

Aplicación de ceniza vegetal en la morfología y rendimiento del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.)

Application of plant ash on the morphology and yield of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) crop.

Aplicação de cinzas vegetais na morfologia e rendimento da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.).

Menace-Almea, Moisés Arturo
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
mmenace@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-4636-2520>



Marín-Cuevas, Carmen Victoria
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
cmarin@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-8128-9170>



Herrera-Feijoo, Robinson Jasmany
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
rherreraf2@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-3205-2350>



Carranza-Patiño, Mercedes
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
mcarranza@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-0917-0415>



Heredia-Delgado, Jamil Benjamin
Investigador independiente
jamil.heredia2013@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-1208-3873>



 DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v5/n1/404>

Como citar:

Menacé-Almea, M. A., Marín-Cuevas, C. V., Herrera-Feijoo, R. J., Carranza-Patiño, M., & Heredia-Delgado, J. B. (2024). Aplicación de ceniza vegetal en la morfología y rendimiento del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Código Científico Revista De Investigación*, 5(1), 687–709.

Recibido: 14/05/2024

Aceptado: 12/06/2024

Publicado: 30/06/2024

Resumen

El objetivo de este estudio fue investigar los efectos de la aplicación de ceniza vegetal en la morfología y rendimiento del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad EVG-6. El experimento, utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con cinco tratamientos: T1 (500 kg/ha de ceniza vegetal), T2 (750 kg/ha), T3 (1000 kg/ha), T4 (1250 kg/ha) y T5 (control sin tratamiento). Los resultados mostraron que T4, con 1250 kg/ha de ceniza vegetal, incrementó significativamente la altura de las plantas (67.03 cm), el número de vainas por planta (23) y el número de granos por vaina (7), resultando en un rendimiento de 1259.79 kg/ha y una rentabilidad del 50.54%. La ceniza vegetal, rica en nutrientes esenciales, demostró ser una alternativa efectiva y sostenible a los fertilizantes químicos, mejorando las propiedades químicas del suelo, reduciendo el aluminio tóxico y aumentando el pH. En comparación con los tratamientos sin ceniza, los incrementos en los parámetros morfológicos y productivos fueron significativamente mayores. El análisis económico reveló que el uso de ceniza vegetal es rentable, especialmente en pequeñas explotaciones, con una relación beneficio/costo de 1.51 y una rentabilidad del 50.54% para la dosis de 1250 kg/ha. Además, la utilización de ceniza vegetal contribuye a la gestión sostenible de residuos de biomasa, ofreciendo una solución ambientalmente responsable al reducir la dependencia de fertilizantes químicos y sus efectos negativos. Los hallazgos aportan evidencia sólida sobre los beneficios de las enmiendas orgánicas en la agricultura y promueven prácticas agrícolas sostenibles y económicamente viables.

Palabras clave: Eficiencia económica, Macronutrientes, Manejo de residuos, Nutrición del suelo, Producción agrícola.

Abstract

The objective of this study was to investigate the effects of plant ash application on the morphology and yield of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) variety EVG-6. The experiment used a randomized complete block design (RCBD) with five treatments: T1 (500 kg/ha of plant ash), T2 (750 kg/ha), T3 (1000 kg/ha), T4 (1250 kg/ha) and T5 (untreated control). The results showed that T4, with 1250 kg/ha of plant ash, significantly increased plant height (67.03 cm), number of pods per plant (23) and number of grains per pod (7), resulting in a yield of 1259.79 kg/ha and a profitability of 50.54%. Plant ash, rich in essential nutrients, proved to be an effective and sustainable alternative to chemical fertilizers, improving soil chemical properties, reducing toxic aluminum and increasing pH. Compared to treatments without ash, increases in morphological and productive parameters were significantly higher. The economic analysis revealed that the use of plant ash is profitable, especially in small farms, with a benefit/cost ratio of 1.51 and a profitability of 50.54% for the 1250 kg/ha dose. In addition, the use of plant ash contributes to the sustainable management of biomass residues, offering an environmentally responsible solution by reducing the dependence on chemical fertilizers and their negative effects. The findings provide solid evidence on the benefits of organic amendments in agriculture and promote sustainable and economically viable agricultural practices.

