ácidos húmicos y fúlvicos favorece a la estabilización de carbono en el suelo, ya que fracciones orgánicas aumentan la capacidad de retención y formación complejos estables. En el caso de T1 la interacción entre raíces de frijol y la aplicación del biofertilizante pudo estimular la entrada de carbono vía exudados radiculares y residuos vegetales. De acuerdo con (Frontiers in Microbiology, 2018) Indican que hasta un 20 % del carbono fijado por fotosíntesis puede transferirse al suelo vía exudados radiculares, contribuyendo directamente al carbono orgánico.

Aunque estadísticamente no se observaron diferencias, los resultados sugieren que el uso de biofertilizantes con ácidos húmicos (Super Humek R y Organic Humus) tiende a favorecer la retención y estabilización del carbono en el suelo, mientras que el frijol por sí mismo contribuye a través de la fijación de N y la deposición de biomasa. Sin embargo, la mezcla (T7) no potenció el efecto, lo que indica que las interacciones pueden ser complejas y no siempre sinérgicas. (Biswas & Luo Ma, Canadian Science Publishing, 2016) señala que los biofertilizantes húmicos no siempre generan incrementos significativos en el carbono del suelo.

6.4 Actividad biológica del suelo

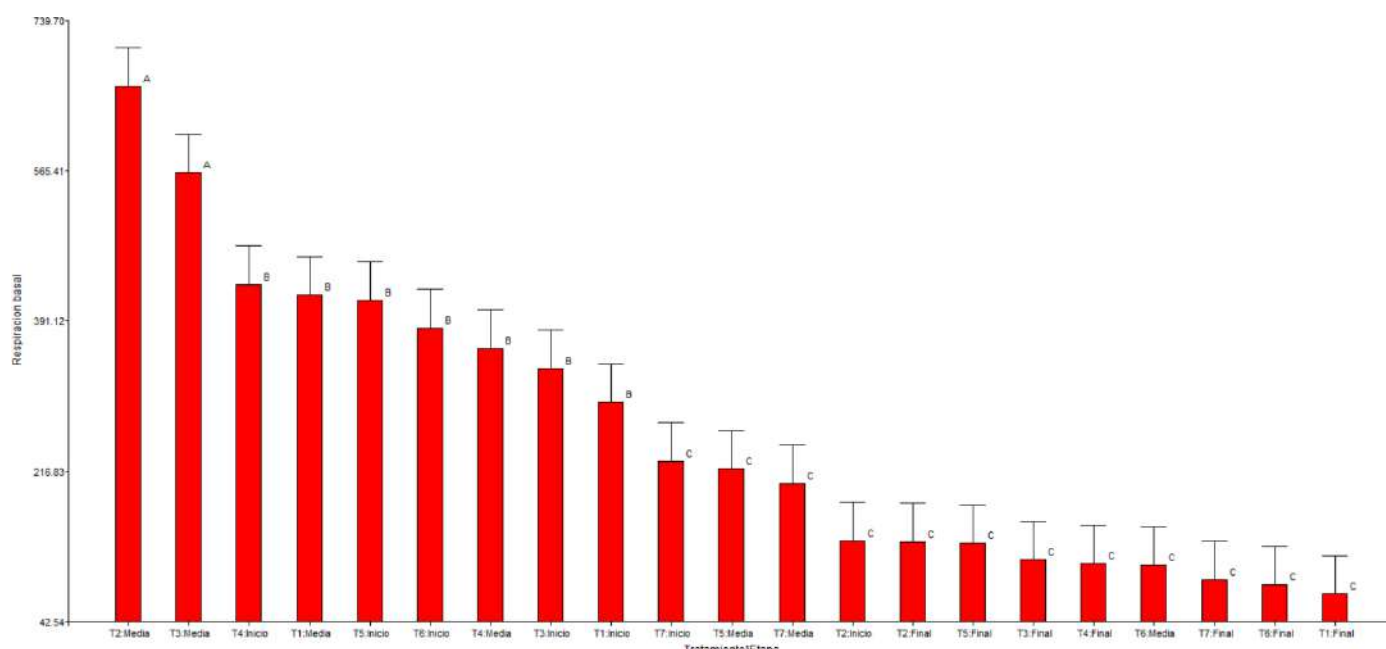


Figura 11. Respiración basal por tratamiento por etapa (T1, T2, T3, T7; Inicio, Media, Final).

La **figura 8** se observan el efecto de la respiración basal del suelo, en los tratamientos con frijol (T2 Frijol con biofertilizante Organic Humus) y (T3 Frijol sin aplicación de biofertilizante) en etapa media presentaron la mayor respiración basal. Esto se explica porque en esta fase la planta produce la mayor biomasa y libera más exudados radiculares (azúcares, aminoácidos) lo cual activa a la actividad microbiana del suelo.

