

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



Evaluación de bioestimulante a base de extractos de algas marinas en el rendimiento del frijol Amadeus-77 bajo condiciones agroecológicas en la UNAG

PROYECTO DE TESIS

Presentado como requisito parcial previo a la realización del trabajo de investigación

Por:

Willians Ronaldo Antunez Cruz

Catacamas, Olancho

Febrero 2026

Evaluación de bioestimulante a base de extractos de algas marinas en el rendimiento del frijol Amadeus-77 bajo condiciones agroecológicas en la UNAG

Por:

Willians Ronaldo Antunez Cruz

José Trinidad Reyes Sandoval, PhD.

Director de tesis

TESIS

Presentado como requisito parcial para obtener el título de

INGENIERÍA EN GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES

Catacamas, Olancho

Febrero 2026

ACTA DE SUSTENTACIÓN

DEDICATORIA

Primeramente, pedirle gracias a Dios, fuente de vida y sabiduría, por iluminar mi camino, darme la fuerza necesaria en todo momento y guiarme a cada paso de este proceso académico.

A mis padres **Roberto Meza** y **Ramona Galeas** que son mi ejemplo de esfuerzo, dedicación y apoyo incondicional. Gracias por enseñarme con su vida que la perseverancia y el trabajo honesto con la llave por abrir las puertas del futuro. Este logro es tan suyo como mío, porque sin su apoyo constante, nada de esto habría sido posible.

A mis hermanos **Nipsy Antúnez**, **Laury Antúnez**, **Jaime Antúnez**, **Denilson Antúnez** por sus palabras de motivación, su paciencia y comprensión durante las largas jornadas de estudio e investigación.

Dedico este trabajo al esfuerzo y sabiduría de las familias cercanas que, con sus manos a la tierra, mantiene vivo el cultivo de frijol, alimento sagrado y base demuestra cultura. A mis seres queridos, quienes con su apoyo constante me han dado fuerza para continuar. Y a la naturaleza, por brindarnos cada semilla que germina esperanza.

AGRADECIMIENTOS

A Dios todopoderoso, por iluminar mi camino y darme la fuerza, salud y perseverancia necesarias para culminar esta etapa académica.

A mis padres, por su amor incondicional, sacrificio y constante apoyo moral y emocional durante toda mi formación.

A mis asesores, el **Ph.D. Mario Edgardo Talavera**, el **M.Sc. Gustavo López** y el **Ph.D. José Trinidad Reyes** y al **Lic. Saady Argeñal**, por su guía, dedicación, experiencia y acompañamiento durante el desarrollo de esta investigación. Su orientación fue clave para alcanzar los objetivos planteados.

A la **Universidad Nacional de Agricultura**, por brindarme el espacio y las herramientas necesarias para desarrollarme profesionalmente.

Agradezco profundamente a mi compañera de vida **Mirsa Tejeda**, por su apoyo, comprensión y motivación constante. Durante todo el desarrollo de este proceso

A mis compañeros y amigos **Bayrón Josué Argueta**, **Roberto Carlos Degrandez** su colaboración, amistad y apoyo en cada etapa del proceso.

A todos aquellos que, de una u otra forma, contribuyeron a la realización de este trabajo gracias sinceras.

Antunez Cruz W. R 2026. Evaluación de bioestimulante a base de extractos de algas marinas en el rendimiento del frijol Amadeus-77 bajo condiciones agroecológicas en la UNAG. Universidad Nacional de Agricultura, Catacamas, Olancho, Honduras. 73 pág.

RESUMEN

El presente estudio evaluó niveles de dosificación en bioestimulante a base de extractos de algas marinas sobre el comportamiento del frijol Amadeus -77 en condiciones de campo en la Universidad Nacional de Agricultura, Catacamas, Olancho. Asimismo, comparando siete tratamientos incluyendo un tratamiento sin aplicación, cinco con dosis diferentes de bioestimulante y uno que corresponde al manejo convencional con fertilización química. Durante el ciclo del cultivo se registraron variables de crecimiento también componentes de rendimiento, producción y cambios generales en el suelo. Los resultados revelaron que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Aun así, el tratamiento con dosis media baja fue el que obtuvo mayor rendimiento muy cercano al tratamiento convencional, mientras el testigo tendió a ser el más bajo. Posteriormente, los tratamientos tendieron a comportarse de manera similar en varias variables donde se asocia a las condiciones ambientales del periodo, ya que la alta humedad favoreció la presencia de hongo denominado mancha angular durante el llenado afectando el área foliar, acelerando su maduración lo que pudo limitar que se expresaran diferencias más claras.

En esta investigación el uso de bioestimulantes sostuvo un comportamiento productivo comparable al manejo convencional y mostró señales de aporte a la salud del suelo, por lo que perfilan como una alternativa sostenible y complementaria dentro de un enfoque de manejo más agroecológico del cultivo.

Palabras clave: bioestimulante, *phaeoisariopsis griseola*, fertilidad, sostenibilidad.

CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
CONTENIDO	v
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABLAS.....	ix
LISTA DE ANEXOS.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo general	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
III. HIPOTESIS.....	4
3.1 Hipótesis Nula	4
3.2 Hipótesis Alternativa	4
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	5
4.1 Sistemas de producción agrícola sostenible.	5
4.2 Bioestimulantes y su composición	6
4.2.1 Definición y tipos de bioestimulantes	7
4.2.2 Clasificación de bioestimulantes según (Cardozo <i>et al.</i> 2020).....	7
4.2.3 Bioestimulantes a base de extractos de algas marinas.....	8
4.2.4 Sustancias húmicas	8
4.3 Mecanismos de acción de los bioestimulantes en el suelo	9
4.3.1 Efectos de los Bioestimulantes en las Propiedades Físicas del Suelo	9
4.3.2 Efectos en las Propiedades Químicas del Suelo	9
4.3.3 Impacto en las Propiedades Biológicas del Suelo	10
4.3.4 Mejora en la Absorción de Nutrientes.....	10
4.4 Cultivo de Frijol Amadeus-77	11
4.4.1 Características Agronómicas del Frijol Amadeus-77	11
4.4.2 Importancia Nutricional y Socioeconómica del Frijol.	11
4.4.3 Desafíos del Cultivo de Frijol en Condiciones Agroecológicas.....	12
4.5 Impacto de los bioestimulantes en el Crecimiento y Rendimiento del Frijol.....	12
4.6 Sostenibilidad y Beneficios Ambientales del Uso de Bioestimulantes	13

4.6.1	Reducción del Uso de Fertilizantes Químicos.....	14
4.6.2	Mejoramiento de la Salud del Suelo.....	14
4.6.3	Contribución a la Agricultura Sostenible	14
4.7	Experiencias del uso de bioestimulantes en cultivos agrícolas	15
4.7.1	Estudios Comparativos de Rendimiento con Bioestimulantes.....	15
4.7.2	Aplicación de Bioestimulantes en Diferentes Cultivos y regiones.....	16
V.	MATERIALES Y METODOS	18
5.1	Ubicación del experimento.....	18
5.2	Materiales y equipo	19
5.3	Métodos previos a la investigación	19
5.3.1	Preparación del terreno.....	19
5.3.2	Siembra.....	20
5.3.3	Diseño experimental y tratamientos	20
5.3.4	Dosis de bioestimulante evaluados en la investigación.....	22
5.3.5	Testigo relativo (manejo convencional del productor).....	22
5.3.6	Tiempo y forma de la aplicación de los tratamientos.....	23
5.3.7	Riego.....	24
5.3.8	Manejo integrado de plagas (MIP)	24
5.3.9	Manejo agronómico	25
5.3.10	Cosecha.....	25
5.4	Variables evaluadas	25
5.4.1	Análisis estadístico de datos	28
5.4.2	Análisis rentabilidad parcial	29
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
6.1	Variables evaluadas	31
6.1.1	Altura promedio de la planta	31
6.1.2	Nódulos efectivos por planta	32
6.1.3	Promedio de vainas por planta.....	34
6.1.4	Promedio de granos por vaina	35
6.1.5	Peso 100 granos en los Tratamientos	36
6.1.8	Rendimiento kilogramos por hectárea.....	38
6.1.9	Plantas cosechadas.....	39
6.1.10	Biomasa aérea.....	40
6.2	Análisis de suelo inicial, realizado en sitio de estudio Estación experimental Raúl Rene valle.....	42

6.2.1	Análisis de suelo final, después de cosecha	44
6.3	Enfermedad causada por hongo denominado mancha angular (<i>Phaeoisariopsis griseola</i>).....	45
6.4	Análisis de rentabilidad parcial (B/C)	46
6.4.1	Extractos de algas marinas y sustancias húmicas	46
6.4.2	Fertilizante granulado químico	47
VII.	CONCLUSIONES	48
VIII.	RECOMENDACIONES	49
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
	ANEXOS	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del area del cultivo.....	18
Figura 2. Croquis de tratamientos	21
Figura 3. Promedio de precipitación (ml) diaria durante la investigación	30
Figura 4. Altura promedio de planta (cm), prueba LSD Fisher al 5%	32
Figura 5. Promedio de nodulos por planta, para los tratamientos	33
Figura 6. Promedio de vainas por planta en función de los tratamientos aplicados.....	34
Figura 7. Promedio de granos por vaina, según tratamientos aplicados	35
Figura 8. Peso 100 granos según los tratamientos aplicados	37
Figura 9. Biomasa verde por tratamiento (t/ha).....	40
Figura 10. Hongo llamado mancha angular (<i>phaoisariopsis griseola</i>)	45

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Distribución de tratamientos.....	22
Tabla 2. Rendimiento de los tratamientos expresado en (kg/ha).....	38
Tabla 3: Matriz Correlación de Pearson.....	41
Tabla 4. Analisis de suelo inicial, diferentes parametros fisicoquimicos.....	43
Tabla 5. Analisis de suelo final.....	44
Tabla 6. Análisis de rentabilidad parcial, relacion B/C.....	46
Tabla 7. Fertilizante quimico, relacion B/C.....	47

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Prueba estadística para la variable altura de la planta de frijol.	57
Anexo 2: Prueba estadística para la variable nódulos efectivos por planta	57
Anexo 3: Prueba estadística de la variable vainas por planta	57
Anexo 4: Prueba estadística de la variable granos por vaina	58
Anexo 5: Prueba estadística de la variable peso 100 granos.....	58
Anexo 6: Prueba estadística de la variable Rendimiento(kg/ha)	58
Anexo 7: Prueba estadística de la variable biomasa aérea.....	59
Anexo 8: Etapas del ciclo del cultivo en el área de estudio	60
Anexo 9: Análisis de suelo.....	61

I. INTRODUCCIÓN

El frijol Amadeus-77 (*Phaseolus vulgaris L.*) es una variedad mejorada de frijol desarrollada por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) en colaboración con instituciones de investigación nacionales. Este cultivo se destaca por su resistencia a diversas enfermedades y su capacidad para adaptarse a diferentes zonas agroecológicas, lo que lo convierte en un componente muy importante para la seguridad alimentaria en América Latina. Su habilidad para rendir en suelos de baja fertilidad y bajo condiciones de estrés hídrico refuerza su importancia en regiones como Honduras, donde los recursos agrícolas pueden ser limitados (García *et al.* 2018).

Ante el desafío global de incrementar la producción de alimentos de manera sostenible, los bioestimulantes han surgido como una alternativa viable a los fertilizantes químicos convencionales. Los bioestimulantes no solo proporcionan nutrientes esenciales para los cultivos, sino que también promueven la salud del suelo, reducen la dependencia de insumos sintéticos y mejoran la eficiencia en el uso de recursos naturales. En particular, los extractos de algas marinas y los ácidos húmicos y fúlvicos, han ganado popularidad debido a sus propiedades bioestimulantes, las cuales ayudan a mejorar el crecimiento vegetal y la resiliencia de los cultivos frente a condiciones ambientales adversas.

Los extractos de algas marinas contienen compuestos bioactivos, como polifenoles, polisacáridos y hormonas vegetales, que ejercen efectos directos sobre el metabolismo de las plantas, reforzando su crecimiento y fortaleciendo su sistema inmunológico (Vera *et al.* 2022). Por otro lado, los ácidos húmicos y fúlvicos, derivados de la descomposición de materia orgánica, son conocidos por mejorar la estructura del suelo, aumentar la disponibilidad de nutrientes y estimular el desarrollo radicular.

A pesar de los avances en la caracterización de los bioestimulantes, existe una brecha de conocimiento sobre su aplicación en cultivos específicos, como el frijol Amadeus-77, bajo condiciones agroecológicas particulares. Es necesario comprender mejor cómo estas formulaciones de bioestimulantes influyen en el crecimiento, rendimiento y resiliencia del frijol frente al estrés ambiental.

Por ello, este estudio tiene como objetivo evaluar el efecto de dos formulaciones de bioestimulantes, que combinan extractos de algas marinas, ácidos húmicos y fúlvicos, sobre el desarrollo y productividad del frijol Amadeus-77 en condiciones de campo en la Universidad Nacional de Agricultura (UNAG). Se espera que los resultados de esta investigación contribuyan al desarrollo de prácticas agrícolas más sostenibles y eficientes en Honduras y otras regiones con condiciones agroecológicas similares.

Finalmente, esta investigación busca no solo generar conocimientos científicos sobre el uso de bioestimulantes en el cultivo de frijol, sino también ofrecer soluciones prácticas para reducir el uso de fertilizantes químicos. El uso de insumos biológicos puede mejorar la productividad agrícola, disminuir los costos de producción y mitigar los impactos ambientales negativos, contribuyendo así a una agricultura más sostenible y resiliente

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Evaluar el efecto en dosis de bioestimulante proveniente de extractos de algas marinas, sobre el cultivo de frijol Amadeus-77 bajo condiciones agroecológicas de la Universidad Nacional de Agricultura.

2.2 Objetivos específicos

Evaluar el impacto del bioestimulante en el crecimiento y desarrollo vegetativo del cultivo de frijol variedad Amadeus-77.

Determinar la influencia del bioestimulante en el rendimiento del cultivo de frijol variedad Amadeus-77.

III. HIPOTESIS

3.1 Hipótesis Nula

El uso de bioestimulante no mejora significativamente el crecimiento vegetativo y el rendimiento del cultivo de frijol.

3.2 Hipótesis Alternativa

El uso de bioestimulante mejora significativamente el crecimiento vegetativo y el rendimiento del cultivo de frijol.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Sistemas de producción agrícola sostenible.