Keywords: Economic efficiency, Macronutrients, Residue management, Soil nutrition, Agricultural production.

Resumo

O objetivo deste estudo foi investigar os efeitos da aplicação de cinzas vegetais na morfologia e rendimento do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) variedade EVG-6. A experiência utilizou um esquema de blocos completos aleatórios (RCBD) com cinco tratamentos: T1 (500 kg/ha de

cinzas vegetais), T2 (750 kg/ha), T3 (1000 kg/ha), T4 (1250 kg/ha) e T5 (controlo sem tratamento). Os resultados mostraram que o T4, com 1250 kg/ha de cinzas vegetais, aumentou significativamente a altura da planta (67,03 cm), o número de vagens por planta (23) e o número de grãos por vagem (7), resultando num rendimento de 1259,79 kg/ha e uma rentabilidade de 50,54%. As cinzas vegetais, ricas em nutrientes essenciais, revelaram-se uma alternativa eficaz e sustentável aos fertilizantes químicos, melhorando as propriedades químicas do solo, reduzindo o alumínio tóxico e aumentando o pH. Em comparação com os tratamentos sem cinzas, os aumentos dos parâmetros morfológicos e produtivos foram significativamente mais elevados. A análise económica revelou que a utilização de cinzas vegetais é rentável, especialmente em pequenas explorações, com uma relação benefício/custo de 1,51 e uma rentabilidade de 50,54% para a dose de 1250 kg/ha. Além disso, a utilização de cinzas vegetais contribui para a gestão sustentável dos resíduos de biomassa, oferecendo uma solução ambientalmente responsável ao reduzir a dependência de fertilizantes químicos e os seus efeitos negativos. Os resultados fornecem fortes indícios dos benefícios das alterações orgânicas na agricultura e promovem práticas agrícolas sustentáveis e economicamente viáveis.

Palavras-chave: Eficiência económica, Macronutrientes, Gestão de resíduos, Nutrição do solo, Produção agrícola.

Introducción

El fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) es una leguminosa de notable relevancia a nivel global, desempeñando un papel vital en la alimentación de aproximadamente 300 millones de personas, principalmente en naciones en desarrollo (Ortega Maldonado, 2016). Conocido como "la carne de los pobres", este cultivo es una fuente alimentaria accesible para personas de bajos recursos, especialmente mujeres y niños, impactando significativamente la nutrición y generando ingresos en el sector agrícola, particularmente entre pequeños agricultores (Bermudez Giraldo et al., 2019).

En Ecuador, el fréjol se comercializa principalmente en su forma seca, abarcando aproximadamente 34,469 hectáreas anuales, distribuidas mayormente en las provincias de la Costa (Sipa, 2018). A nivel mundial, la producción de fréjol alcanza las 18,991,954 toneladas, con Brasil, India, México, Myanmar y China como los mayores productores (Ernest et al., 2008). La nutrición adecuada del fréjol es esencial e implica la aplicación precisa de macronutrientes como el nitrógeno, el fósforo y el potasio. Entre estos, el nitrógeno destaca

por su influencia predominante en el desarrollo, rendimiento y calidad del cultivo (Gaviria Hernández & Ordoñez Osorio, 2019) . Sin embargo, su aplicación debe manejarse con prudencia para evitar despilfarros económicos y problemas medioambientales.

En la mayoría de los suelos donde se cultiva fréjol en Ecuador, es necesaria la incorporación de fertilizantes químicos y/o enmiendas orgánicas para optimizar la producción. La estrategia de fertilización debe basarse en análisis de suelo específicos del área (ROBERTO, 2022) . En este contexto, la ceniza de madera emerge como una opción prometedora debido a su contenido significativo de nutrientes esenciales como potasio, fósforo, magnesio y calcio, presentes en formas relativamente solubles (Verdecia Casanova, 2021) .