Este efecto se sustenta en el siguiente estudio que demuestran que los exudados radiculares actúan como fuente activa de carbono lábil para el microbiota edáfico: la incorporación de exudados al suelo incrementa significativamente la respiración basal (Adamczyk, Rüthi, & Frey, 2021) que los exudados radiculares pueden trasladar hasta un 20 % del carbono fijado por fotosíntesis al suelo, alimentando a bacterias y estimulando la respiración heterotrófica (Hou, 2025).

Aunque los biofertilizantes (T5 y T6) aportaron cierta actividad al inicio, esta no fue suficiente para mantenerla en las etapas finales, lo que confirma que la presencia del cultivo de frijol es el principal factor que dinamiza la microbiología del suelo.

La combinación Organic Humus masa Super Humek R no generó incrementos significativos en ninguna etapa. Esto puede deberse a interacciones entre los compuestos húmicos de ambos productos que no favorecieron la disponibilidad inmediata de carbono para los microorganismos.

La disminución generalizada de la respiración basal al final del ciclo refleja la menor liberación de exudados y la estabilización del carbono en el suelo, un patrón esperado cuando el cultivo entra en senescencia. En la investigación de (Prudence, 2021) indica que, al inicio de la senescencia, los recursos de la planta se redirigen hacia la semilla, la exudación radicular se reduce y los tejidos radiculares comienzan a descomponerse.

6.5. Efectos sobre las propiedades químicas del suelo

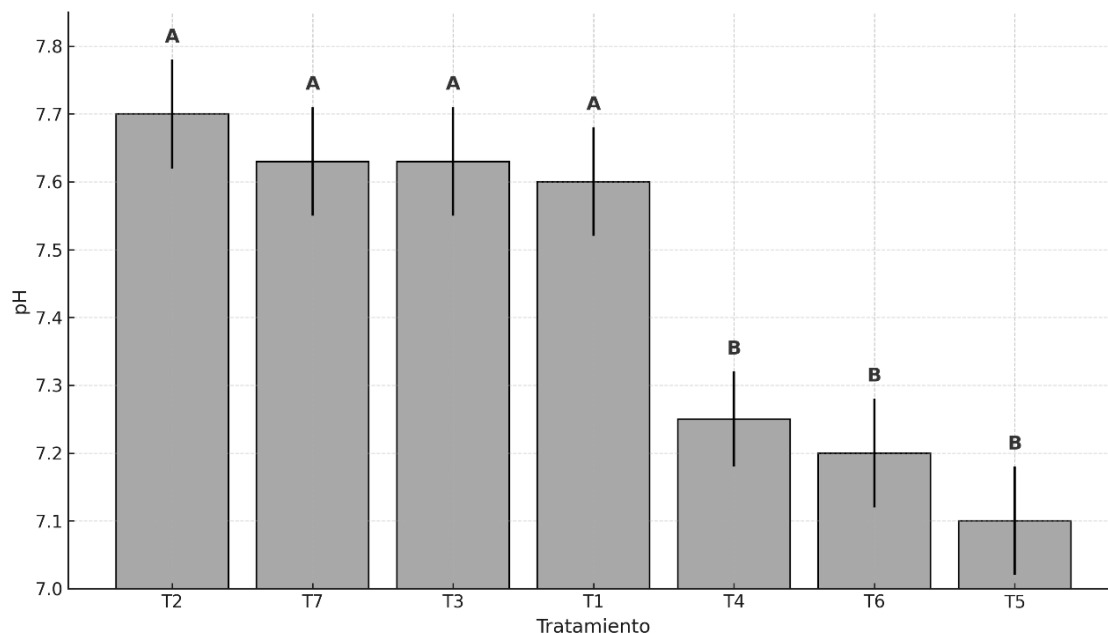


Figura 12. Promedio del pH del suelo por tratamiento con barras de error. Las letras indican diferencias significativas entre grupos.

En la **Figura 9** Los tratamientos T1 (Super Humek R), T2 (Organic Humus), T3 (sin biofertilizante) y T7 (mezcla) mantuvieron valores de pH entre 7.6 y 7.7, dentro de un rango ligeramente alcalino. Estadísticamente no presentaron diferencias significativas, conformando un mismo. Por el contrario, los tratamientos T4 (suelo sin cultivo con Super Humek R), T5 (suelo sin cultivo con biofertilizante Super Humek R) y T6 (suelo sin cultivo con Organic Humus) registraron valores más bajos, entre 7.0 y 7.25, diferenciándose significativamente del grupo anterior. El valor más bajo se observó en T5 (pH 7.0).