La producción sostenible trata de conseguir bienes y servicios de manera que se minimice el impacto ambiental negativo, al mismo tiempo que se maximiza el bienestar social y se asegura la viabilidad económica a largo plazo (Henriquez *et al.* 2023). Al final, es aplicar un enfoque que busca equilibrar los aspectos ambientales, sociales y económicos en la producción de bienes y servicios.

Este es un tema al que cada vez se le da más importancia en el mundo actual debido a la creciente preocupación por el medioambiente y el uso limitado de los recursos naturales. El término «sostenible» se refiere a la capacidad de mantener un equilibrio entre el desarrollo económico y la protección del medioambiente. Esta idea se originó en la década de 1960 y 1970, cuando se comenzó a tomar conciencia de los problemas ambientales causados por la industrialización y el crecimiento económico (Henriquez *et al.* 2023).

La agricultura y el desarrollo sostenible se refieren a la necesidad de minimizar la degradación de la tierra agrícola, maximizando a su vez la producción. Este considera el conjunto de las actividades agrícolas, como el manejo de suelos y aguas, el manejo de cultivos y la conservación de la biodiversidad, tomando en cuenta a su vez el suministro de alimentos y materias primas (Castillo *et al.* 2008).

Las prácticas sostenibles que propone este tipo de agricultura tienen la capacidad de generar diversas ventajas para los cultivos, desde aumentar la calidad del suelo hasta mejorar el control de plagas en los cultivos. La aplicación de estas prácticas en la agricultura permite reducir el uso de recursos no renovables y hacer un empleo más racional de los recursos renovables, con el objetivo de mantener o aumentar su calidad (BASF *et al.* 2024).

4.2 Bioestimulantes y su composición

Los bioestimulantes son sustancias y/o microorganismos que estimulan los procesos naturales de las plantas, optimizando la absorción y asimilación de nutrientes, aumentando la resistencia al estrés abiótico y mejorando las características agronómicas (Belchim *et al.* 2020). Su objetivo es asegurar cosechas de alta calidad y resolver problemas comunes en los cultivos como la falta de humedad, luz y las variaciones de temperatura, que pueden afectar su valor comercial.

El uso de los bioestimulantes y el avance en el conocimiento sobre la actividad biológica de bioestimulación constituyen una fracción de las herramientas y técnicas necesarias para el logro de la transición antes dicha (Belchim *et al.* 2020). Se espera que la aplicación cada vez más frecuente de bioestimulantes en el sector agrícola acreciente la inocuidad y calidad nutricional de los alimentos.

Algunos bioestimulantes vegetales pueden tener propiedades fertilizantes, pero esos nutrientes deben derivarse de una fuente orgánica. Asimismo, los productos fertilizantes pueden incluir bioestimulantes sinérgicos cuyo objetivo es reducir los aportes totales de fertilizantes mejorando la absorción de nutrientes por parte de los cultivos (Díaz *et al.* 2021).

Debe tomarse en cuenta que los bioestimulantes y fertilizantes no son lo mismo, quizá esta última palabra se haga muy familiar, debido a que se utiliza con gran frecuencia en la agricultura (Domínguez *et al.* 2008). Sin embargo, existe una gran diferencia entre ellas, los fertilizantes son sustancias orgánicas o inorgánicas que contienen los nutrientes necesarios para que la planta se desarrolle correctamente. Por el contrario, los bioestimulantes no le proporcionan nutrientes directamente a la planta, si no que estimulan los procesos fisiológicos de ésta, para que por sí misma mejore la disponibilidad y absorción de los nutrientes que se encuentran en el suelo, dando como resultado plantas sanas y fuertes.

4.2.1 Definición y tipos de bioestimulantes

Un bioestimulante es una sustancia, microorganismo o mezcla de ellos, que al ser aplicados a las plantas estimulan benéficamente varios procesos en ellas. Por ejemplo, ayudan a absorber y asimilar mejor los nutrientes que se encuentran en el suelo, ser más tolerantes a diversos factores como la sequía, salinidad, frío, calor o ser resistentes a plagas (organismos que atacan y destruyen los cultivos) y enfermedades causadas por hongos, bacterias, virus, nemátodos entre otros, que sin un manejo adecuado disminuyen su rendimiento y provocan su muerte. Además, los bioestimulantes mejoran sus características agronómicas, obteniendo alimentos de mejor calidad y libres de agroquímicos y/o pesticida (Domínguez *et al.* 2008).

4.2.2 Clasificación de bioestimulantes según (Cardozo *et al.* 2020)

- Ácidos húmicos y fúlvicos: Resultan de la descomposición de materiales orgánicos en el suelo. Se forman compuestos de peso molecular bajo (ácidos fúlvicos) y en condiciones muy específicas, moléculas de alto peso molecular (ácidos húmicos).
- Aminoácidos y mezclas de péptidos: Obtenidos a partir de la fermentación, hidrólisis química o extracción enzimática de proteínas de diversas procedencias, como residuos de cultivos y tejidos epiteliales de origen animal.
- Extractos de algas y plantas: Usados desde hace tiempo como fertilizantes, recientemente se han descrito sus propiedades como bioestimulantes, especialmente algunas algas pardas (*Ascophyllum nodosum*, *Ecklonia máxima*).
- Quitosanos y otros biopolímeros: Producidos de forma natural o industrial, tienen un amplio abanico de usos en alimentación, cosmética, medicina y como biofertilizantes.
- Compuestos inorgánicos: Incluyen elementos químicos como el aluminio, silicio, cobalto y sodio que, en las cantidades adecuadas, refuerzan las paredes celulares y mejoran el crecimiento de los cultivos.

- Hongos y bacterias beneficiosas: Aunque algunos provocan daños y enfermedades, ciertos hongos y bacterias aportan nutrientes a las plantas e incrementan la eficiencia en su absorción.

4.2.3 Bioestimulantes a base de extractos de algas marinas

Los bioestimulantes a base de extractos de algas marinas se han convertido en una herramienta valiosa en la agricultura moderna, gracias a sus múltiples beneficios para el crecimiento de las plantas y la salud del suelo (Gonzales *et al.* 2022). Estos extractos son ricos en nutrientes esenciales, fitohormonas como auxinas, giberelinas y citoquininas, así como en minerales y vitaminas que favorecen el desarrollo radicular y mejoran la resistencia de las plantas a condiciones adversas.

La aplicación de bioestimulantes a base de algas marinas no solo potencia el rendimiento de los cultivos, sino que también favorece la actividad biológica del suelo. Al estimular la diversidad microbiana, estos bioestimulantes crean un ambiente propicio para el crecimiento de las raíces y mejoran la aireación del suelo. Asimismo, su uso contribuye a la sostenibilidad agrícola al reducir la dependencia de fertilizantes químicos, promoviendo prácticas más amigables con el medio ambiente (Gonzales *et al.* 2022).

4.2.4 Sustancias húmicas

Las sustancias húmicas son compuestos orgánicos complejos que se encuentran en el humus, la principal fracción orgánica del suelo, y son fundamentales para la fertilidad del mismo (Neave *et al.* 2016). Se originan a partir de la descomposición de materia vegetal y se clasifican en tres categorías: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas. Los ácidos húmicos son solubles en soluciones alcalinas pero insolubles en ácidos, mientras que los ácidos fúlvicos son solubles en agua a cualquier pH.

Las huminas, por su parte, son las fracciones más estables y complejas, que no se disuelven en ninguna solución. Estas sustancias desempeñan un papel crucial en la mejora de las propiedades físicas y químicas del suelo, como la capacidad de intercambio catiónico y la retención de humedad (Neave *et al.* 2016).

4.3 Mecanismos de acción de los bioestimulantes en el suelo

Según (Pimentel *et al.* 2018), los bioestimulantes actúan en el suelo a través de diversos mecanismos que mejoran la salud del suelo y el crecimiento de las plantas. En primer lugar, estos productos están compuestos por microorganismos beneficiosos, como bacterias y hongos, que establecen simbiosis con las raíces de las plantas.

Este tipo de productos bioestimulantes tiene un papel fundamental en el desarrollo de los cultivos y en el mantenimiento de los suelos, indispensable para conseguir un adecuado crecimiento de las plantas (Probelte *et al.* 2019). Los microorganismos presentes en los biofertilizantes se adhieren a la raíz de la planta y desempeñan en ese entorno su función, facilitando la absorción de macro y micro nutrientes, produciendo sustancias que estimulan el crecimiento vegetal y estimulando el sistema inmune de las plantas.

4.3.1 Efectos de los Bioestimulantes en las Propiedades Físicas del Suelo

Los bioestimulantes influyen positivamente en las propiedades físicas del suelo al mejorar la estabilidad de los agregados, incrementando la porosidad y reduciendo la compactación. Estas mejoras permiten una mayor infiltración y retención de agua, optimizando la disponibilidad hídrica para las plantas (Aguirre *et al.* 2022). Además, su capacidad para promover la formación de materia orgánica activa contribuye a una estructura del suelo más estable y resistente frente a la erosión.

Por otro lado, compuestos como los ácidos húmicos y fúlvicos presentes en los bioestimulantes ayudan a disminuir la densidad aparente del suelo, facilitando el desarrollo radicular. Esto también mejora la aireación del suelo y reduce el riesgo de escorrentía superficial, promoviendo sistemas agrícolas más sostenibles (Aguirre *et al.* 2022).

4.3.2 Efectos en las Propiedades Químicas del Suelo

Los bioestimulantes influyen directamente en las propiedades químicas del suelo al aumentar la disponibilidad de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio.

Esto se logra mediante la estimulación de procesos microbianos y la mejora de la solubilidad de los nutrientes gracias a compuestos como los ácidos húmicos y fúlvicos. Además, contribuyen a equilibrar el pH del suelo, creando un ambiente químicamente favorable para el desarrollo radicular y la absorción de nutrientes (García *et al.* 2024).

4.3.3 Impacto en las Propiedades Biológicas del Suelo

Los bioestimulantes tienen un efecto positivo en las propiedades biológicas del suelo al aumentar la actividad microbiana y la diversidad de microorganismos beneficiosos, como bacterias fijadoras de nitrógeno y hongos micorrícicos. Estos organismos mejoran los ciclos biogeoquímicos al facilitar la disponibilidad de nutrientes esenciales y promover la descomposición de materia orgánica. Además, los compuestos bioactivos presentes en los bioestimulantes, como los ácidos húmicos, estimulan la proliferación de organismos del suelo que contribuyen a la fertilidad y salud del ecosistema.

La aplicación de bioestimulantes ayuda a mejorar la resiliencia del suelo frente a condiciones adversas como la sequía, al promover la actividad microbiana que retiene agua y nutrientes en el suelo (Pérez *et al.* 2017). Los microorganismos simbióticos, como las micorrizas y los rizobios, se ven especialmente beneficiados por estos productos, reforzando su papel en la absorción de nutrientes por parte de las plantas.

4.3.4 Mejora en la Absorción de Nutrientes.

Los bioestimulantes pueden mejorar la capacidad de las plantas para absorber los nutrientes del suelo. Esto se debe a que los bioestimulantes contienen compuestos que estimulan el crecimiento de las raíces, aumentando así la superficie de absorción de las plantas. Además, algunos bioestimulantes contienen micronutrientes como hierro, manganeso y zinc que son esenciales para el crecimiento de las plantas (Iberian *et al.* 2023).

Al mejorar la eficiencia en la absorción de nutrientes, los bioestimulantes disminuyen el riesgo de escorrentía de nutrientes hacia cuerpos de agua, lo que ayuda a prevenir la contaminación y la eutrofización (Iberian *et al.* 2023).

4.4 Cultivo de Frijol Amadeus-77

El frijól común (*Phaseolus Vulgaris* L.) es una de las principales leguminosas que se siembran en el mundo solamente es superado por soya. Es la principal leguminosa de grano seco seguida por lenteja y garbanzo. Es considerado como una de las primeras plantas domesticadas del nuevo mundo al igual que maíz y sobre la cual se basó la alimentación de los primeros asentamientos de Mesoamérica y Sudamérica (Miramontes *et al.* 2014).

Uno de sus principales atributos de este cultivo, es su alto valor nutritivo y medicinal, ya que su contenido de proteína y carbohidratos en su semilla es bastante adecuado para su consumo (Miramontes *et al.* 2014). Dentro de otros atributos se le confieren ciertos aspectos terapéuticos en su consumo como lo es: la reducción de los niveles de colesterol, cáncer y diabetes.

4.4.1 Características Agronómicas del Frijol Amadeus-77

Amadeus 77 es una variedad de frijól de grano color rojo brillante con rendimientos promedio de 16 a 24 QQ/Mz Es una variedad precoz a intermedia, su floración ocurre a los 36-38 días después de la siembra y su madurez a los 66 a 68 días, con un hábito de crecimiento arbustivo indeterminado de porte erecto tipo arbolito, es resistente al Virus del Mosaico Dorado y al del Mosaico Común y de resistencia intermedia a la Bacteriosis Común, La Roya, al Picudo de la Vaina y gorgojos de almacenado (Gudiel *et al.* 2004).

4.4.2 Importancia Nutricional y Socioeconómica del Frijol.

Su importancia nutricional radica en que es una de las principales fuentes de proteínas vegetales, aportando entre 20 y 25 gramos de proteína por cada 100 gramos de frijol seco (Rodríguez *et al.* 2023). En países como México y Honduras, el frijol no solo es un alimento básico, sino que también contribuye a la seguridad alimentaria al ser accesible económicamente para la mayoría de la población, especialmente en áreas rurales donde otros alimentos pueden ser más costosos.

4.4.3 Desafíos del Cultivo de Frijol en Condiciones Agroecológicas

El cultivo de frijol enfrenta desafíos en condiciones agroecológicas, que pueden impactar su rendimiento y sostenibilidad (Zambrano *et al.* 2017). Uno de los retos es la variabilidad climática, que incluye sequías prolongadas e irregularidades en las precipitaciones. Estas condiciones extremas afectan la disponibilidad de agua y nutrientes en el suelo, lo que puede llevar a una disminución en el rendimiento de las cosechas.

Las condiciones agroecológicas juegan un papel crucial en el rendimiento de los cultivos, ya que incluyen factores como el clima, la calidad del suelo y las prácticas de manejo agrícola (Timothy *et al.* 2010). El cambio climático es uno de los principales desafíos que afectan estas condiciones, ya que provoca variaciones en la temperatura y en los regímenes de precipitación.