Diversas investigaciones han demostrado los beneficios de la ceniza vegetal como fertilizante. La ceniza de madera, producto de la quema de residuos vegetales, contiene niveles significativos de nutrientes esenciales y ha sido explorada como una enmienda del suelo en diversos estudios (Pons et al., 2016) . En países como España y Brasil, se han enfocado investigaciones en el uso de ceniza de madera para la mejora de la fertilidad del suelo y el rendimiento de los cultivos (Verdecia, 2021) . La aplicación de ceniza de madera ha demostrado ser eficaz en la mejora de la altura de las plantas, el número de vainas por planta y el rendimiento total de granos (Delgado, 2016). Además, la utilización de ceniza de madera como fertilizante no solo mejora el rendimiento agrícola, sino que también contribuye a la sostenibilidad económica de los pequeños agricultores, reduciendo la dependencia de fertilizantes químicos costosos y promoviendo prácticas agrícolas más sostenibles (Samudio, 2016).

El objetivo de la presente investigación es evaluar los efectos de la aplicación de ceniza vegetal en la morfología y rendimiento del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) en la parroquia Patricia Pilar del cantón Buena Fe, Ecuador. Este estudio busca proporcionar una

alternativa sostenible y económicamente viable para mejorar la producción y rentabilidad del cultivo de fréjol.

Metodología

1. Área de estudio

La investigación se ejecutó en la finca Teresita 2, ubicada en la región de "Patricia Pilar" en el kilómetro 51 de la vía Quevedo – Santo Domingo. Geográficamente, esta área se sitúa en la Longitud Occidental de 79° 24' 41" y la Latitud Sur de 0° 36' 53", a una altitud de 171 metros sobre el nivel del mar, presentando un relieve de naturaleza plana. El sitio de experimentación se enmarca en un entorno climático de carácter tropical húmedo, caracterizado por una temperatura media anual de 24.8°C, una precipitación promedio anual de 2252 mm, una humedad relativa del 84% y una radiación solar de 894.0 horas al año. El suelo en esta localidad muestra una topografía igualmente plana, con una textura franco-limosa, y presenta un pH promedio de 5.5.

2. Diseño del experimento

Se estudiaron cinco tratamientos correspondientes a la aplicación de cenizas en diferentes dosis que se detallan a continuación:

T1: 500 kg ha⁻¹ de cenizas de madera, **T2:** 750 kg ha⁻¹ de cenizas de madera, **T3:** 1000 kg ha⁻¹ de cenizas de madera, **T4:** 1250 kg ha⁻¹ de cenizas de madera, más **T5:** Testigo sin aplicación.

El estudio se llevó a cabo empleando un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con 5 tratamientos y 4 repeticiones. El DBCA es ampliamente reconocido por su capacidad para controlar la variabilidad no relacionada con los tratamientos, lo que mejora la precisión de las comparaciones entre tratamientos (Montgomery, 2019). En este diseño, los bloques homogéneos permiten reducir el error experimental, asegurando que las diferencias observadas

se deban principalmente a los tratamientos aplicados. Las variables de interés fueron sometidas a un análisis de varianza para determinar su significancia estadística. Para comparar las medias entre los distintos tratamientos, se utilizó la prueba de Tukey con un nivel de confianza del 95%. Los datos recopilados se organizaron en hojas de cálculo en Excel y se empleó el software Infostat versión 2019 para llevar a cabo el procesamiento estadístico correspondiente.

3. Preparación del área experimental

El manejo del experimento dependió del desarrollo de todas las labores concernientes para el cultivo de fréjol las cuales se detallan a continuación:

Preparación del suelo

La preparación del suelo se llevó a cabo empleando una técnica de pase de rastra, realizada en ambas direcciones (cruza y recruza). Esta metodología fue adoptada con el propósito de lograr un suelo óptimo para la siembra, con la capacidad de desintegrar los terrones existentes y favorecer una germinación adecuada de las semillas (García et al., 2018).