El T1 el que tuvo un pH alto de 7.6, este efecto es debido como indica en la investigación de (Hinsinger, Plassard, Tang, & Jaillard, 2003) a las sustancias húmicas que tienen efecto de estabilizar el pH, además las raíces modulan el pH de la rizosfera según su nutrición y exudación, evitando que disminuya. El T2 obtuvo el pH más alto de 7.7 los ácidos húmicos y fúlvicos contribuyen al pH y pueden desplazarlo levemente, el K^+ es un catión básico que tiende a elevar el pH (Anderson, Peterson, & Curtin, 2017)

Por otra parte, el T4 tuvo el pH más bajo 7.25 posiblemente debido a que no hubo alguna regulación rizosférica la descomposición de MO y emisiones de H⁺ ácido orgánico que tiende acidificar el suelo (Arnall, 2024). El T5 aun mas bajo en pH de (7.0) según indica esta investigación La mineralización sin absorción vegetal puede liberar H⁺ y CO₂ (ácido carbónico), reduciendo el pH efecto típico en suelos sin cultivo con MO activa.

Finalmente, el T7 el mezclar productos ricos en sustancias húmicas no necesariamente produce efectos adicionales, sus aplicaciones explican un comportamiento similar al T1-T2 sin diferencias estadísticas.

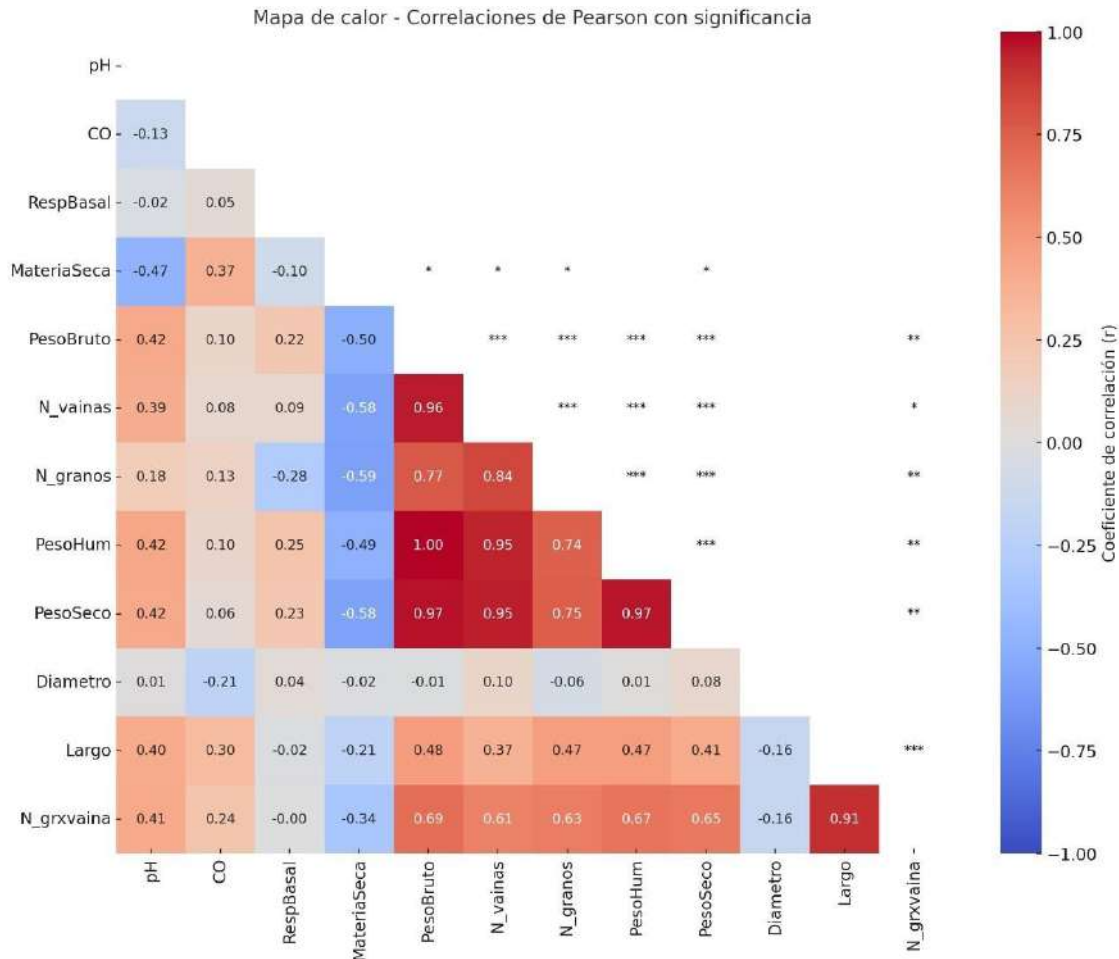


Figura 13. Matriz de correlación entre variables de planta y suelo.

En la **Figura 13** Se observaron correlaciones fuertes y significativas entre las variables de rendimiento como peso bruto de vainas, numero de vainas, numero de granos, peso de granos húmedos y secos. Mientras que las variables de suelo tenemos, pH, carbono orgánico y respiración basal. Mostraron correlaciones débiles y nulas con las de la planta.