Según un estudio de la FAO, se anticipa que el cambio climático reducirá significativamente los rendimientos de cultivos importantes en regiones vulnerables, como Asia Meridional, afectando la seguridad alimentaria y aumentando los precios de los alimentos (FAO *et al.* 2019).

Los factores agroecológicos son elementos clave que influyen en el desarrollo y rendimiento de los cultivos. Estos factores incluyen aspectos como el clima, la calidad del suelo, la disponibilidad de agua y las prácticas de manejo agrícola. El clima, que abarca la temperatura, la humedad y las precipitaciones, determina en gran medida qué cultivos son viables en una región específica (Lezaun *et al.* 2024).

4.5 Impacto de los bioestimulantes en el Crecimiento y Rendimiento del Frijol

Los bioestimulantes ofrecen un potencial para mejorar la producción y calidad de las cosechas. Estos productos no nutricionales pueden reducir el uso de fertilizantes y mejorar la resistencia de las plantas al estrés. En el actual proceso tecnológico del cultivo del frijol, se tiene como premisa la aplicación de estimulantes biológicos, con capacidad suficiente de participar en los principales procesos metabólicos, entre los que se encuentran los análogos de brasinoesteroides (Gómez *et al.* 2018).

El Biobras-16 es una formulación producida en Cuba que tiene como ingrediente activo un análogo espiro tánico de brasinoesteroides y ha sido utilizada como estimuladora de los rendimientos agrícolas.

El uso de microorganismos eficientes ha sido investigado, desarrollado y aplicado en una multitud de usos agropecuarios y ambientales, además, son utilizados en más de 80 países del mundo. Distintos autores refieren que el principio fundamental de la tecnología consiste en la introducción de un grupo de microorganismos benéficos para mejorar las condiciones del suelo, y la producción de cultivos, entre los que se menciona al frijol común (Gómez *et al.* 2018). La búsqueda de alternativas con bioestimulantes, biofertilizantes o bioproductos, constituyen una alternativa para promover incrementos en el rendimiento del grano.

El uso de bioestimulantes tiene efectos positivos significativos sobre el crecimiento vegetativo del frijol y otras plantas. A través del aumento en altura, biomasa, número de hojas y desarrollo radicular, estos productos no solo mejoran el vigor de las plantas, sino que también contribuyen a una mayor productividad agrícola. La implementación de biofertilizantes puede ser una estrategia efectiva para optimizar cultivos y promover prácticas agrícolas sostenibles (Fernández *et al.* 2021).

4.6 Sostenibilidad y Beneficios Ambientales del Uso de Bioestimulantes

En un mundo donde la sostenibilidad y la eficiencia agrícola son más cruciales que nunca, los bioestimulantes se destacan como una herramienta innovadora y vital (Green *et al.* 2021). Estos productos no solo potencian el crecimiento y la salud de las plantas, sino que también desempeñan un papel crucial en la promoción de prácticas agrícolas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

Esto no solo disminuye el riesgo de contaminación del agua por escorrentía de nutrientes, sino que contribuye a mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, los bioestimulantes apoya la biodiversidad del suelo y ayuda a los cultivos a resistir condiciones adversas, como sequías (Manvert *et al.* 2024). A largo plazo, aunque la inversión inicial en biofertilizantes puede ser mayor, su capacidad para mejorar el rendimiento y la calidad de los cultivos los convierte en una opción económica y sostenible para los agricultores.

4.6.1 Reducción del Uso de Fertilizantes Químicos

La reducción del uso de fertilizantes químicos es un objetivo clave para promover prácticas agrícolas más sostenibles y minimizar el impacto ambiental (Pahalvi *et al.* 2024). Los fertilizantes sintéticos, aunque eficaces para aumentar la producción agrícola, han contribuido a problemas como la degradación del suelo, la contaminación del agua y la emisión de gases de efecto invernadero.

Los bioestimulantes pueden reducir la necesidad de fertilizantes y pesticidas en los cultivos. Esto se debe a que mejoran la absorción de nutrientes y la resistencia a factores de estrés abiótico, lo que reduce en ocasiones la necesidad de aplicar estos productos (Iberian *et al.* 2023). Además, algunos bioestimulantes contienen microorganismos beneficiosos que pueden proteger a las plantas de enfermedades y plagas.

4.6.2 Mejoramiento de la Salud del Suelo

El mejoramiento de la salud del suelo es esencial para garantizar la sostenibilidad de los sistemas agrícolas y la producción de alimentos en el futuro (Ordoñez *et al.* 2023). Un suelo sano no solo soporta el crecimiento de las plantas, sino que también desempeña un papel crítico en la regulación del agua, el reciclaje de nutrientes y la supresión de plagas y enfermedades. Para lograr una salud óptima del suelo, es fundamental adoptar prácticas agrícolas que fomenten su calidad física, química y biológica.

4.6.3 Contribución a la Agricultura Sostenible

Los bioestimulantes están emergiendo como una solución clave en la búsqueda de prácticas agrícolas sostenibles, contribuyendo significativamente a la agricultura respetuosa con el medio ambiente (Arvensis *et al.* 2024). Su uso mejora la fertilidad del suelo al enriquecerlo con microorganismos beneficiosos que promueven la descomposición de materia orgánica y la liberación de nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas.

Esto no solo reduce la dependencia de fertilizantes químicos, disminuyendo así el impacto ambiental, sino que también ayuda a restaurar el ciclo natural de nutrientes, promoviendo la salud a largo plazo del ecosistema agrícola. Además, los biofertilizantes protegen las plantas contra enfermedades y patógenos, lo que puede disminuir la necesidad de pesticidas sintéticos (Arvensis *et al.* 2024).

4.7 Experiencias del uso de bioestimulantes en cultivos agrícolas

El Grupo de Investigaciones de Materia Orgánica y Bioestimulantes (MOBI) del Departamento de Química de la Universidad Agraria de la Habana, ha obtenido un nuevo extracto acuoso de SH a partir de vermicompost de estiércol vacuno. La bioestimulación de diferentes dosis del extracto de vermicompost se ha comprobado en cultivos de interés agronómico como maíz. La aplicación foliar de dichos extractos en plantas de tomate promovió el desarrollo biológico de las plantas, así como la productividad agrícola en indicadores como la masa del fruto y el rendimiento durante dos años consecutivos (Helen A, *et al.* 2018).

La caracterización físico química de dichos extractos ha mostrado la presencia de sustancias húmicas como ácidos húmicos y fúlvicos, fitohormonas, microorganismos benéficos, aminoácidos, y elementos esenciales que pudieran contribuir en su acción bioestimulante, no sólo centrada en la presencia de sustancias húmicas.

4.7.1 Estudios Comparativos de Rendimiento con Bioestimulantes

Un estudio realizado en Zamorano evaluó el impacto de bioestimulantes como ácidos fúlvicos (Bio Folamin y Cator), caolinita y ácido salicílico en el rendimiento de tomate tipo pera en clima tropical. Los resultados mostraron un aumento en el número de frutos, la calidad nutricional y el rendimiento, especialmente con sustancias húmicas. La aplicación de caolinita y ácido salicílico también mejoró estas variables, aunque no se encontraron efectos significativos en la calidad postcosecha (Hernandez R, *et al.* 2021). El estudio destaca la utilidad de los bioestimulantes para mejorar la productividad y sostenibilidad agrícola.

Los resultados del estudio realizado en Zamorano evidencian que los bioestimulantes, especialmente aquellos basados en sustancias húmicas, pueden ser herramientas efectivas para aumentar el rendimiento y la calidad nutricional del tomate tipo pera en climas cálidos tropicales.

Sin embargo, es importante considerar que la eficacia puede depender de las condiciones específicas del cultivo y que se necesita más investigación para optimizar su uso y evaluar su impacto en la calidad postcosecha (Hugo R, *et al.* 2021).

4.7.2 Aplicación de Bioestimulantes en Diferentes Cultivos y regiones

La respuesta de los cultivos a la aplicación de bioestimulantes es variable, dependiendo no solo de las condiciones de crecimiento del cultivo, sino del cultivo evaluado en sí y su estado nutricional. En un intento de agrupar esas respuestas, recientemente un grupo de investigadores encabezado por Danny Geelen de la universidad de Ghent, Bélgica, evaluó de la efectividad a campo mediante un análisis estos productos en 180 ensayos realizados sobre cultivos y ambientes representativos (Quintero *et al.* 2021).

Los resultados analizados encontraron diferencias promedio de un 14- 18%. Tanto las sustancias húmicas como los hidrolizados proteicos sobre un total de 80 ensayos promediaron un 16% de respuesta.

Los métodos de aplicación de bioestimulantes utilizados actualmente por productores es en semilla, foliar y al suelo. Las aplicaciones foliares tienen la ventaja de la simplificación logística, permiten al productor aplicar junto con productos fitosanitarios y de esa forma, disminuir los costos de la aplicación. Aplicaciones simples o dobles o múltiples mostraron respuestas similares (15 a 19 %). El aumento en el número de aplicaciones no mejora la respuesta del cultivo, según detalla este metaanálisis (Quintero *et al.* 2021).

En síntesis, los bioestimulantes surgen hoy con fuerza para complementar la nutrición tradicional y hacer frente a las situaciones de estrés cada vez más frecuentes ante el cambio climático (Geelen *et al.* 2020). Además, proponen una estrategia más amigable con el ambiente y ecológica al incluir productos derivados naturales que mejoran la producción y reducen la utilización de algunos químicos sintéticos.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Ubicación del experimento

El proceso de la investigación se llevó a cabo en la sección de hortalizas de la Universidad Nacional de Agricultura, que se encuentra localizada en el Barrio Espino en Catacamas, Olancho. La Universidad se ubica aproximadamente a una latitud 14.8°N., presenta una altitud 370 msnm, la temperatura media en la región oscila entre 24°C y 27°C a lo largo del año.

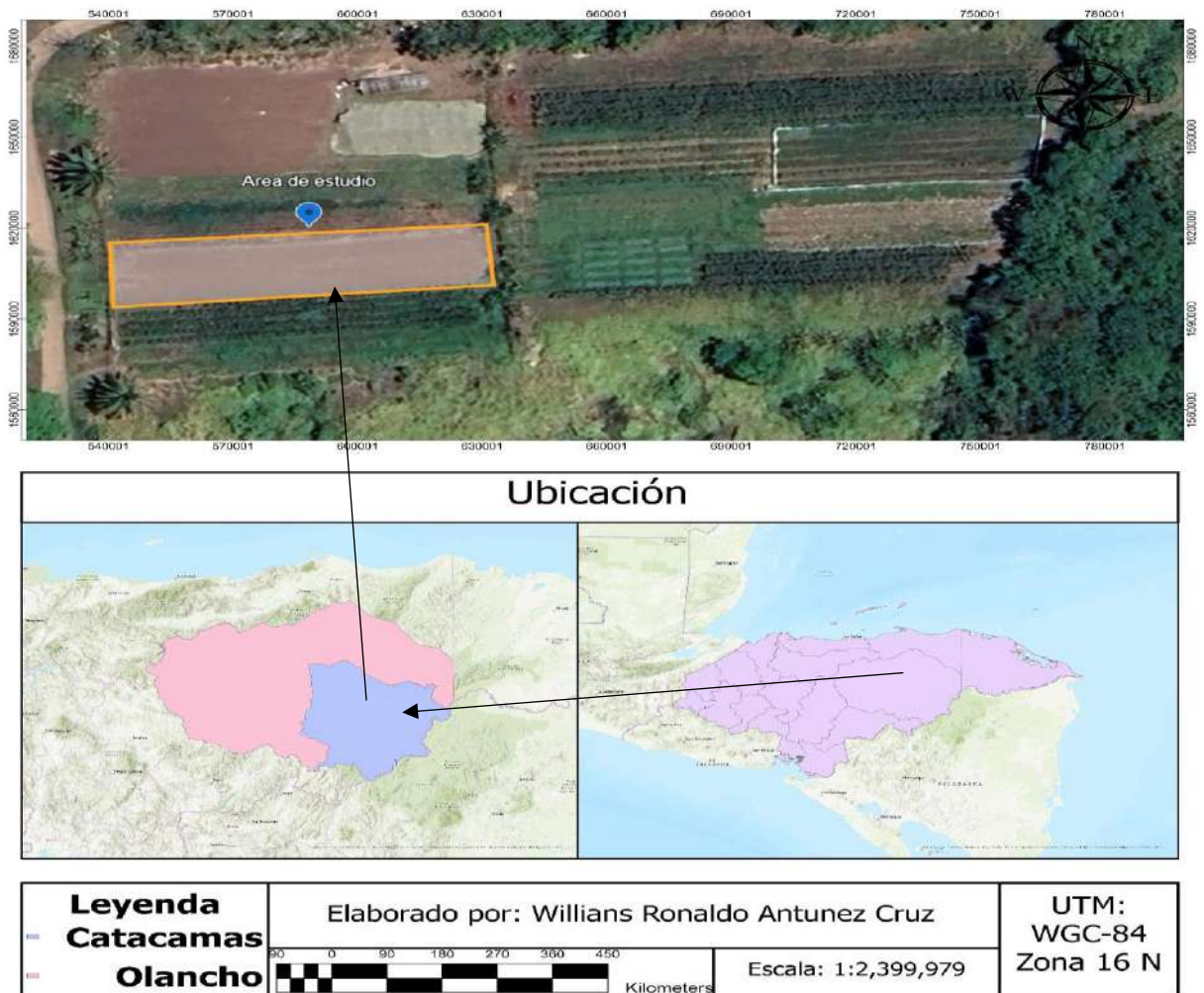


Figura 1. Mapa de ubicación del area del cultivo

5.2 Materiales y equipo

El estudio se realizó mediante el uso de diferentes herramientas manuales, dentro de las cuales se incluyen; palas, piochas, azadones, machetes y rastrillos, las cuales fueron de mucha importancia para la limpieza del área, la remoción del suelo y la delimitación de las parcelas. Además, se utilizaron estacas y cabuya para marcar los límites de los tratamientos y de esta forma asegurar un diseño experimental adecuado. Estas herramientas facilitaron la organización de las parcelas para la siembra.