Siembra y raleo

La siembra se efectuó de manera manual, depositando dos semillas por orificio, y manteniendo una separación de 0.30 metros entre cada planta y 0.50 metros entre las hileras. Posteriormente, se realizó el primer raleo a los 12 días después de la siembra, procediendo a eliminar una de las plantas, y optando por conservar la más robusta y vigorosa (Winck et al., 2015).

Control de malezas

Para el manejo de las malezas, se empleó una aspersora de mochila de la marca CP-3. Las sustancias utilizadas fueron Verdict (Haloxfop – R – metil éster) en una proporción de 1 litro por hectárea, así como Flex (Fomesafen) en una dosis de 1.5 litros por hectárea, aplicadas durante la fase de pos-emergencia. El control químico se mantuvo hasta los 30 días, y posteriormente se complementó con métodos manuales para la erradicación de malezas.

Control fitosanitario

Se aplicó el insecticida no sistémico Deltaclor (Clorpirifos) aproximadamente 25 días después de la siembra, utilizando una dosis de 1.00 litro por hectárea. Esta medida se adoptó con el propósito de contrarrestar el ataque de insectos Lepidópteros y Crisomélidos (mariquitas). La aplicación se realizó de manera generalizada en todos los tratamientos.

Fertilización

La fertilización se implementó mediante la aplicación de cenizas de madera, siguiendo las dosis establecidas en el estudio. La selección de estas dosis se fundamentó en investigaciones previas realizadas por (Pons et al., 2016) quien también empleó cantidades similares de cenizas en su investigación. Las dosis, inicialmente expresadas en toneladas por hectárea, se convirtieron a kilogramos por parcela y se aplicaron en dos etapas a lo largo del desarrollo del cultivo.

Preparación y aplicación de la ceniza

Para la obtención de las cenizas, se emplearon restos de ramas y troncos de madera recolectados en el mismo terreno de la finca. Una vez obtenida la ceniza, se sometió a un proceso de tamizado y homogeneización, con el propósito de facilitar la aplicación según los tratamientos establecidos. La aplicación en cuestión se llevó a cabo alrededor de las plantas y entre las hileras, cuidando que la ceniza se distribuyera de manera uniforme por toda la superficie del suelo en las parcelas.

4. Cosecha

La cosecha se llevó a cabo una vez que el cultivo había alcanzado su etapa fisiológica de madurez de las vainas y estas exhibieron cambios en su coloración. Esta tarea fue realizada de manera manual.

Variables evaluadas

Altura de la planta (cm)

Se llevó a cabo la medición de la altura de las plantas durante la etapa de floración en cada una de las parcelas, utilizando un flexómetro. Se registraron en centímetros las dimensiones desde la base del tallo hasta el ápice del eje central. Para este propósito, se seleccionaron 10 plantas de cada parcela con el propósito de obtener un promedio de los datos recopilados.

Días a la floración

Se llevó a cabo el conteo de días hasta la aparición de flores en cada parcela. Esta variable se registró en el momento en que más del 50% de las plantas de cada parcela útil exhibieron flores.

Número de vainas por planta

Se registró el número de vainas por planta durante la cosecha. Se seleccionaron aleatoriamente 10 plantas de las hileras de la parcela útil y se contabilizó la cantidad de vainas presentes en cada planta. Posteriormente, se calculó el promedio de los valores obtenidos.

Número de granos por vaina

Se realizó el conteo del número de granos por vaina seleccionando al azar 10 plantas de la parcela útil. De cada planta se consideraron aleatoriamente 5 vainas, y se contabilizó la cantidad de granos presentes en cada una de ellas.

Peso de 100 granos (g)

Tras completar la cosecha de cada parcela, se seleccionaron al azar 100 granos y se procedió a medir el peso del fréjol utilizando una balanza. Los valores resultantes se registraron en gramos.

Rendimiento (kg ha⁻¹)

El rendimiento se define como el peso total en kilogramos de los granos cosechados en cada parcela útil, y se expresa en kilogramos por hectárea (kg/ha⁻¹).