Se encontró una correlación positiva entre peso bruto de vainas y numero de vainas $r = 0.96$ $p < 0.001$, así como entre peso seco y peso húmedo de granos $r = 0.95$, $p < 0.001$. Esto indica que el rendimiento del frijol esta fuertemente determinado por la cantidad de vainas producidas y el llenado de granos.

Por otro lado, la materia seca mostro correlaciones negativas con las variables de rendimiento $r = -0.50$ a -0.58 , $p < 0.05$. En este caso las plantas destinaron mas biomasa al tallo y hojas no necesariamente se vio reflejado en ese crecimiento de producción de vainas y granos.

El carbono orgánico y la respiración basal no mostraron correlaciones significativas con las variables de rendimiento. Esto indica que, aunque son indicadores importantes de la salud del suelo, en este experimento no se tradujo directamente en la producción de frijol.

El largo de la vaina mostró correlación positiva moderada con el numero de granos por vaina $r = 0.91$, $p < 0.001$. Esto confirma que la longitud de la vaina esta estrechamente relacionada con la capacidad de tener más granos.

VII. CONCLUSIONES

La aplicación de los biofertilizantes no generó diferencias estadísticas significativas en las variables de fenología (altura, diámetro del tallo, número de hojas y biomasa). Sin embargo, se observaron ciertas diferencias en el tratamiento con Super Humek R (T1) y el tratamiento sin fertilización (T3) alcanzaron los mayores valores en altura y grosor del tallo, lo que indica que el frijol puede desarrollarse de manera eficiente en un suelo tipo Cambisol, aprovechando tanto la fertilidad natural del suelo como la fijación biológica de nitrógeno.

La respiración basal fue mayor en la etapa media del cultivo en los tratamientos con frijol (T2 y T3), lo que refleja el aporte de exudados radiculares como fuente de carbono que estimula la microbiología disponible en el suelo. A diferencia, los suelos sin cultivo (T4, T5 y T6) presentaron menor actividad biológica, esto confirma que la presencia del cultivo es un factor determinante en la dinámica microbiana. El pH del suelo se mantuvo en un rango ligeramente alcalino (7.6–7.7) en los tratamientos con cultivo (T1, T2, T3 y T7), lo que evidencia el efecto amortiguador de los ácidos húmicos y la regulación rizosférica del frijol. Por otro lado, los tratamientos sin cultivo mostraron valores menores (7.0–7.25), siendo el más bajo en T5, lo que sugiere procesos de acidificación por mineralización sin absorción vegetal.

Aunque los biofertilizantes no generaron incrementos significativos en las variables analizadas, mostraron un efecto positivo en la estabilidad del cultivo y la dinámica del suelo, especialmente relacionado con la respiración basal y la regulación del pH. Esto indica que su principal contribución estaría orientada a la sostenibilidad del sistema y la salud del suelo más que a aumentos directos en rendimiento a corto plazo.

VIII. RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar evaluando el efecto de los biofertilizantes en condiciones reales de campo y durante varios ciclos agrícolas. Esto permitirá observar si los beneficios observados en ambientes controlados se mantienen o incluso se potencian con el tiempo, lo cual es clave para validar su uso práctico en sistemas agrícolas sostenibles.

Es conveniente complementar los análisis de actividad biológica del suelo con otros bioindicadores, como la biomasa microbiana o la actividad enzimática. Estas herramientas permiten obtener una visión más profunda sobre el impacto de los biofertilizantes en la vida microbiana del suelo, más allá de la respiración basal.

También se sugiere realizar un análisis económico comparativo entre tratamientos, con el fin de conocer si el uso de biofertilizantes representa una inversión rentable para pequeños y medianos productores. Esto es fundamental para tomar decisiones informadas en contextos de producción con recursos limitados.