El trabajo también consistió en el uso de herramientas de medición como cintas métricas y metros, necesarias para medir las distancias de siembra y el tamaño de las parcelas. Para la aplicación del bioestimulante, se utilizó una bomba de mochila, asegurando una dosificación uniforme en cada tratamiento. Asimismo, se emplearon recipientes para mezclar y transportar el bioestimulante, así como sistemas de riego para garantizar la humedad adecuada durante el ciclo del cultivo. Las observaciones y datos de campo se registraron en una libreta de campo, complementando el análisis con el uso de una computadora para el procesamiento y análisis de los resultados.

5.3 Métodos previos a la investigación

5.3.1 Preparación del terreno

Este proceso comenzó con la limpieza de la parcela experimental, eliminando restos de cultivos anteriores, malezas, piedras y otros residuos. Para realizar esta tarea, se emplearon herramientas como palas, azadones, piochas, machetes y rastrillos, asegurando una superficie limpia y uniforme. Asimismo, se delimitaron las parcelas según el diseño experimental utilizando estacas y cabuya, lo que permitió una correcta disposición de los tratamientos y un manejo eficiente durante el experimento.

5.3.2 Siembra

La siembra se realizó de manera manual, siguiendo un diseño que permitió un manejo adecuado del cultivo y la evaluación de los tratamientos. Las camas se construyeron con un distanciamiento de 1.50 metros entre sus centros.

Con una longitud de 30 metros cada cama, y de ancho será de aproximadamente 50 cm. Estas se dividieron en seis parcelas individuales de 5 metros de largo cada una. En cada cama se trazaron dos surcos paralelos, separados entre sí por 30 centímetros, asegurando un espacio suficiente para el desarrollo de las plantas.

Las semillas se colocaron a razón de dos por postura, con una distancia de 40 centímetros entre cada una. Cada parcela incluyó 96 posturas, lo que corresponde a un total de 192 plantas por parcela.

Sin embargo, las dos primeras y las dos últimas posturas de cada cama se excluyeron del análisis para evitar posibles efectos de borde, utilizando únicamente las posturas centrales como parcela útil para la evaluación.

5.3.3 Diseño experimental y tratamientos

El experimento se llevó a cabo bajo un diseño de bloques completos al azar con el objetivo de minimizar la variabilidad causada por factores externos. Se utilizaron seis tratamientos, distribuidos en seis parcelas de las cuales cinco recibieron bioestimulante y una sirvió como testigo (sin bioestimulante).

Un tratamiento que sirvió de referencia del productor que es 12-24-12, este se analizó de una parcela de otro experimento, lo que permitió evaluar las diferencias significativas del bioestimulante en comparación con productos convencionales granulados.

Los tratamientos consisten en la aplicación de extracto de algas marinas por vía foliar en cinco diferentes dosis, mientras que los ácidos húmicos y fúlvicos se aplicaron al suelo con la misma dosis en todos los tratamientos con el bioestimulante. La parcela testigo no recibió ningún tipo de bioestimulante.

Bloque I	T3	T1	T5	T2	T4	T6
Bloque II	T6	T3	T1	T4	T2	T5
Bloque III	T2	T5	T4	T6	T1	T3
Bloque IV	T4	T6	T2	T3	T5	T1

Figura 2. Croquis de tratamientos

De acuerdo con el diseño estadístico, cada tratamiento incluyó cuatro repeticiones o bloques, garantizando así la validez estadística y la solidez de los resultados.

Las parcelas experimentales se distribuyeron aleatoriamente dentro de cada bloque, minimizando la influencia de factores externos y permitiendo una evaluación objetiva de los efectos de cada tratamiento. Esta disposición facilitó la comparación directa entre las distintas dosis del extracto de algas y el control, asegurando que las diferencias observadas en el desarrollo y rendimiento del cultivo de frijol Amadeus-77 sean atribuibles exclusivamente a los tratamientos aplicados.

5.3.4 Dosis de bioestimulante evaluado en la investigación

Tabla 1. Distribución de tratamientos

Codigo	Descripcion de tratamientos			Aplicación dias despues de germinado
	Producto	Activa (2cc/lts) recomendada	Humic plus (2.5 cc/ lts)	
T ₁	Cero	Cero	Cero	Cero
T ₂	Activa, plus	humic 1 lts agua + 1 cc	+ 2.5cc	8-10, 16-20, 24-30, 35- 45
T ₃	Activa, plus	humic 1 lts agua + 1.5 cc	+ 2.5cc	8-10, 16-20, 24-30, 35- 45
T ₄	Activa, plus	humic 1 lts agua + 2 cc	+ 2.5cc	8-10, 16-20, 24-30, 35- 45
T ₅	Activa, plus	humic 1 lts agua + 2.5 cc	+ 2.5cc	8-10, 16-20, 24-30, 35- 45
T ₆	Activa, plus	humic 1 lts agua + 3 cc	+ 2.5cc	8-10, 16-20, 24-30, 35- 45

5.3.5 Testigo relativo (manejo convencional del productor)

Este tratamiento se basó en el uso de un fertilizante convencional granulado de fórmula 12-24-12, el cual es utilizado por los productores. Esta formulación aporta nitrógeno, fósforo y potasio en proporciones diseñadas para apoyar el desarrollo inicial del cultivo y el fortalecimiento del sistema radicular.

Cantidad:

2.5 quintales/ha del fertilizante usado 12-24-12, cada postura de frijol recibió aproximadamente 2.5 gramos de fertilizante 12-24-12.

Momento de la aplicación

- El fertilizante 12-24-12 se aplicó en una sola dosis al momento de la siembra, equivalente a 2.5 gramos por postura (2.5 qq/ha).

- Esta aplicación temprana tiene como objetivo optimizar el desarrollo inicial del cultivo de frijol, promoviendo una germinación uniforme, un buen establecimiento de la plántula y un sistema radicular bien estructurado desde las primeras etapas fenológicas.

5.3.6 Tiempo y forma de la aplicación de los tratamientos

A) Extracto de alga marinas:

El extracto de algas marinas se aplicó después de la siembra en momentos clave del ciclo del frijol Amadeus-77 siguiendo las etapas fenológicas del cultivo. La primera aplicación se realizó entre los 8 y 10 días después de la siembra, durante la etapa de germinación temprana, con el objetivo de estimular el desarrollo radicular.

La segunda aplicación se llevó a cabo entre los 16 y 20 días, en pleno desarrollo vegetativo, para favorecer el crecimiento de hojas y tallos.

La tercera aplicación se realizó entre los 24 y 30 días, coincidiendo con la prefloración, reforzando el vigor de la planta y preparándola para una floración saludable. Finalmente, una cuarta aplicación se realizó opcionalmente durante el llenado de vainas entre los 35 y 45 días para mejorar la calidad del grano.

La forma de aplicación se efectuó vía foliar, diluyendo el extracto según las recomendaciones, y su aplicación mediante una bomba de mano de 4 lts directamente a la planta. La frecuencia sugerida fue de 3 a 4 aplicaciones, ajustándose a las necesidades del cultivo y las condiciones del suelo.

B) Ácidos húmicos y fúlvicos:

Las sustancias húmicas se incorporaron al suelo en cuatro momentos clave del desarrollo del cultivo de frijol Amadeus-77, con el propósito de favorecer el acondicionamiento edáfico y el desempeño fisiológico de las plantas.

La primera intervención se efectuó entre los 8 y 10 días posteriores a la siembra, durante la fase de emergencia, etapa en la cual se busca estimular la actividad biológica del suelo y promover un sistema radicular vigoroso. La segunda aplicación se realizó entre los 16 y 18 días, cuando el cultivo transita por un crecimiento vegetativo activo, contribuyendo a mejorar la disponibilidad y movilidad de nutrientes esenciales en la rizosfera.

La tercera aplicación se desarrolló entre los 24 y 30 días, coincidiendo con el inicio del desarrollo reproductivo, para fortalecer la respuesta del cultivo frente a condiciones de estrés y apoyar los procesos de floración. Finalmente, la cuarta y última aplicación se llevó a cabo entre los 35 y 45 días, a medida que se establece la formación de vainas, con el fin de optimizar el transporte y asimilación de nutrientes hacia los órganos de reserva.

Estas aplicaciones se realizaron mediante distribución al suelo, utilizando agua como vehículo para garantizar una incorporación homogénea alrededor de la base de las plantas. Este manejo integral permite mejorar las condiciones del suelo, potenciar el desarrollo del cultivo y favorecer una producción más eficiente y sostenible.

5.3.7 Riego

Se implementó un sistema de riego por goteo, dejando todo listo para su uso en caso de ser necesario. No obstante, este sistema no se puso en práctica porque el cultivo fue establecido durante la temporada de lluviosa, lo que garantizó suficiente disponibilidad de agua de manera natural. Gracias a estas condiciones climáticas, el cultivo no requirió riego adicional para llevar a cabo su crecimiento y desarrollo vegetativo.

5.3.8 Manejo integrado de plagas (MIP)

El manejo integrado de plagas se realizó mediante un monitoreo diario para detectar su presencia y actuar de forma oportuna, se implementó la cobertura de la parcela con agribón sostenido mediante una estructura de postes alrededor del cultivo. Esta medida física sirvió como barrera protectora contra insectos y otras plagas, reduciendo el uso de productos químicos y permitiendo un ambiente más controlado para el desarrollo del cultivo.

5.3.9 Manejo agronómico

En el manejo del frijol Amadeus-77 se implementaron prácticas agroecológicas que prioricen la sostenibilidad y el equilibrio del agroecosistema. El control manual de parcelas garantizó la limpieza de malezas sin recurrir a herbicidas, favoreciendo el desarrollo del cultivo y la conservación de la biodiversidad.

Además, el riego es ajustado a las necesidades específicas del cultivo, optimizando el uso del agua y evitando tanto el estrés hídrico como el exceso de humedad, que podrían haber afectado negativamente la producción.

5.3.10 Cosecha

En la etapa de cosecha, se cuantificaron los parámetros de rendimiento, como el peso de 100 granos, número promedio granos por vaina, plantas cosechadas, altura de la planta. Estos datos se analizaron para determinar la influencia de los bioestimulante sobre el rendimiento y calidad del frijol.

5.4 Variables evaluadas

❖ Altura promedio de planta

La altura de las plantas se evaluó en la etapa de floración, momento clave para observar el vigor vegetativo. Lo cual se escogieron cinco plantas por parcela de forma aleatoria, totalizando 20 por tratamiento. Utilizando la metodología de (Stebler *et al.* 1998).

La medición se realizó desde la base del tallo hasta el extremo más alto de la planta, ya sea una guía o rama principal.

❖ Nódulos efectivos por planta

Durante la etapa de formación de vaina, fase en la que los nódulos están más activos, según (Hansen *et al.* 2017). Se extrajeron con cuidado tres plantas por parcela, esto para no dañar las raíces externas, haciendo un total de 12 plantas por tratamiento.

Se limpiaron cuidadosamente para contar los nódulos presentes. Con estos datos, se calculó un promedio que permitió determinar la influencia de los bioestimulante en la capacidad de disponibilidad de nutrientes en la planta.

❖ Número promedio de vainas por planta

Esta medición se realizó al momento de la cosecha cuando las vainas ya están totalmente desarrolladas (Treminio *et al.* 2005). Se tomaron cinco plantas al azar por parcela, sumando un total de 20 plantas evaluadas por tratamiento. Se contaron la cantidad de vainas por planta, lo cual permitió valorar la capacidad reproductiva del cultivo y observar diferencias entre los tratamientos aplicados.

❖ Número promedio de granos por vaina

Esta variable se analizó después de haber trillado las vainas cosechadas. Se seleccionaron cinco plantas al azar por parcela, 20 plantas por tratamiento, siguiendo la metodología por (Ismael *et al.* 2011). Se contó cuántos granos hay por vaina, y se obtuvo un promedio por tratamiento. Esto permitió analizar la eficiencia reproductiva del cultivo bajo cada condición.

❖ Peso de 100 granos

Se realizó al final de la cosecha y trilla, se seleccionó una muestra representativa de cada tratamiento para pesar 100 granos utilizando una balanza de precisión. Esta media permite valorar el tamaño y la calidad del grano según las condiciones a las que fue sometido el cultivo, según lo mencionado por (Henríquez *et al.* 1992).

❖ Humedad

Durante la etapa final de la cosecha se analizó el contenido de humedad del grano de frijol, evaluándolo cuando éste presentaba un estado seco y apto para su almacenamiento, propuesto (Jara *et al.* 2017). Para esta medición se utilizó un equipo portátil denominado humedímetro, el cual permite obtener de manera rápida y precisa el porcentaje de humedad presente en los granos.

❖ Rendimiento

El rendimiento se calculó al final del ciclo, una vez finalizada la cosecha. Se registró el peso total de granos obtenidos por parcela, y luego se extrapoló a kilogramos por hectárea (Kg/ha) para facilitar la comparación entre tratamientos. Este valor es importante para evaluar el impacto de cada alternativa aplicada en la producción total (Arias *et al.* 2023).

Fórmula del rendimiento (Kg/ha):

$$\text{Rendimiento (Kg/ha)} = \left(\frac{\text{Peso de campo (Kg)}}{\text{Área cosechada (m}^2\text{)}} \right) \times 10,000 \times \left(\frac{100-H}{86} \right)$$

Donde:

Peso de campo (Kg) es el peso total del grano cosechado en campo, área cosechada (m²) es la superficie exacta donde se realizó la cosecha. H es el porcentaje de humedad del grano al momento de la cosecha. 10,000 es el factor de conversión para llevar el rendimiento de m² a hectáreas (1 ha = 10,000 m²). (100 – H) / 86 es el factor de corrección que ajusta el rendimiento a una base de 14% de humedad, que es el estándar comercial del grano seco. Este método permite obtener un valor representativo y comparable del rendimiento real del cultivo, considerando la variación natural en el contenido de humedad del grano al momento de la cosecha.

❖ Número de plantas cosechadas

Al finalizar el ciclo del cultivo, se registró la cantidad total de plantas cosechadas por parcela. Este dato permitió evaluar la supervivencia del cultivo y verificar si los tratamientos tuvieron algún efecto en la permanencia y desarrollo completo de las plantas, siguiendo lo propuesto por (Vargas *et al.* 2018).