5. Análisis económico

Se realizó un análisis económico basado en el rendimiento del fréjol y los costos asociados a los distintos tratamientos, tomando en consideración el precio promedio del mercado (SINGAP) de \$0.90 por kilogramo. Para evaluar la rentabilidad, se calculó la relación Beneficio-Costo mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Relación beneficio/costo} = \text{Ingreso Bruto} / \text{Costo Total}$$

Resultados

Los resultados del estudio muestran los efectos de la aplicación de diferentes dosis de ceniza vegetal en el crecimiento y rendimiento del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.). A continuación, se presentan los datos de crecimiento de plantas, días a la floración, número de vainas, número de granos por vaina y rendimiento total, acompañados de tablas para una mejor visualización.

1. Altura de Planta

La aplicación de ceniza vegetal tuvo un impacto significativo en la altura de las plantas. Los tratamientos con 750 kg/ha, 1000 kg/ha y 1250 kg/ha de ceniza resultaron en plantas más altas en comparación con el control y el tratamiento con 500 kg/ha de ceniza. La mayor altura promedio fue de 67.03 cm con 1250 kg/ha de ceniza.

Tabla 1.

Altura de planta en el cultivo de fréjol (*P. vulgaris* L.)

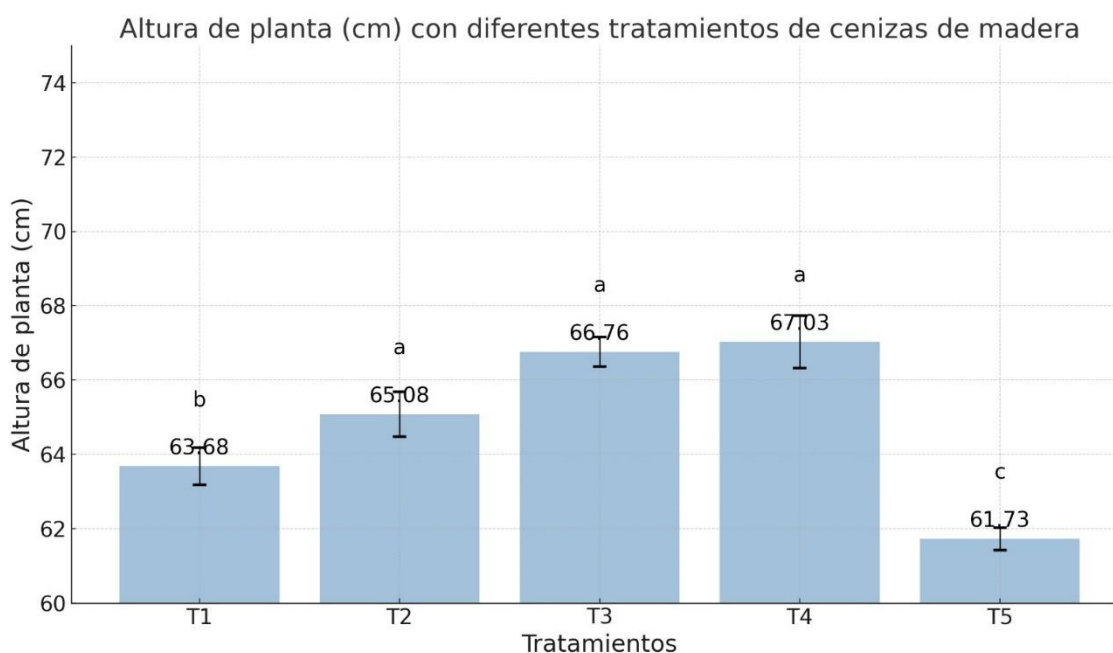
Tratamientos	Altura de planta (cm)
T1. 500 kg ha ⁻¹ de cenizas de madera	63.68 b
T2. 750 kg ha ⁻¹ de cenizas de madera	65.08 a
T3. 1000 kg ha ⁻¹ de cenizas de madera	66.76 a
T4. 1250 kg ha ⁻¹ de cenizas de madera	67.03 a
T5. Testigo sin aplicación	61.73 c
Promedio	64.86
Coefficiente de variación (%)	2.02

Nota: Promedios con letras iguales no difieren estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey al 95 % de probabilidad.