Por último, se aconseja integrar el uso de biofertilizantes con otras prácticas agroecológicas, como el uso de coberturas vegetales o rotación de cultivos. La combinación de estrategias puede potenciar los beneficios, mejorar la salud del suelo y favorecer una agricultura más resiliente y sostenible.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Adamczyk, M., Rüthi, J., & Frey, B. (Enero de 12 de 2021). *Pub med*. doi:10.1111/1462-2920.15383
- Aguirre Perez, L., Suarez, L. F., Arias, C. S., & Cubillos, J. H. (17 de Marzo de 2022). doi:doi:10.17584/rcch.2023v17i2.16011
- Alef, K., & Nannipieri, P. (1995). *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. London: Harcourt Brace & Company Publishers.
- Alvarez, G. (2 de Marzo de 2009). *El nuevo diario*. Obtenido de El nuevo diario: <https://www.elnuevodiario.com.ni/especiales/41606-frijol-hacegerminar-economia/>
- Anderson, C., Peterson, M., & Curtin, D. (2 de Octubre de 2017). *Science Direct*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.06.002>
- Anthony O. Adesemoye, J. W. (2009). Plant–microbes interactions in enhanced fertilizer-use efficiency. *Microbiology and Biotechnology*. doi:<https://doi.org/10.1007/s00253-009-2196-0>
- Arenas, M. N. (2021). *Desarrollo, estabilidad y eficacia de biofertilizantes para la mejora del cultivo de plantas de tomate y maíz*. Tesis doctoral, Barcelona. Obtenido de https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/184791/1/MNA_TESIS.pdf
- Arnall, B. (Febrero de 2024). *Extension okstate edu*. Obtenido de OSU extension: https://extension.okstate.edu/fact-sheets/cause-and-effects-of-soil-acidity.html?utm_source=chatgpt.com
- Balmford, A., Amano, T., & Bartlett, H. (14 de Septiembre de 2018). The environmental costs and benefits of high-yield farming. *Nature Sustainability*. Obtenido de <https://www.nature.com/articles/s41893-018-0138-5>
- Biswas, D. K., & Ma, B.-L. (15 de Junio de 2016). *Canadian Science Publishing*. doi:<https://doi.org/10.1139/cjps-2015-0186>
- Burns, R. (1982). *Enzyme Activity in Soil—Location and a Possible Role in Microbial Ecology*. Soil Biology and Biochemistry. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717\(82\)90099-2](http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717(82)90099-2)

Camacho, J. O. (2023). *LA AGRICULTURA ECOLÓGICA EN EL PERÚ: Una alternativa jurídica para la preservación del medio ambiente*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/366867926_LA_AGRICULTURA_ECOLOGICA_EN_EL_PERU_Una_alternativa_juridica_para_la_preservacion_del_medio_ambiente

Chekanai, V., Chikowo, R., & Vanlauwe, B. (1 de Noviembre de 2018). *Science Direct*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.08.010>

Cherlinka, V. (29 de Julio de 2024). *Eos*. Obtenido de Eos: <https://eos.com/es/blog/agricultura-organica/#practicass>

Comisión interamericana de agricultura ecológica. (22 de Junio de 2021). *Seminario Internacional "Contribución de la producción orgánica a la transformación de Sistemas Agroalimentarios"*. Obtenido de Ciaorganico: https://www.ciaorganico.net/recursos_noticias.php?id=2283&t=c

Dick, W., & Tabatabai, M. (1992). *Significance and Potential Uses of Soil Enzymes*. Soil Microbial Ecology, New York. Obtenido de <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1229167>

Editors, N. G. (s.f.). *Learning Library*. Obtenido de Learning Library: <https://garden.org/learn/articles/view/454/Watering-Fertilizing-Beans/>

Edyta Derkowska, L. S. (2015). Root Growth, Mycorrhizal Frequency and Soil Microorganisms in Strawberry as Affected by Biopreparations. *Advances in Microbiology*. doi:<http://dx.doi.org/10.1023/A:1026037216893>

Else K. Bünemann, G. S. (2006). *Impact of agricultural inputs on soil organisms*. doi:10.1071/SR05125

FAO. (2015). *World reference base for soil resources*. Obtenido de <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/bcdecec7-f45f-4dc5-beb1-97022d29fab4/content>

FAO. (2018). *FAO*. Obtenido de FAO: <https://www.fao.org/4/ad818s/ad818s03.htm>

FAO. (2018). *Legumbres pequeñas semillas, grandes soluciones*. Ciudad de Panama. Obtenido de FAO: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/bbacf768-1b9a-4ab7-8de8-0a08cc2cf835/content>

FAO. (s.f.). *Fao*. Obtenido de Fao: <https://www.fao.org/organicag/oa-faq/oa-faq6/es/>

Fernandez, F., Gepts, P., & Lopez, M. (s.f.). *CIAT library*. Obtenido de CIAT library: http://ciat-library.ciat.cgiar.org/ciat_digital/ciat/28093.pdf

Fonseca, J. C. (2009). *Manual de recomendaciones técnicas cultivo de frijol (Phaseolus vulgaris)*. Obtenido de <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/f01-9533.pdf>

Franché, C., Lindström, K., & Elmerich, C. (3 de Diciembre de 2008). Nitrogen-fixing bacteria associated with leguminous and non-leguminous plants. *Plant and Soil*, 321, 35-59.