❖ Biomasa Aérea

Se evaluó al momento de formación de vainas. Se cortaron tres plantas por parcela, cortadas a ras del suelo y pesadas en fresco, sin secado previo. Esta medición incluye tallos, hojas y estructuras reproductivas. Con el fin de evaluar cómo influyeron los tratamientos en el crecimiento total de la parte aérea del cultivo (Voyses *et al.* 1996).

5.4.1 Análisis estadístico de datos

Los datos recolectados se analizaron mediante un análisis de varianza en software InfoStat. Para identificar posibles diferencias significativas entre los diferentes tratamientos aplicados al cultivo de frijol. Este análisis permite determinar si las variaciones observadas en las variables de rendimiento y calidad del grano son atribuibles a los tratamientos con bioestimulante.

En caso de que se encontraron diferencias significativas, se procedió con una prueba de comparación de medias, como la prueba de LSD Fisher Alfa, para identificar cuáles tratamientos resultaron ser superiores. Este paso es importante para evaluar la eficacia del bioestimulante en comparación con el control y entre los distintos tratamientos aplicados en el experimento.

5.4.2 Análisis rentabilidad parcial

Para evaluar la viabilidad económica del uso de bioestimulante en el cultivo de frijol Amadeus-77, se realizó un análisis de rentabilidad parcial. Este tipo de análisis permite determinar si la inversión en los tratamientos aplicados con bioestimulante y su manejo genera beneficios en relación con el rendimiento obtenido, sin incluir otros costos generales del sistema de producción. Su objetivo es comparar el ingreso generado por cada tratamiento frente al costo específico de su aplicación.

$$\text{Relación B/C parcial} = \frac{\text{Valor del rendimiento obtenido (L/ha)}}{\text{Costo del tratamiento aplicado (L/ha)}}$$

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) es uno de los cultivos básicos en la alimentación hondureña y una fuente importante de ingresos para pequeños y grandes productores. Su comportamiento en campo depende de las condiciones de clima, principalmente de la influencia de lluvias. Sin embargo, el exceso de lluvia como la falta de agua puede influir en germinación, el desarrollo vegetativo y la formación de grano. Las lluvias durante los meses del ciclo tuvieron una influencia directa en el crecimiento y rendimiento obtenido.

A demás, durante el mes de junio las lluvias fueron regulares y moderadas con un promedio 7.42 mm/día. El día que presento la mayor cantidad de lluvia en este periodo fue el 12 de junio con 26.4 mm/día, lo que permitió una buena germinación y emergencia uniforme de las plantas (Ver figura 3). En julio se presentaron lluvias más constantes, pero con menor intensidad con un promedio de 5 mm/día, lo cual favoreció el desarrollo vegetativo y la floración del cultivo del frijol, garantizando condiciones favorables de humedad en el suelo.

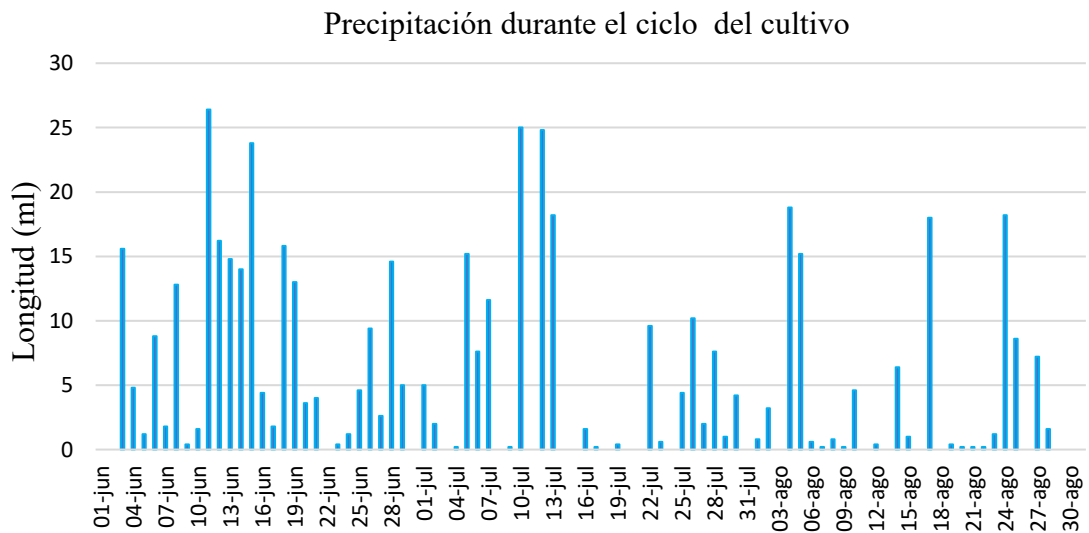


Figura 3. Promedio de precipitación (ml) diaria durante la investigación

Posteriormente, en el mes de agosto donde el cultivo estaba en su etapa final se registraron lluvias constantes con baja intensidad, pero hubo días que se registraron lluvias con mayor intensidad principalmente entre los días 4 y 5 con un promedio 19 mm/día generando exceso de humedad en las parcelas. Esta condición ocasionó saturación en el suelo, disminuyendo la aireación de las raíces y creando un ambiente para la aparición de un hongo llamado macha angular (*Phaeoisariopsis griseola*) lo cual afectó el llenado de vainas y aceleró la madurez fisiológica del cultivo.

A pesar de estas condiciones el cultivo mantuvo un comportamiento agronómico aceptable, sobre todo en los tratamientos donde se le aplicó el bioestimulante de algas marinas con ácidos húmicos y fúlvicos, los cuales ayudaron a que las plantas resistieran mejor la humedad excesiva y conservaran mejor sus condiciones de desarrollo vegetativo.

6.1 Variables evaluadas

6.1.1 Altura promedio de la planta

El análisis de varianza muestra diferencias significativas en esta variable, lo que confirma que las variaciones en la altura de las plantas no son atribuibles al azar, si no que se deben a los tratamientos aplicados. Sin embargo, el tratamiento T7 presentó la mayor altura con (59 cm). lo que da evidencia que mediante este manejo las plantas alcanzaron un mejor desarrollo vegetativo en comparación con el resto de tratamientos aplicados.

En segundo lugar, se ubicaron los tratamientos (T3) y (T5), ambos con un promedio de 53 cm, mostrando un crecimiento intermedio pero superior al de los demás tratamientos. Por otro lado, el tratamiento (T2) 52 cm, este tratamiento demuestra una similitud con los demás tratamientos. lo que indica que las diferencias de las dosificaciones no influyeron en la altura de las plantas.

Los valores intermedios obtenidos de (T4) 52 cm y (T6) 51 cm presentaron alturas similares, sin diferencias significativas entre ambos tratamientos. El tratamiento (T1) que corresponde al testigo absoluto, la menor altura con 50 cm lo que fue la altura promedio, confirmando que la falta de fertilizantes limita el crecimiento y desarrollo vegetativo de las plantas (Ver anexo 1).

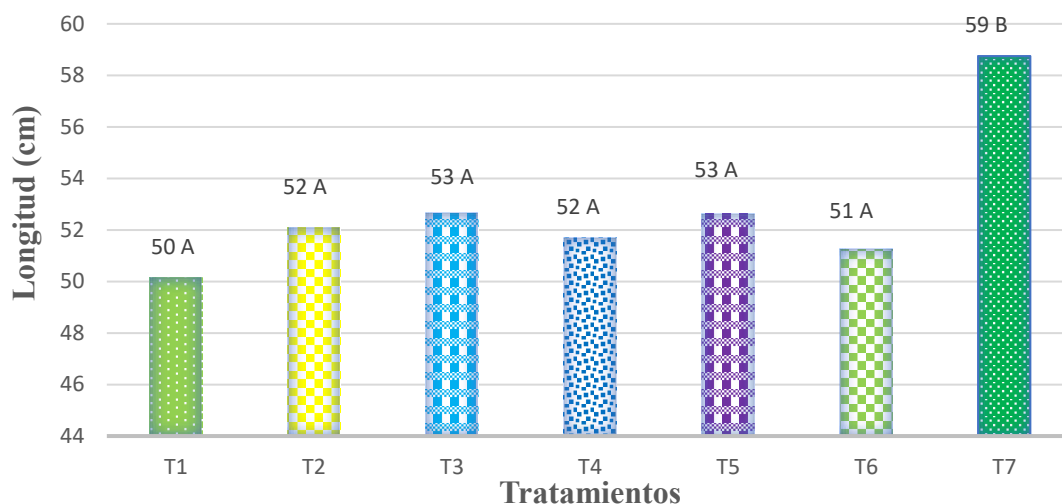


Figura 4. Altura promedio de planta (cm), prueba LSD Fisher al 5%

Estos resultados reflejan que el tipo de tratamiento influye directamente en el desarrollo de la planta, como la disponibilidad de nutrientes que la plantas pueda absorber durante el desarrollo vegetativo y también la mucha altura no vaya perjudicar el llenado de vainas según Stebler *et al.* (1998).

En cambio, la altura del frijol vario según el manejo aplicado confirmando un efecto real de los tratamientos. El mayor crecimiento fue el T7, se asocia a la fertilización convencional por la disponibilidad inmediata de nutrientes, mientras que T3 y T5 mostraron una respuesta intermedia, acorde con el papel del bioestimulante como apoyo al funcionamiento de la planta más que como una fuente rápida de nutrientes.

Asimismo, la similitud entre los demás tratamientos sugiere que en el rango de las dosis evaluadas y bajo condiciones del ciclo la altura se mantuvo muy cercana y además este aumento vegetativo no necesariamente garantiza un mejor llenado de vainas.

6.1.2 Nódulos efectivos por planta

Según los resultados del análisis de varianza para esta variable nódulos por planta (Ver anexo 2), no se encontraron diferencias significativas, lo que confirma que el número de nódulos formados en las raíces del frijol no fue influenciado por los tratamientos aplicados.

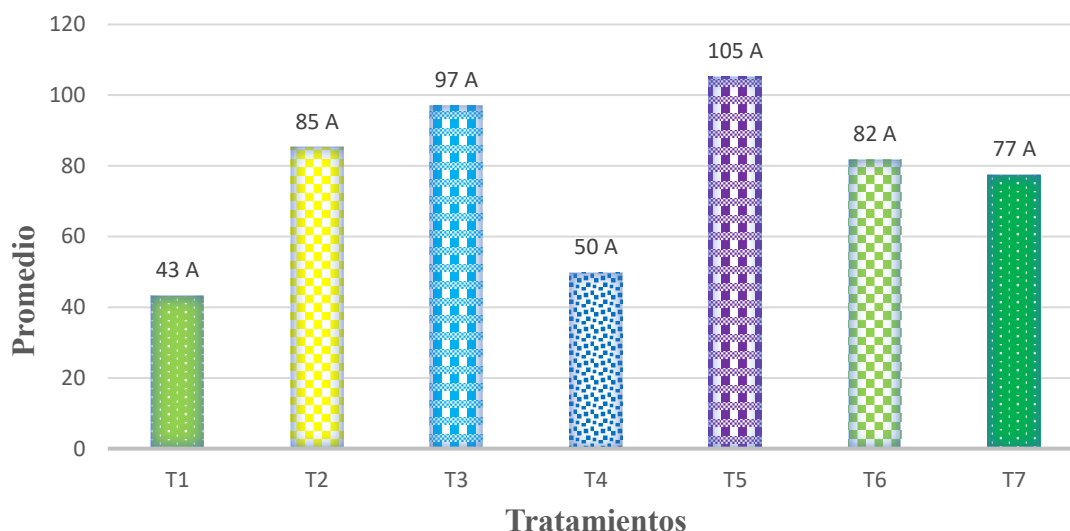


Figura 5. Promedio de nódulos por planta, para los tratamientos

La aplicación de bioestimulante incrementó significativamente la nodulación del cultivo, favoreciendo la formación de más nódulos activos por planta y una mayor fijación biológica de nitrógeno. Como lo describe Hansen *et al* (2017), que el comportamiento de extractos de algas marinas y sustancias húmicas mejoran la actividad microbológica del suelo y estimulan las bacterias fijadoras de nitrógeno, creando mejores condiciones para la simbiosis entre rizobios y las raíces del frijol.

Sin embargo, los nódulos por planta no hubo diferencias significativas, por lo que la nodulación no puede atribuirse a un tratamiento en particular. Aunque el T5 mostró una tendencia a mayores números de nódulos por planta, el efecto no fue consistente bajo las condiciones del ensayo, posiblemente por la influencia del suelo y el ambiente sobre la simbiosis con rizobios. En contraste, el testigo tendió a valores más bajos lo que sugiere menor estímulo biológico, pero dentro de un comportamiento general similar entre tratamientos.

6.1.3 Promedio de vainas por planta

Las diferentes dosificaciones de extracto de algas marinas y la aplicación del fertilizante químico influyeron de manera clara en la cantidad de vainas formadas por planta (Ver anexo 3). El tratamiento T2 (1 cc/lit) alcanzó el mayor promedio con 25.45 vainas por planta, seguido de (T3) (1.5 cc/lit) con 25 y (T7) (fertilizante 12-24-12) con 24.6 vainas. El testigo (T1), que no recibió fertilización, obtuvo el valor más bajo con 21.75 vainas por planta, lo que evidencia la importancia del aporte nutricional y bioestimulante en la formación de estructuras reproductivas del frijol.

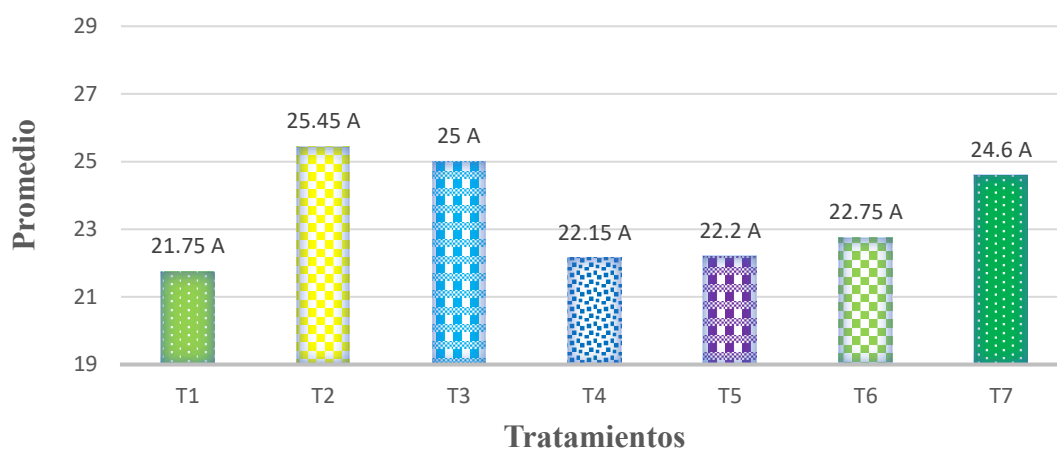


Figura 6. Promedio de vainas por planta en función de los tratamientos aplicados

Los resultados muestran que las dosis bajas e intermedias del bioestimulante (T2 y T3) fueron las más efectivas para estimular la floración y el desarrollo de vainas. Esto se debe a que esas concentraciones permiten un equilibrio en la acción de las fitohormonas naturales del extracto de algas, como auxinas y giberelinas, que favorecen la formación de flores y mejoran el cuajado sin provocar estrés en la planta.