La figura 1 muestra la influencia de diferentes dosis de cenizas de madera en la altura de las plantas. Se observa que las plantas tratadas con 1000 y 1250 kg ha⁻¹ de cenizas de madera alcanzaron alturas significativamente mayores en comparación con los tratamientos con menores dosis y el control sin aplicación de cenizas. Las mayores alturas se encontraron en las plantas tratadas con 1000 y 1250 kg ha⁻¹, sin diferencias significativas entre estas dosis. Las plantas tratadas con 750 kg ha⁻¹ mostraron una altura intermedia, mientras que las tratadas con 500 kg ha⁻¹ y el control sin aplicación de cenizas presentaron las menores alturas. Estos resultados indican que la adición de cenizas de madera en dosis adecuadas puede incrementar significativamente la altura de las plantas, siendo más eficiente en el rango de 1000 a 1250 kg ha⁻¹. La baja variabilidad observada dentro de los tratamientos sugiere una consistencia en los efectos de las diferentes dosis de cenizas de madera.

Figura 1.

Altura de planta en centímetros con diferentes tratamientos de cenizas de madera.



Nota: Autores (20204)

2. Días a la floración

Los promedios observados muestran que los tratamientos uno, tres, cuatro y cinco presentaron valores similares en cuanto a los días hasta la floración, todos con un promedio de 34.00 días. La única excepción fue el tratamiento dos, que consistió en la aplicación de 750 kg ha⁻¹ de ceniza vegetal, el cual registró el menor promedio de días hasta la floración, con 33.00 días.

Tabla 2.

Días a la floración en el cultivo de fréjol (*P. vulgaris* L.)

Tratamientos	Días a la floración
T1. 500 kg ha ⁻¹ de cenizas de madera	34.00 a
T2. 750 kg ha ⁻¹ de cenizas de madera	33.00 a
T3. 1000 kg ha ⁻¹ de cenizas de madera	34.00 a

T4. 1250 kg ha ⁻¹ de cenizas de madera	34.00	a
T5. Testigo sin aplicación	34.00	a

Promedio	34.00
----------	-------

Coeficiente de variación (%)	2.14
------------------------------	------

Nota: Promedios con letras iguales no difieren estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey al 95 % de probabilidad

3. Número de granos por vaina

El número de vainas por planta también mostró una mejora notable con el aumento de la dosis de ceniza. El tratamiento con 1250 kg/ha produjo el mayor número de vainas por planta, con un promedio de 23 vainas, superando significativamente a los demás tratamientos.

Tabla 3.

*Número de granos por vaina en el cultivo de fréjol (*P. vulgaris* L.)*

Tratamientos	Número de granos por vaina
T1. 500 kg ha ⁻¹ de cenizas de madera	6.00 ab
T2. 750 kg ha ⁻¹ de cenizas de madera	6.00 ab
T3. 1000 kg ha ⁻¹ de cenizas de madera	7.00 a
T4. 1250 kg ha ⁻¹ de cenizas de madera	7.00 a
T5. Testigo sin aplicación	5.00 b
Promedio	6.00
Coeficiente de variación (%)	8.55