Franché, C., Lindström, K., & Elmerich, C. (2009). *Research Gate*. doi:10.1007/s11104-008-9833-8

García Montealegre, J. P. (2009). Manejo eficiente de nutrientes en el cultivo del maíz en Colombia. 59. Obtenido de <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/34519>

Gaucín, D. (Viernes de Marzo de 2019). *El economista*. Obtenido de El economista: <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/El-mercado-mundial-y-nacional-del-frijol-20190328-0088.html>

Hernandez, J. (15 de Marzo de 2021). *Mundoagro*. Obtenido de Mundoagro: <https://mundoagro.cl/actividad-biologica-del-suelo-la-clave-para-generar-una-mejor-agricultura/>

Hinsinger, P., Plassard, C., Tang, C., & Jaillard, B. (2 de Enero de 2003). *Springer Nature Link*. doi:10.1023/A:1022371130939

Hulicova, P., Kotorova, D., Fazekasova, D., & Hynst, J. (October de 2017). *UI HARVARD*. doi:10.1088/1755-1315/92/1/012020

IFOAM. (s.f.). *Metrocert*. Obtenido de Metrocert: <https://metrocert.com/files/Los%20principios%20de%20la%20Agricultura%20Organica.pdf>

IICA. (2009). *Guía técnica para el cultivo de frijol en el municipio de Santa Lucía*. Obtenido de <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/19856/BCO20128136e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

INTAGRI. (2021). *Nutrición del Cultivo de Frijol*. México D.F. Obtenido de <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/fertilizacion-del-cultivo-de-frijol>

Intagri. (s.f.). *Intagri*. Obtenido de Intagri: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/importancia-de-la-materia-organica-en-la-actividad-biologica-en-el-suelo>

Intagri. (s.f.). *Intagri*. Obtenido de Intagri: https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/acidos-humicos-fulvicos-nutricion-vegetal?utm_source=chatgpt.com

Juan José Ibáñez, F. J. (9 de Junio de 2011). *Madridmasd*. Obtenido de Madridmasd: <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2011/06/09/139388>

Khan, T. A. (2022). Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Eliminate the Effect of Drought Stress in Plants. *Frontier plants in science*, 19. doi:<https://doi.org/10.3389/fpls.2022.875774>

Lelechenko, L. (15 de July de 2021). *Agricultura Orgánica: El Modelo Agrícola Y Sus Principios*. Recuperado el 17 de October de 2024, de EOS Data Analytics: <https://eos.com/es/blog/agricultura-organica/>

Lombricentro. (3 de Mayo de 2025). *Lombricentro*. Obtenido de Lombricentro: https://lombricentro.com/acidos-humicos-y-fulvicos-beneficios-en-la-agricultura/?utm_source=chatgpt.com

Maeve, & Williams, L. (2002). *El cultivo de frijol en la zona andina de Colombia*. Cundinamarca. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/338112682_Fenologia_del_frijol

Munees Ahemad, M. K. (2014). Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. *Journal of King Saud University - Science*, 1-20. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jksus.2013.05.001>

Navarro Arenas, M. (2021). *Desarrollo, estabilidad y eficacia de biofertilizantes para la mejora del cultivo de plantas de tomate y maíz*. Obtenido de Universitat de Barcelona: https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/184791/1/MNA_TESIS.pdf

Noinville, S., Revault, M., Baron, M., & Quiquampoix, H. (2004). *Structural effects of drying and rehydration for enzymes in soils: A kinetics-FTIR analysis of α -chymotrypsin adsorbed on montmorillonite*. *Journal of Colloid and Interface Science* . doi:10.1016/j.jcis.2004.01.067

Oldfield, E. E. (2019). *Soil Copernicus*. doi:<https://doi.org/10.5194/soil-5-15-2019>

Organizacion Internacional Agropecuaria. (30 de Octubre de 2023). *Oia*. Obtenido de Oia: <https://www.oia.com.ar/index.php/como-los-cuatro-principios-de-lo-organico-pueden-ser-una-solucion-sostenible-a-las-crisis-alimentarias-mundiales/#:~:text=Es%20por%20eso%20que%20en,biodiversidad%20y%20el%20bienestar%20general>.

Pamela Calvo, L. N. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 3-41. doi:<https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>

Paolina Garbeva, J. D. (2006). *MICROBIAL DIVERSITY ISOIL: Selection of Microbial Populations by Plant and Soil Type and Implications for Disease Suppressiveness*. doi:10.1146/annurev.phyto.42.012604.135455

Paolo Nannipieri, M. T.-J. (2003). *Microbial Diversity and Soil Functions*. doi:10.1046/j.1351-0754.2003.0556.x

Pardo, I. M. (2020). *Guía de muestreo de suelo para análisis microbiológico*. (J. E. Beltrán, Ed.) Colombia. doi:<https://doi.org/10.21930/agrosavia.nbook.7404098>

Pietri, J. A., & Brookes, P. C. (2008). *Science Direct*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.03.020>

Pochteca Colombia. (12 de Noviembre de 2023). *Pochteca Colombia*. Obtenido de Pochteca Colombia: <https://colombia.pochteca.net/agricultura-organica-en-que-consiste-y-cuales-son-sus-ventajas/#:~:text=En%20general%2C%20la%20agricultura%20org%C3%A1nica,el%20equilibrio%20de%20los%20ecosistemas.>