En consecuencia, al aumentar la dosis tanto el T5 y T6 el efecto fue más moderado señalando que llega un punto en que más producto ya no se traduce en más vainas. Por lo contrario, el testigo quedó por debajo por falta de apoyo de nutrientes, mientras que el T7 se mantuvo cercano a los mejores por su parte rápido de nutrientes.

Para ello, el desempeño del T2 y T3 dan a conocer que el bioestimulante bien dosificado puede competir con el manejo químico en esta variable.

6.1.4 Promedio de granos por vaina

El promedio de granos por vaina es una variable importante porque refleja el comportamiento reproductivo del cultivo de frijol y su capacidad de transformar la floración en rendimiento. En este estudio, el análisis de varianza no muestra diferencias significativas entre los tratamientos (Ver anexo 4), lo que indica que las distintas dosis de extractos de algas marinas y el fertilizante químico no generaron variaciones estadísticas en esta variable.

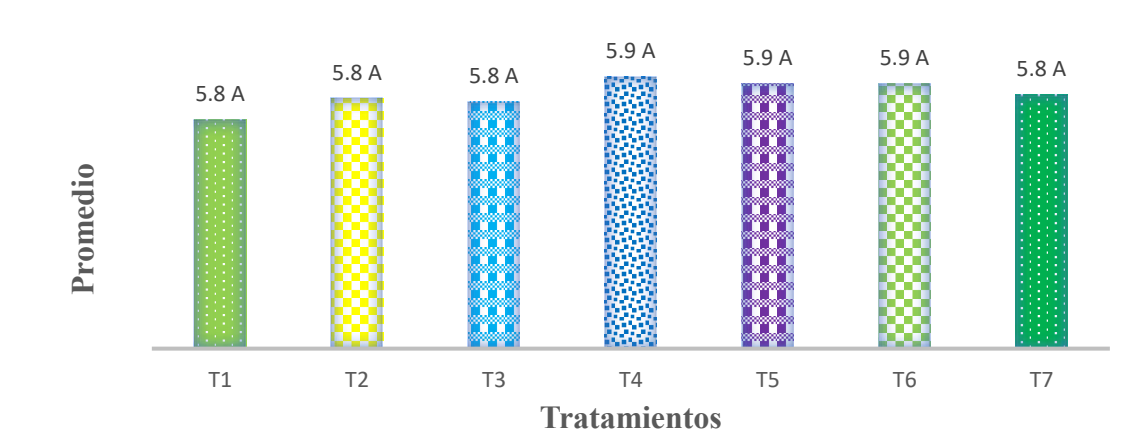


Figura 7. Promedio de granos por vaina, según tratamientos aplicados

A pesar de ello, se observó una tendencia positiva en los tratamientos con bioestimulante, especialmente en la dosis media alta (T5, 1.5 cc/l), la dosis recomendada (T4, 2 cc/l) y la dosis alta (T6, 3 cc/l). Donde se obtuvieron los mayores promedios con 5.9 granos por vaina. Este resultado puede explicarse por la acción fisiológica de las fitohormonas naturales presentes en los extractos de algas marinas, como auxinas, citoquininas y giberelinas, que intervienen en el cuajado y formación de granos.

En términos agronómicos, los resultados evidencian que la aplicación de bioestimulante contribuyó a mantener una producción estable, sin generar efectos negativos sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo de frijol. Este comportamiento coincide con lo reportado por Torres *et al.* (2019), en un ensayo con extractos de algas marinas en soya, indicó que el bioestimulante estimulan el metabolismo y la asimilación de nutrientes.

Por lo tanto, en esta variable prácticamente todos los tratamientos se comportaron similares, ya que no hubo diferencias significativas. Asimismo, el T4, T5 y T6 mostraron una pequeña ventaja lo cual tiene sentido porque el bioestimulante suele ayudar a que la planta cuaje y llene mejor al trabajar sobre su funcionamiento y el aprovechamiento de nutrientes más por generar cambios bruscos. Finalmente, en este ensayo el uso de bioestimulante mantuvo estable la producción de granos por vaina sin afectar el desarrollo del frijol.

6.1.5 Peso 100 granos en los tratamientos

Según Henríquez *et al.* (1992), el peso de 100 granos es una variable que refleja la calidad del llenado y acumulación de reservas en el cultivo, por lo tanto, depende mucho de la nutrición y del manejo aplicado. En esta variable no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos (Ver anexo 5). Esto indica que las distintas dosis de extractos de algas marinas y el fertilizante químico no influyeron de manera estadística en el peso de los granos del frijol Amadeus-77.

Sin embargo, se evidenció una tendencia favorable en la masa del grano por planta en los tratamientos con bioestimulante especialmente en T3 (1.5 cc/lt), con un comportamiento similar al fertilizante químico T7. En contraste, el testigo T1 obtuvo el valor más bajo con 26 gramos lo que demuestra que el uso de bioestimulante mejoró levemente el llenado de los granos, aunque sin diferencias estadísticas.

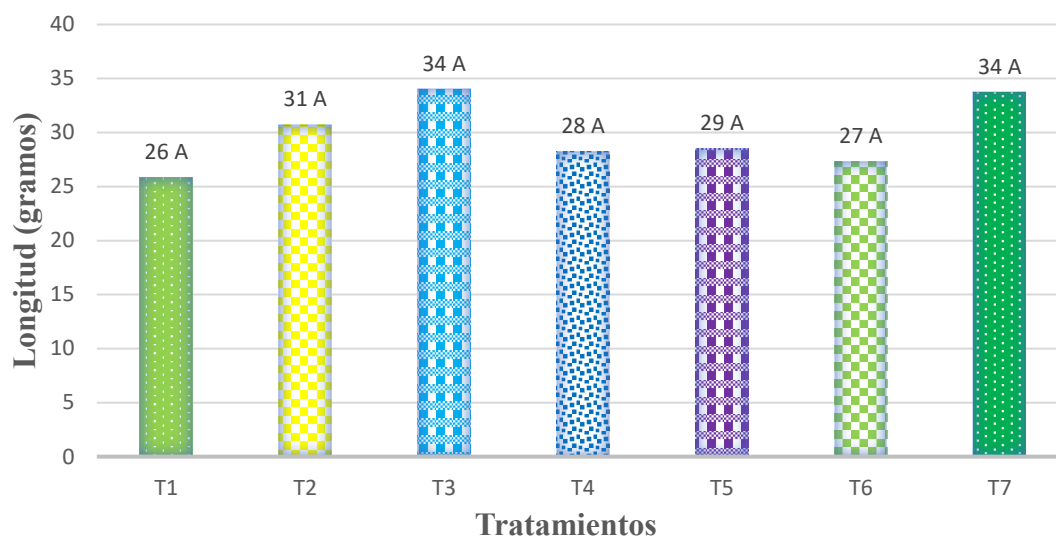


Figura 8. Peso 100 granos según los tratamientos aplicados

Este comportamiento podría asociarse a la acción de los compuestos bioactivos de los extractos de algas marinas, que actúan como reguladores del crecimiento y mejoran la eficiencia fisiológica del cultivo. Resultados parecidos fueron reportados por Zambrano *et al.* (2017) en frijol rojo, donde tampoco se encontraron diferencias significativas, pero si una tendencia a obtener granos más pesados y mejor formados en los tratamientos con bioestimulante.

Para terminar, se esperaba que el manejo marcara diferencias en el llenado, pero se mantuvo similar entre los tratamientos y el análisis no mostró diferencias significativas. Para ello, el T3 destacó por una ligera ventaja y se comportó muy cercano a T7 lo que propone que el bioestimulante pudo apoyar el llenado al mejorar la eficiencia de la planta para aprovechar los nutrientes disponibles.

En cambio, el testigo tendió valores más bajos coherente con la falta de apoyo. En síntesis, no hubo un efecto estadístico claro, pero si una tendencia favorable asociada al uso del bioestimulante.

6.1.6 Rendimiento kilogramos por hectárea

El rendimiento por hectárea es el indicador más importante porque muestra la respuesta productiva final del cultivo. Esta variable resume el efecto de la fertilización, los bioestimulante y condiciones del suelo sobre el desarrollo y la cosecha del frijol.

Tomando en cuenta el parámetro de humedad del grano que se utilizó para calcular el rendimiento, este factor influye directamente en la calidad, peso y la conservación del frijol cosechado. Mantenerla dentro de porcentajes 12% - 17%, es importante para evitar pérdidas por hongos y deterioro durante el almacenamiento. Además, este parámetro permite ajustar al rendimiento real del cultivo, permitiendo obtener comparaciones más precisas entre los tratamientos.

Este comportamiento fue coherente con las variables de peso 100 granos y peso total de área cosechada (2.8 m²), donde los mismos tratamientos (T3) y (T7) destacaron como lo más productivos, esto refleja que la aplicación de niveles de dosificaciones de bioestimulante puede tener mejores rendimientos en comparación con fertilizantes químico, según los datos obtenidos del presente estudio realizado.

Tabla 2. Rendimiento de los tratamientos expresado en (kg/ha)

Tratamientos	Rendimiento promedio (kg/ha)	Rendimiento promedio (quintales/ha)
(T1) Testigo absoluto	1395.1 A	30.69
(T2) Dosis baja (extracto alga)	1417.2 A	31.17
(T3) Dosis media baja (extracto alga)	1696.3 A	37.31
(T4) Dosis recomendada (extracto alga)	1561.8 A	34.36
(T5) Dosis media alta (extracto alga)	1594.4 A	35.07
(T6) Dosis alta (extracto alga)	1477.5 A	32.50
(T7) Fertilizante químico (12-24-12)	1662.6 A	36.57

En el análisis estadístico no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos (Ver anexo 6). En contraste, se observaron diferencias numéricas que reflejan el comportamiento fisiológico del cultivo frente a los productos aplicados.

Sin embargo, el rendimiento general se pudo ver afectado por exceso de lluvia durante las últimas épocas del cultivo, lo que provocó alta humedad y aparición de mancha angular (*Phaeoisariopsis griseola*). Esta enfermedad afectó las hojas y llenado limitando el rendimiento esperado. Aunque con esas condiciones, los tratamientos con bioestimulante mantuvo un buen comportamiento, mostrando una opción sostenible, rentable y resistente a condiciones adversas para la producción de frijol Amadeus-77.

Podemos concluir, que el T3 destacó y quedó casi igual a T7. Lo que da a conocer que fue la dosis más equilibrada, porque ayudó al cuajado y al llenado sin excederse, mientras que con dosis más altas la respuesta disminuyó. Además, la lluvia y la mancha angular al final del ciclo afectaron el llenado y pudieron reducir el potencial general. Aun así, T3 sostuvo un rendimiento competitivo, lo que respalda el bioestimulante como opción complementaria.

6.1.7 Plantas cosechadas

La variable plantas cosechadas refleja la supervivencia y el comportamiento del cultivo desde la siembra hasta la cosechada. Los tratamientos con bioestimulante de extractos de algas marinas con ácidos húmicos y fúlvicos mostraron una buena respuesta, especialmente el (T6) con una dosis alta (3 cc/lit) donde se observó una mayor cantidad de plantas cosechadas. Esto demuestra que el producto ayudó al enraizamiento, vigor y resistencia frente a factores que pudieron causar pérdida de plantas. Seguido, los demás tratamientos revelaron valores intermedios entre 16 y 18 plantas cosechadas en un área 2.8 m².

Resultados similares fueron reportados por Vargas *et al.* (2018). Menciona que los bioestimulantes naturales ayudan a la resistencia de la planta y reducen la mortalidad en campo frente a cualquier estrés que puede presentar durante su ciclo vegetativo. Esto coincide con lo encontrado en esta investigación, donde las plantas tratadas con bioestimulante mostraron mayor vigor y buena adaptación, garantizando una población final uniforme.

Por lo tanto, la supervivencia de plantas cosechadas fue parecida en todos los tratamientos y refleja un manejo de campo adecuado. Aun así, el T6 tendió a tener más plantas al final, lo puede relacionarse con mayor vigor y mejor tolerancia al estrés por efecto del bioestimulante. Asimismo, el cultivo mantuvo una población uniforme hasta la cosecha.

6.1.8 Biomasa aérea

El peso de biomasa verde es importante porque muestra la cantidad total de materia vegetal fresco producido por el cultivo y permite evaluar el vigor y desarrollo vegetativo de las plantas. Los tratamientos con bioestimulante mostraron una buena respuesta el crecimiento foliar y radicular.

Los tratamientos (T4) y (T5), 18.94 y 20.17 toneladas/hectárea, registrando los mayores pesos de biomasa verde, lo que demuestra que estos compuestos naturales mejoran la estructura del suelo, retención de humedad y la absorción de nutrientes generando plantas con mayor cobertura y vigor en las plantas.