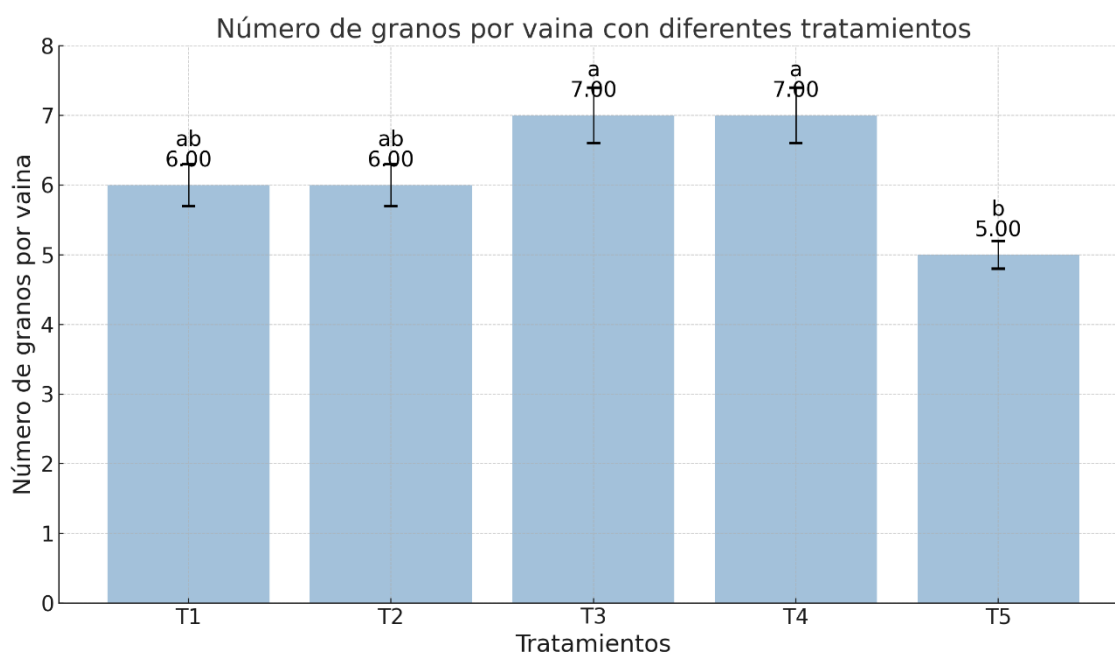
Nota: Promedios con letras iguales no difieren estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey al 95 % de probabilidad

La figura 2 muestra el efecto de diferentes tratamientos (T1 a T5) sobre el número de granos por vaina. Los tratamientos T3 y T4, con promedios de 7 granos por vaina y la letra "a",

son los más efectivos, significativamente mejores que los demás. T1 y T2, ambos con 6 granos y la letra "ab", no muestran diferencia significativa entre ellos, pero son menos efectivos que T3 y T4. T5, con 5 granos y la letra "b", es el menos efectivo. Las barras de error indican una variabilidad aceptable, reforzando la consistencia de los resultados. En conclusión, los tratamientos T3 y T4 son recomendados para maximizar el número de granos por vaina debido a su mayor efectividad y consistencia.

Figura 2.

Número de granos por vaina.



Nota: Autores 2024

4. Número de vainas por planta

El número de vainas por planta también mostró una mejora notable con el aumento de la dosis de ceniza. El tratamiento con 1250 kg/ha produjo el mayor número de vainas por planta, con un promedio de 23 vainas, superando significativamente a los demás tratamientos (Tabla 4).

Tabla 4.*Número de vainas por planta en el cultivo de fréjol (P. vulgaris L.)*

Tratamientos	Número de vainas por planta
T1. 500 kg ha ⁻¹ de cenizas de madera	17.00 b
T2. 750 kg ha ⁻¹ de cenizas de madera	17.00 b
T3. 1000 kg ha ⁻¹ de cenizas de madera	19.00 b
T4. 1250 kg ha ⁻¹ de cenizas de madera	23.00 a
T5. Testigo sin aplicación	14.00 c
Promedio	18.00
Coefficiente de variación (%)	10.59

Nota: Promedios con letras iguales no difieren estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey al 95 % de probabilidad

5. Peso de 100 granos (g)

En lo que respecta al peso de 100 granos, la aplicación de 1250 kg ha⁻¹ de cenizas de madera se reflejó como el tratamiento con el mayor promedio, registrando 35.14 g. Por otro lado, los demás tratamientos obtuvieron promedios más bajos, y entre ellos, el tratamiento tres alcanzó el promedio más bajo, con un peso de 33.02g (Tabla 5).