Prudence, S. M. (21 de Junio de 2021). *Environmental Microbiome*. doi:<https://doi.org/10.1186/s40793-021-00381-2>

Ramirez, N. S., Estrada, J. A., Gonzalez, M. T., & Montes, E. S. (2011). *Redalyc*. Obtenido de Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93920942011>

Raúl Gómez-González, D. J. (Viernes de Octubre de 2017). *Era ujuat*. doi:10.19136/era.a5nl4.1278

Sangerman, J. (Julio de 2010). *Scielo*. Obtenido de Scielo: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342010000300007

Sembralia. (2 de Septiembre de 2020). *Sembralia*. Obtenido de Sembralia: https://sebralia.com/blogs/blog/acidos-humicos?srsId=AfmBOopDIxdgalIq567Mf-ppM0cTx4Pub2CgQx7G70RWi71KKzJs544X&utm_source=chatgpt.com

Souza, R. d. (2015). Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. *Genetics and Molecular Biology*. doi: <https://doi.org/10.1590/S1415-475738420150053>

Tecnal. (s.f.). *Tecnal*. Obtenido de Tecnal: https://tecnal.com.br/es/blog/338_la_microbiologia_del_suelo_y_su_importancia_para_la_sostenibilidad_agricola

Trap, J., Tsoushima Ernert, A., & Rabary, B. (Abril de 2022). *Research Gate*. doi:10.3390/su14094907

UNESCO-FAO. (1976). *Mapa mundial de suelos*. Paris. Obtenido de <https://www.fao.org/4/as360s/as360s.pdf>

Valenzuela, C. A. (2017). *Efecto de la aplicación de sustancias húmicas, fúlvicas y fertilización en el desarrollo de plántulas de plátano en vivero*. Zamorano. Obtenido de

<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/50307d1c-d702-4193-818b-6d08ce4c7855/content>

Valero, M. (2 de Octubre de 2022). *Agroecologysl*. Obtenido de Agroecologysl: <https://agroecologysl.com/agricultura-organica-principio-de-una-economia-sostenible/#:~:text=Las%20pr%C3%A1cticas%20agron%C3%B3micas%20ecol%C3%B3gicas%20reducen,el%20hombre%20y%20la%20naturaleza.&text=Guzm%C3%A1n%20Herrera%2C%20R.%2C%20&Econ%C3%B3micos%2>

Varnagiryte-Kabašinskiene, I. (25 de Marzo de 2015). <https://iforest.sisef.org/abstract/?id=ifor1342-007>. doi:<https://doi.org/10.3832/ifor1342-007>

Vega, N. W. (2009). *Microorganismos del suelo y su efecto sobre la disponibilidad y absorción de nutrientes por las plantas*. doi:https://doi.org/10.38141/10791/0003_3

Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 571–586. doi:<http://dx.doi.org/10.1023/A:1026037216893>

ANEXOS



Clasificación



**Conteo de vainas por
tratamiento y repetición.**



**Medición de altura de la
planta.**



**Medición de variables,
altura y diámetro.**



**Medición de Respiración
Basal.**



**Peso seco de las vainas de
frijol.**

Foto general del sitio del experimento.



Toma de datos de grano.

Distribución de las unidades experimentales.



pH

Análisis de varianza estadístico del pH

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH	28	0.87	0.83	1.51

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.70	6	0.28	22.60	<0.0001
Tratamiento	1.70	6	0.28	22.60	<0.0001
Error	0.26	21	0.01		
Total	1.96	27			

Test:Scott & Knott Alfa=0.05

Error: 0.0125 gl: 21

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T2	7.71	4	0.06	A
T7	7.61	4	0.06	A
T3	7.60	4	0.06	A
T1	7.57	4	0.06	A
T4	7.19	4	0.06	B
T6	7.15	4	0.06	B
T5	7.06	4	0.06	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

CO

Análisis de varianza estadístico del CO

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
CO	28	0.11	0.00	17.46

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.45	6	0.07	0.43	0.8515
Tratamiento	0.45	6	0.07	0.43	0.8515
Error	3.64	21	0.17		
Total	4.09	27			

Test:Scott & Knott Alfa=0.05

Error: 0.1735 gl: 21

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T4	2.57	4	0.21	A
T1	2.46	4	0.21	A
T6	2.41	4	0.21	A
T2	2.41	4	0.21	A
T5	2.39	4	0.21	A
T3	2.35	4	0.21	A
T7	2.12	4	0.21	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Diametro vaina

Análisis de varianza
estadístico de la variable -
diámetro de vaina

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diametro vaina	16	0.13	0.00	8.06

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.42	3	0.14	0.58	0.6416
Tratamiento	0.42	3	0.14	0.58	0.6416
Error	2.92	12	0.24		
Total	3.34	15			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.03473

Error: 0.2429 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T7	6.39	4	0.25 A
T2	6.08	4	0.25 A
T1	6.06	4	0.25 A
T3	5.95	4	0.25 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Largo vaina