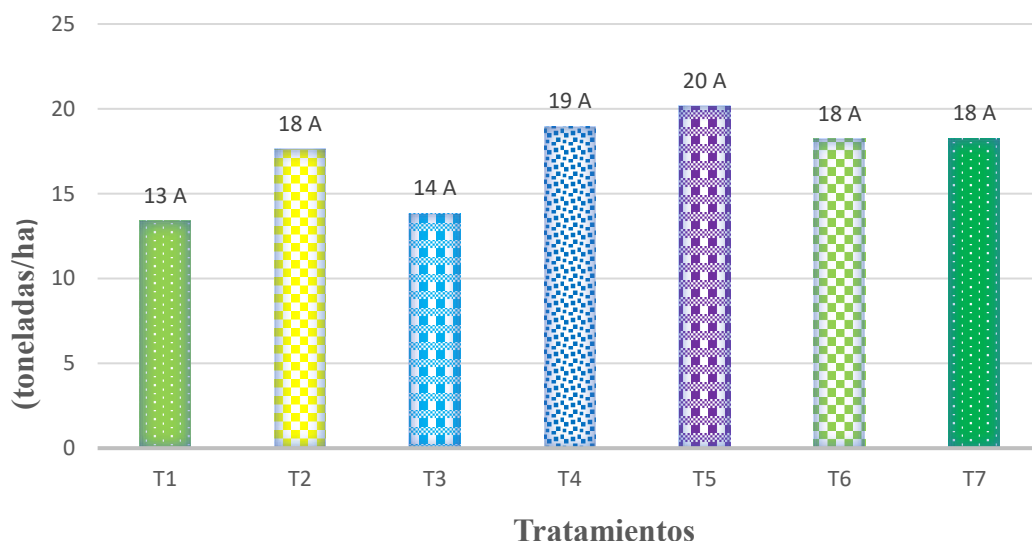


Figura 9. Biomasa verde por tratamiento (t/ha)

En el análisis de varianza no encontró diferencias significativas ($p > 0.05$) lo que indica que los manejos favorecieron un crecimiento uniforme de frijol Amadeus-77.

A pesar de que los tratamientos T3 (1.5 cc/lt) y T7 (fertilizante químico) no fueron los más altos en peso de biomasa, si lograron los mejores rendimientos en grano. Esto se debe a que las plantas de estos tratamientos dirigieron más energía hacia la formación y llenado de vainas, en lugar de continuar acumulando materia vegetal. En términos agronómicos fueron plantas más eficientes en el uso de los fotoasimilados, logrando una conversión del crecimiento en producción, lo cual es deseable en cultivos de frijol.

Finalmente, el crecimiento vegetativo fue comparable entre los tratamientos. Asimismo, el T4 y T5 tendieron a mayor acumulación de materia fresca, asociado a mayor vigor y cobertura. Sin embargo, que el T3 y T7 se hayan destacado en rendimiento sin ser los más altos en biomasa sugiere una menor partición de asimilados hacia el grano, es decir, plantas más eficientes para convertir crecimiento en producción.

6.2 Matriz de correlaciones

Tabla 3: Matriz Correlación de Pearson

	Rendi- kg/ha	Biomasa t/ha	Nódulos
Biomasa t/ha	0,129 0,783		
Nódulos	0,475 0,281	0,299 0,515	
Altura	0,632 0,128	0,298 0,516	0,267 0,563

En esta matriz no hubo correlaciones entre variables tales como nódulos, biomasa, altura y el rendimiento son debido a que el cultivo respondió de manera diferente a las distintas dosificaciones de bioestimulante a base de extractos de algas marinas. Además, en varios casos al aumentar los nódulos la biomasa tendía a disminuir, lo que indica que la planta no siempre destinó sus recursos al crecimiento de la parte aérea. En este sentido, el bioestimulante actuaron más como reguladores del desarrollo que como una fuente inmediata de nutrientes, por lo que cada variable expresó una respuesta particular durante el ciclo del cultivo.

Asimismo, el comportamiento similar entre tratamientos también pudo estar influenciado por las condiciones ambientales del periodo de evaluación, especialmente por la alta humedad y la presencia de mancha angular durante la etapa de llenado. Esto probablemente limitó una mejor expresión del potencial del cultivo y evitó que variables como altura, biomasa o nodulación se reflejaran claramente en el rendimiento final. Por lo tanto, más que una respuesta lineal entre variables, lo que se observó fue un comportamiento complejo del frijol Amadeus-77 bajo condiciones agroecológicas, donde intervinieron tanto el efecto de el bioestimulante como el ambiente del ensayo.

6.3 Análisis de suelo inicial, realizado en sitio de estudio Estación experimental Raúl Rene valle.

Antes del experimento, se tomaron muestras de suelo en diversas zonas de las parcelas experimentales para evaluar sus propiedades físicas y química. Se realizó un diagnóstico inicial del suelo en las parcelas seleccionadas. En lo que se tomaron diferentes muestras siguiendo un recorrido en forma de zigzag. Esta estrategia busca que el muestreo se represente de manera significativa todas las áreas del terreno.

Posteriormente las muestras se enviaron al laboratorio especializado del Dr. Elio Durón Andino, donde se analizaron distintos parámetros fisicoquímicos, tales como el pH, el contenido de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, y la textura del suelo entre otros.

Tabla 4. Analisis de suelo inicial, diferentes parametros fisicoquimicos

Parámetro	Resultado	Unidad	Nivel	Interpretación
Materia orgánica (MO)	3.554	%	Medio - Alto	Indica una buena retención de agua y disponibilidad de nutrientes.
pH	6.085	-	Optimo	Un pH cercano a neutro, disponibilidad de nutrientes.
Nitrógeno (N)	0.177	%	Medio	Cantidad suficiente de nitrógeno para el crecimiento inicial de un cultivo.
Fosforo (P)	23.95	(ppm) (Bray I)	Medio	Disponibilidad moderada de fosforo.
Potasio (K)	149.6	(ppm)	Medio - Alto	Lo que indica buen porcentaje de potasio, lo que favorece la resistencia de las plantas.
Arena	63.6	%	Alto	Textura franco arenosa, lo que
Limo	22.4	%	Medio	determina un suelo con buen drenaje.
Arcilla	14	%	Bajo	

Estos análisis iniciales antes de establecer el cultivo se realizar en el laboratorio de suelos ubicado en la Universidad Nacional de Agricultura. Mostrando que el suelo es franco arenoso con buen drenaje y materia orgánica alta. El pH es óptimo, así que los nutrientes están disponibles. El nitrógeno está en nivel medio y alcanza para el arranque, conviene fraccionar la fertilización. El fósforo es medio y se sugiere fosfatado a la siembra. El potasio es adecuado y aporta vigor y tolerancia. En conjunto la fertilidad es favorable, el manejo debe conservar humedad, evitar lixiviación y sostener base biológica con ajustes minerales puntuales.

6.3.1 Análisis de suelo final, después de cosecha

Tabla 5. Analisis de suelo final

Parámetro	Resultado	Unidad	Nivel	Interpretación
Materia orgánica (MO)	4.2	%	Medio Alto	Un suelo fértil, actividad microbiana beneficiosa.
pH	6.26	-	Optimo	Condiciones adecuadas para mayoría de cultivos.
Nitrógeno (N)	0.21	% (ppm)	Medio	Suficiente N para el crecimiento básicos de cultivos.
Fosforo (P)	37.6	(Bray I)	Medio	Disponibilidad de fosforo para desarrollo radicular y energía celular.
Potasio (K)	154.3	(ppm)	Medio - Alto	Suelo con suficiente K para la mayoría de cultivos.
Arena	58.6	%	Alto	Textura franco arenosa, lo que
Limo	24	%	Medio	determina un suelo con buen
Arcilla	18	%	Bajo	drenaje.

El análisis del suelo al inicio mostró que ya se tenía un terreno favorable con buena estructura, buen drenaje, suficiente materia orgánica y un pH cómodo para que el frijol pudiera arrancar sin problemas. Los nutrientes principales estaban en niveles medios, es decir, el suelo no estaba pobre, pero tampoco sobrado por lo que cualquier manejo que ayudara a aprovechar mejor esos nutrientes era clave.

Posteriormente, este último análisis mostró como la materia orgánica aumentó y se observó una mejor disponibilidad de nitrógeno y fósforo, lo que encaja con lo que se espera del bioestimulante al favorecen la fijación biológica de nitrógeno y liberan fósforo que antes estaba amarrado en el suelo. El uso del bioestimulante no solo apoyó al cultivo de frijol durante su crecimiento, sino que dejó el suelo más vivo y fértil, confirmando que son una herramienta que mejora la salud del suelo a la vez que reduce la dependencia exclusiva de fertilizantes químicos.

En consecuencia, al contrastar el diagnóstico del suelo con la respuesta del ensayo se ve claro porque las variables no se separaron estadísticamente, el lote ya arrancaba con una base edáfica funcional el pH en rango estable, materia orgánica aceptable y disponibilidad de nutrientes suficiente. Asimismo, el cultivo no estaba limitado desde el inicio y los tratamientos tienden a comportarse parecidos. En este marco el T7 respondió con más altura por efecto directo de una fuente química rápida disponible.

En cambio, el T3 termino destacando en rendimiento porque parece haber optimizado la eficiencia de uso de nutrientes y el balance de planta-suelo para sostener cuajado y llenado. Además, el exceso de lluvia y la presión de mancha angular al final del ciclo redujeron el potencial productivo y pudieron homogenizar respuestas. Aun así, el T3 muestra que el bioestimulante y en dosis adecuada, puede ser un manejo complementario competitivo cuando el suelo ya tiene buena base.

6.4 Enfermedad causada por hongo denominado mancha angular (*Phaeoisariopsis griseola*).



Figura 10. Hongo llamado mancha angular (*phaoisariopsis griseola*)

La mancha angular apareció cuando el frijol empezaba a llenar el grano, justo cuando más necesita hoja verde para sostener el amarre y alimentar la semilla. Las manchas y la caída de hojas dejaron menos área para fabricar comida, la planta maduró antes y el llenado fue más corto, por eso el rendimiento se vio afectado. El clima húmedo del final del ciclo ayudó al hongo y al haber tanta presión de enfermedad, las diferencias entre tratamientos se parecieron más de lo esperado.

Esta situación explica por qué los tratamientos no se separaron con claridad en la cosecha. Aun así, las dosis probadas sostuvieron el cultivo y evitaron una baja fuerte. Para las próximas siembras conviene revisar el lote temprano, aplicar a tiempo cuando inicien las lluvias, mejorar la ventilación del cultivo con buen espaciamiento, manejar los rastrojos y rotar el terreno. Una nutrición balanceada con buen potasio y una base biológica ayudan a que el cultivo tenga mejor resistencia y que las diferencias entre manejos se noten con más claridad.

6.5 Análisis de rentabilidad parcial

6.5.1 Extractos de algas marinas y sustancias húmicas

Precios: frijol 22 Lps/lb, fertilizante 12-24-12: 810 Lps/qq, Algas marinas 532 Lps/lts, Humic Plus 350 Lps/lts, mano de obra: aplicaciones 4 cada a aplicación 3 personas x 350\$, total: 4,200 Lps/ha.

Tabla 6. Análisis de rentabilidad parcial, relacion B/C

Trat	Costo algas (\$)	Costo Humic (\$)	Mano de obra (L)	Costo total (\$/ha)	Kg/ ha -10%	Kg/ha total	Beneficio obtenido (\$/ha)
T1					1395.14	1255.62	60,772.0
T2	511	840	4,200	5,551	1417.26	1275.54	61,736.1
T3	766	840	4,200	5,806	1696.34	1526.70	73,892.2
T4	1021	840	4,200	6,061	1561.84	1405.65	68,033.4
T5	1277	840	4,200	6,317	1594.44	1434.99	69,453.5
T6	1532	840	4,200	6,572	1477.5	1329.75	64,359.9

En este estudio el costo por hectárea sube cuando aumenta la dosis del extracto de algas. El Humic Plus y la mano de obra se mantienen iguales entre tratamientos. Por eso el margen solo mejora si el rendimiento crece lo suficiente para cubrir ese extra. Con los datos de esta tabla, la mejor relación costo–beneficio la dio la dosis media baja (T3). Sin embargo, las dosis más altas elevan el costo y el ingreso no crece en la misma proporción. Con estas evidencias, la recomendación práctica es usar la dosis media baja y dejar las dosis altas para casos puntuales donde el cultivo muestre respuesta clara.

Posteriormente, al momento de las aplicaciones el productor en 1 tarea que equivale a 15 litros muy cercana de una bomba de 20 litros. Es decir, media manzana son 5.6 tareas, por lo tanto, son 4 bombadas. Una hectárea equivale a 16 tareas serían 12 bombadas. Si se programa 4 aplicaciones, en 1 ha son ~12 bombadas por aplicación, en media manzana es ~ 4 bombadas por aplicación. Por planta en la etapa de emergencia estaría recibiendo 3.7 ml/p, en desarrollo inicial 7.5 ml/p y en floración/llenado 10.4 ml/p. Esta referencia sirve para planear cuadrillas y tiempos sin cambiar los costos que ya se reportan.

6.5.2 Fertilizante granulado químico

Tabla 7. Fertilizante químico, relación B/C

Trat	Cantidad	Costo	Mano de obra	Costo total (L/ha)	Kg/ha – 10 %	Kg/ha total	Beneficio obtenido (L/ha)
T7	2.5 qq	2,025	1,050	3,075	1662.6	1496.3	72,420.9

En el análisis de rentabilidad, el manejo químico 12-24-12 fue el más beneficio por su costo directo más bajo en cuanto al mano de obra que lo hace diferente porque solo se fertiliza una vez y en rendimiento su respuesta en campo fue pareja. El bioestimulante mantuvo su vigor, amarre y llenado de grano con ingreso cercano, su costo tiende a subir cuando se eleva la dosis de extracto. A cambio fortalecen la rizosfera, mejoran la eficiencia de absorción y apoyan la sanidad del sistema suelo y la salud de la planta. Para una ruta sostenible conviene trabajar con base biológica y un arranque mineral focalizado según diagnóstico de suelo y estado fenológico, de modo que se equilibren el rendimiento y salud del suelo.

VII. CONCLUSIONES

El uso de bioestimulante a base de extractos de algas marinas mejora de manera notable el crecimiento y desarrollo vegetativo del frijol Amadeus-77 en comparación con el manejo sin bioestimulación. Su aplicación promueve plantas más vigorosas y con mayor expresión de su potencial agronómico, por lo que se considera una herramienta viable y sostenible dentro de un sistema de producción agroecológico

En relación al rendimiento, aunque en algunas variables no mostró diferencias significativas estadísticamente entre los tratamientos. Sin embargo, el T3 que corresponde a la dosis media baja, presentó el mayor rendimiento y mostró un comportamiento cercano al fertilizante convencional, lo que respalda el uso del bioestimulante como alternativa productiva dentro de un manejo más sostenible.

En cuanto a las propiedades físicas y químicas del suelo, los análisis inicial y final evidenciaron condiciones favorables de fertilidad, buen drenaje y adecuada disponibilidad de nutrientes. Asimismo, después de la cosecha se observaron señales de mejoramiento en la materia orgánica y en algunos nutrientes, lo que confirma el aporte del bioestimulante a la salud del suelo.

VIII. RECOMENDACIONES

Se recomienda incorporar de manera gradual los bioestimulante a base de extractos de algas marinas en el manejo del frijol Amadeus-77, como complemento al fertilizante químico convencional. Su uso, enmarcado en un enfoque agroecológico, puede mejorar el desempeño del cultivo y disminuir la dependencia de insumos sintéticos, por lo que se sugiere ajustarlos siempre a las condiciones locales de suelo y clima.

Asimismo, sugiero que futuras investigaciones y procesos de validación en finca evalúen este bioestimulante en distintos ciclos agrícolas, tipos de suelo y regímenes de precipitación, incorporando de forma sistemática el monitoreo de las propiedades físicas y químicas del suelo y análisis de rentabilidad más estratificados, de manera que se genere evidencia sólida que respalde las decisiones técnicas y económicas de los productores interesados en avanzar hacia sistemas de producción más sostenibles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cardozo, G. R. (2020). Influencia de bioestimulantes sobre características agronómicas de la soja (*Glycine max* (L.) Merrill). O en línea, (sitio web). Consultado 29 de nov. 2024. Disponible en: <https://www.conacyt.gov.py/sites/default/files/Tesis-Guido%20Samudio.pdf>
- Martínez, C. R. (2009). Sistemas de producción agrícola sostenible. *Tecnología en Marcha* (revista científica en línea del Instituto Tecnológico de Costa Rica), 22(2), 23–39. Abril-junio de 2009. Consultado el 29 de noviembre de 2024. Disponible en: https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/114.
- Díaz, Z. A. (2021). ¿Los bioestimulantes son similares a los productos biológicos, que esperamos de su aplicación? O en línea, (sitio web). Consultado 27 de nov. 2024. Disponible en: <https://fertilizar.org.ar/wp-content/uploads/2021/06/07.-DIAZ-ZORITA.-Presentacio%CC%81n.-BioEstimulantes-1.pdf>.
- Domínguez, J. L. (2008). Bioestimulantes: el futuro de una agricultura sostenible. O en línea, (sitio web). Consultado 27 de nov. 2024. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/378181870_Bioestimulantes_el_futuro_d_d_una_agricultura_sostenible.
- FAO. (2019). Agricultura Ecológica: Ventajas y Desventajas. O en línea, (sitio web). Consultado 27 de nov. 2024. Disponible en: <https://fao.agroptima.com/es/blog/agricultura-ecologica-ventajas-desventajas/>.
- Fernández, N. L. (2021). Uso de biofertilizantes como una herramienta para mejorar la producción y calidad de un cultivo intensivo de pimientos. O en línea, (sitio web). Consultado 17 de nov. 2024. Disponible en: <https://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/13780/lupia%c3%91ez%20fernandez,%20noelia.pdf?isallowed=y&sequence=1>.

- García, E. A., & García, M. T. (2019). Efecto de cuatro bioestimulantes foliares en la fisiología y los rendimientos del pimiento (*Capsicum annuum*). *InfoCiencia*, 23(1), pag. 59–70. Disponible en: <https://www.infocienciass.cu/index.php/infociencia/article/view/296>.
- Geelen, D. (2020). Evaluación actual de la eficacia de los bioestimulantes. O en línea, (sitio web). Consultado 17 de nov. 2024. Disponible en: <https://www.biostimulant.com/es/current-assessment-of-the-effectiveness-of-biostimulants/>.
- Beltrán, M. E., & Rodríguez, G. (2022). Biofertilizantes: alternativa biotecnológica para los agroecosistemas. *Mutis*, 12(1), 64–78. consultado el 13 de enero de 2025. Disponible en: <https://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/article/view/1918>.
- Gómez, E. Q. (2018). Efecto de diferentes bioestimulantes en el rendimiento del frijol común. O en línea, (sitio web). Consultado 13 de ene. 2025. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?lng=pt&pid=S025357852018000300073&script=sci_arttext&tlng=es.
- Gonzales, A. (2022). *¿Para que sirve el Extracto de Algas Marinas?* O en línea, (sitio web). Consultado 13 de ene. 2025. Disponible en: <https://www.hortus.com.pe/detalle-noticia/para-que-sirve-el-extracto-de-algas-marinas>.
- Sauvu, J. C. Pérez, L. A. & Rodríguez, Y. (2020). Bioestimulantes en el crecimiento y rendimiento de *Phaseolus vulgaris L.* en condiciones tropicales. *Cultivos Tropicales*, 41(3), e02. Disponible en: https://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362020000300002.
- Chávez, J. E. & Cedeño, G. A. (2019). Eficacia de bioestimulantes sobre el crecimiento inicial de plantas de fréjol común (*Phaseolus vulgaris L.*). *Revista espamciencia* (Sitio web), 10(1), 14–22. Consultado el 17 de noviembre de 2024. Disponible en: https://revistasepam.esпам.edu.ec/index.php/Revista_espamciencia/article/view/184.

- Quintero, R. E. & Enríquez, L. (2018). Efecto de diferentes bioestimulantes en el rendimiento del frijol común. *Centro Agrícola*, 45(3), 73–80. (sitio web). Consultado el 22 de mayo de 2025. Disponible en: <https://biblat.unam.mx/hevila//Centroagricola/2018/vol45/no3/11.pdf>.
- Veobides, A. H, Guridi, I. F. & Vázquez, P. V. (2018). Las sustancias húmicas como bioestimulantes de plantas bajo condiciones de estrés ambiental. *Cultivos Tropicales*, 39(4), 102–109. Consultado el 22 de noviembre de 2024. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362018000400015.
- González, J. O. & Pilco, F. J. (2021). Uso de bioestimulantes en la producción de tomate tipo pera en clima cálido tropical Proyecto especial de graduación, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras. Consultado el 15 de noviembre de 2024. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/d019237d-3c27-4fb4-a8a3-d67d74aa74cf/content>.
- Muñoz, C. L. & Cruz, C. A. (2023). Bioestimulantes: el futuro de una agricultura sostenible. Artículo de divulgación científica, Universidad Veracruzana, 46–51. Consultado el 24 de noviembre de 2024. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/378181870_Bioestimulantes_el_futuro_de_e_una_agricultura_sostenible.
- Lezaun, J. (2024). Factores que afectan la sostenibilidad de la agricultura. *CropLife Latin America* (sitio web). Consultado el 15 de noviembre de 2024. Disponible en: <https://croplifela.org/es/sostenibilidad-y-desarrollo/factores-que-afectan-la-sostenibilidad-de-la-agricultura>
- Ortega, J. Mata, M. & López, G. (2024). Efecto de bioestimulantes sobre el crecimiento y la producción de pepino y melón en invernadero. *Agronomía Costarricense*, 48(2), 159–168. Consultado el 14 de noviembre de 2024. Disponible en: <https://archivo.revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/download/62553/62653/295250>.

- Manvert. (2024). El papel de los bioestimulantes y biofertilizantes en la agricultura regenerativa. O en línea, (sitio web). Consultado 13 de nov. 2024. Disponible en: <https://manvert.com/medios/agricultura-regenerativa-bioestimulantes>.
- Martínez, R. L. (2018). Biofertilización y fertilización química en maíz. O en línea, (sitio web). Consultado 13 de nov. 2024. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6724755.pdf>.
- Chávez, D. & Valencia, E. (2020). Consideraciones sobre el uso de biofertilizantes como alternativa agrobiotecnológica sostenible para la seguridad alimentaria en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* (sitio web), 11(6), 1423–1437. Consultado el 12 de noviembre de 2024. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342020000601423.
- Miramontes, J. A. (2014). el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris L.*). O en línea, (sitio web). Consultado 12 de nov. 2024. Disponible en: <https://agricultura.unison.mx/memorias%20de%20maestros/el%20cultivo%20del%20frijol.pdf>.
- Neave, F. R. (2016). Sustancias Húmicas: Origen, Caracterización Y Uso En La Agricultura. O en línea, (sitio web). Consultado 12 de nov. 2024. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/acidos-humicos-fulvicos-nutricion-vegetal>
- Ordoñez, J. (2025). Tendencias de Mejoramiento de Suelos. O en línea, (sitio web). Consultado 13 de nov. 2024. Disponible en: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/mejoramiento-de-la-salud-del-suelo/es/>
- Pahalvi, H. N. (2024). Contaminación de la industria de fertilizantes y su impacto en la calidad del aire. Chemical fertilizers and their impact on soil health. *Microbiota and Biofertilizers, Vol 2: Ecofriendly Tools for Reclamation of Degraded Soil Environs*. O en línea, (sitio web). Consultado 12 de nov. 2024. Disponible en:

<https://kunakair.com/es/contaminacion-de-la-industria-de-fertilizantes-y-su-impacto-en-la-calidad-del-aire/>.

Pimentel. (2018). Las sustancias húmicas como bioestimulantes de plantas bajo condiciones de estrés ambiental. O en línea, (sitio web). Consultado 13 de nov. 2024. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362018000400015&script=sci_arttext&tlng=pt.

Probelte. (2019). Cómo actúan los biofertilizantes en el suelo y los cultivos. O en línea, (sitio web). Consultado 12 de nov. 2024. Disponible en: <https://probelte.com/es/noticias/como-actuan-los-biofertilizantes-en-el-suelo-y-los-cultivos/>.

Quintero, C. E. (2022). *Bioestimulantes*. O en línea, (sitio web). Consultado 12 de nov. 2024. Disponible en: <https://fertilizar.org.ar/bioestimulantes/>.

Rivera, J. (2018). El mejor biofertilizante Agroecológico profesional que existe, siempre y cuando sigas estos consejos. O en línea, (sitio web). Consultado 12 de nov. 2024. <https://planetagronomico.com/el-mejor-biofertilizante-agroecologico-profesional-que-existe-siempre-y-cuando-sigas-estos-consejos/>.

Rodríguez, L. R. (2023). Impacto económico de la investigación del frijol en la agricultura hondureña. O en línea, (sitio web). Consultado 09 de nov. 2024. Disponible en: <https://revistas.zamorano.edu/index.php/CEIBA/article/view/1284>.

Timothy. (2009). Cambio Climático, El impacto en la agricultura y los costos de adaptación. O en línea, (sitio web). Consultado 09 de nov. 2024. Disponible en: https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/costo%20adaptacion.pdf.

Vera, M. D. (2022). Efecto de bioestimulantes a base de algas marinas en el cultivo de fréjol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp). O en línea, (sitio web). Consultado 09 de nov. 2024. Disponible en:

https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1878/1/TIC_A14D.pdf
[bitstream/42000/1878/1/TIC_A14D.pdf](https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1878/1/TIC_A14D.pdf)

Zambrano, M. L. (2017). Eficiencia de prácticas de manejo del suelo en el cultivo de frijol común en la Finca Agroecológica Zamorano, Honduras. O en línea, (sitio web). Consultado 09 de nov. 2024. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/0a83f974-a4c3-433c-bb15-a04ed3a52ee8/content>

Rojas, D. & Bustamante, W. (2020, febrero). Comparación de la aplicación de ácidos húmicos y algas marinas con diferentes distanciamientos en lechuga (*Lactuca sativa* L.). Revista Caribeña de Ciencias Sociales (Sitio web). Disponible en: <https://www.eumed.net/rev/caribe/2020/02/aplicacion-acidos-humicos.html>.

ANEXOS

Anexo 1: Prueba estadística para la variable altura de la planta de frijol.

Altura

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV
Altura p/cm	28	0.53	0.30	5.97	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	203.48	9	22.61	2.28	0.0651
Bloques	17.24	3	5.75	0.58	0.6357
Tm	186.24	6	31.04	3.13	0.0278
Error	178.33	18	9.91		
Total	381.81	27			

Anexo 2: Prueba estadística para la variable nódulos efectivos por planta

Nódulos/planta

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV
Nodulos/p	28	0.30	0.00	55.93	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	14303.23	9	1589.25	0.86	0.5788
Bloques	1620.58	3	540.19	0.29	0.8316
Tm	12682.65	6	2113.77	1.14	0.3810
Error	33457.02	18	1858.72		
Total	47760.25	27			

Anexo 3: Prueba estadística de la variable vainas por planta

Vainas/planta

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV
Vainas/P	28	0.29	0.00	20.87	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	178.61	9	19.85	0.83	0.5971
Bloques	121.22	3	40.41	1.69	0.2043
Tm	57.39	6	9.57	0.40	0.8689
Error	429.78	18	23.88		
Total	608.39	27			

Anexo 4: Prueba estadística de la variable granos por vaina.

Granos/vaina

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Granos/V	28	0.15	0.00	7.04

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.53	9	0.06	0.34	0.9492
Tm	0.06	6	0.01	0.06	0.9990
Bloques	0.46	3	0.15	0.90	0.4596
Error	3.09	18	0.17		
Total	3.62	27			

Anexo 5: Prueba estadística de la variable peso 100 granos.

Peso 100 granos

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Gramos	28	0.17	0.00	28.23

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	256.79	9	28.53	0.40	0.9166
Bloques	17.47	3	5.82	0.08	0.9687
Tm	239.32	6	39.89	0.56	0.7527
Error	1270.75	18	70.60		
Total	1527.55	27			

Anexo 6: Prueba estadística de la variable Rendimiento(kg/ha)

Rendimiento (kg/ha)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Kg/ha	28	0.25	0.00	25.81

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	887179.33	10	88717.93	0.56	0.8245
Bloques	286611.22	4	71652.81	0.45	0.7700
Tm	600568.11	6	100094.69	0.63	0.7040
Error	2697769.39	17	158692.32		
Total	3584948.72	27			

Anexo 7: Prueba estadística de la variable biomasa aérea.

Biomasa aérea

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
P Verde T/h	28	0.23	0.00	41.64

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	278.00	9	30.89	0.60	0.7796
Bloques	118.12	3	39.37	0.77	0.5273
Tm	159.88	6	26.65	0.52	0.7863
Error	923.84	18	51.32		
Total	1201.84	27			

Anexo 8: Etapas del ciclo del cultivo en el área de estudio



Siembra



Germinación



Desarrollo vegetativo



Floración



Formación de vaina



Cosecha

Anexo 9: Análisis de suelo