Análisis de varianza
estadístico de la variable -
largo de vaina

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Largo vaina	16	0.11	0.00	8.25

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.99	3	0.33	0.50	0.6864
Tratamiento	0.99	3	0.33	0.50	0.6864
Error	7.89	12	0.66		
Total	8.88	15			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.70202

Error: 0.6573 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T7	10.03	4	0.41 A
T2	10.03	4	0.41 A
T1	9.85	4	0.41 A
T3	9.42	4	0.41 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

N de granos total

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
N de granos total	16	0.24	0.05	39.25

Análisis de varianza
estadístico de la variable –
Numero de granos total

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3375.50	3	1125.17	1.24	0.3383
Tratamiento	3375.50	3	1125.17	1.24	0.3383
Error	10889.50	12	907.46		
Total	14265.00	15			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=63.24032

Error: 907.4583 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T1	94.00	4	15.06 A
T7	86.75	4	15.06 A
T2	69.25	4	15.06 A
T3	57.00	4	15.06 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

N de granos por vaina

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
N de granos por vaina	16	0.10	0.00	22.11

Análisis de varianza
estadístico de la variable –
Numero de granos por
vaina

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.57	3	0.52	0.46	0.7144
Tratamiento	1.57	3	0.52	0.46	0.7144
Error	13.59	12	1.13		
Total	15.16	15			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=2.23409

Error: 1.1325 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T1	5.15	4	0.53 A
T7	4.90	4	0.53 A
T2	4.90	4	0.53 A
T3	4.30	4	0.53 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Peso bruto - vainas total

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso bruto - vainas total	16	0.13	0.00	57.70

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	383.73	3	127.91	0.61	0.6188
Tratamiento	383.73	3	127.91	0.61	0.6188
Error	2499.13	12	208.26		
Total	2882.86	15			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=30.29592

Error: 208.2605 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T2	29.65	4	7.22 A
T1	28.12	4	7.22 A
T7	25.31	4	7.22 A
T3	16.97	4	7.22 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Análisis de varianza
estadístico de la variable –
Peso bruto vainas total

N de vainas

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
N de vainas	16	0.18	0.00	43.70

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	201.19	3	67.06	0.91	0.4669
Tratamiento	201.19	3	67.06	0.91	0.4669
Error	888.25	12	74.02		
Total	1089.44	15			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=18.06166

Error: 74.0208 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T1	23.75	4	4.30 A
T2	20.75	4	4.30 A
T7	20.25	4	4.30 A
T3	14.00	4	4.30 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Análisis de varianza
estadístico de la variable –
Numero de vainas

Peso de granos seco

Análisis de varianza
estadístico de la variable –
Peso de granos secos

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso de granos seco	16	0.14	0.00	58.84

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	166.76	3	55.59	0.63	0.6092
Tratamiento	166.76	3	55.59	0.63	0.6092
Error	1057.98	12	88.17		
Total	1224.74	15			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=19.71192

Error: 88.1651 gl: 12

Tratamiento Medias n E.E.

T2	18.93	4	4.69	A
T1	18.88	4	4.69	A
T7	14.89	4	4.69	A
T3	11.14	4	4.69	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Peso de granos humedo

Análisis de varianza
estadístico de la variable –
Peso de granos húmedo

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso de granos humedo	16	0.14	0.00	59.24

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	229.18	3	76.39	0.63	0.6080
Tratamiento	229.18	3	76.39	0.63	0.6080
Error	1449.00	12	120.75		
Total	1678.18	15			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=23.06878

Error: 120.7502 gl: 12

Tratamiento Medias n E.E.

T2	22.58	4	5.49	A
T1	20.16	4	5.49	A
T7	19.10	4	5.49	A
T3	12.37	4	5.49	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Materia Seca	16	0.04	0.00	32.41

Análisis de varianza
estadístico de la variable –
Materia seca

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.91	3	0.30	0.15	0.9267
Tratamiento	0.91	3	0.30	0.15	0.9267
Error	24.11	12	2.01		
Total	25.02	15			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=2.97553

Error: 2.0089 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T3	4.79	4	0.71 A
T7	4.25	4	0.71 A
T2	4.24	4	0.71 A
T1	4.23	4	0.71 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
CO	28	0.11	0.00	17.46

Análisis de varianza
estadístico de la variable –
Carbono Organico

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.45	6	0.07	0.43	0.8515
Tratamiento	0.45	6	0.07	0.43	0.8515
Error	3.64	21	0.17		
Total	4.09	27			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.95740

Error: 0.1735 gl: 21

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T4	2.57	4	0.21 A
T1	2.46	4	0.21 A
T6	2.41	4	0.21 A
T2	2.41	4	0.21 A
T5	2.39	4	0.21 A
T3	2.35	4	0.21 A
T7	2.12	4	0.21 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)