Tabla 5.*Peso de 100 granos (g) en el cultivo de fréjol (P. vulgaris L.)*

Tratamientos	Peso de 100 granos (g)
T1. 500 kg ha ⁻¹ de cenizas de madera	32.96 a
T2. 750 kg ha ⁻¹ de cenizas de madera	34.84 a
T3. 1000 kg ha ⁻¹ de cenizas de madera	33.02 a
T4. 1250 kg ha ⁻¹ de cenizas de madera	35.14 a
T5. Testigo sin aplicación	33.20 a

Promedio	33.83
Coefficiente de variación (%)	4.54

Nota: Promedios con letras iguales no difieren estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey al 95 % de probabilidad

6. Rendimiento del grano en kg ha⁻¹

El rendimiento total del cultivo mostró un aumento proporcional a la dosis de ceniza aplicada. El tratamiento con 1250 kg/ha de ceniza alcanzó el mayor rendimiento con 1259.79 kg/ha, seguido por los tratamientos con 1000 kg/ha y 750 kg/ha de ceniza. El tratamiento de control presentó el menor rendimiento (Tabla 6).

Tabla 6.

Rendimiento (kg ha⁻¹) en el cultivo de fréjol (P. vulgaris L.)

Tratamientos	Rendimiento (kg ha ⁻¹)
T1. 500 kg ha ⁻¹ de cenizas de madera	946.23 a
T2. 750 kg ha ⁻¹ de cenizas de madera	1038.87 a
T3. 1000 kg ha ⁻¹ de cenizas de madera	1164.23 a
T4. 1250 kg ha ⁻¹ de cenizas de madera	1259.79 a
T5. Testigo sin aplicación	734.45 a
Promedio	1028.71
Coefficiente de variación (%)	12.37

Nota: Promedios con letras iguales no difieren estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey al 95 % de probabilidad

7. Análisis Económico

El análisis económico de la aplicación de ceniza vegetal en el cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) es crucial para determinar la viabilidad y rentabilidad de esta práctica en comparación con métodos de fertilización convencionales. A continuación, se detallan los componentes clave del análisis económico basado en los datos obtenidos.

Componentes del Análisis Económico

Rendimiento y Costos:

El rendimiento se define como el peso total en kilogramos de los granos cosechados por hectárea.

Los costos incluyen costos fijos, variables y específicos del tratamiento con ceniza.

Ingresos Brutos y Netos:

Ingreso Bruto: Calculado multiplicando el rendimiento (kg/ha) por el precio de mercado (\$0.90/kg).

Costo Total: Suma de costos fijos (\$290/ha), costos variables y costos de tratamiento.

Ingreso Neto: Diferencia entre el ingreso bruto y el costo total.

Relación Beneficio/Costo (B/C):

Calculada como la razón entre el ingreso bruto y el costo total.

Indicador de la rentabilidad de la inversión; una relación mayor a 1 indica rentabilidad positiva.

Resultados del Análisis Económico

A continuación, se presentan los resultados del análisis económico para cada tratamiento:

Tabla 7.

Análisis Económico del rendimiento del grano de fréjol, en los efectos de la aplicación de ceniza vegetal en la morfología y rendimiento del cultivo de fréjol, 2019.

Tratamientos	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Ingreso bruto (\$)	Costo de tratamiento (\$)	Costo variable (\$)	Costo total (\$)	Ingreso neto (\$)	B/C	Rentabilidad (%)
T1. 500 kg ha ⁻¹ de cenizas de madera	946.23	851.61	96.00	208.17	594.17	257.44	1.43	43.33
T2. 750 kg ha ⁻¹ de cenizas de madera	1038.87	934.98	126.00	228.55	644.55	290.43	1.45	45.06

T3. 1000 kg ha- 1 de cenizas de madera	1164.23	1047.81	156.00	256.13	702.13	345.68	1.49	49.23
T4. 1250 kg ha- 1 de cenizas de madera	1259.79	1133.81	186.00	277.15	753.15	380.66	1.51	50.54
T5. Testigo sin aplicación	734.45	661.01	36.00	161.58	487.58	173.43	1.36	35.57

Nota: Precio de venta: \$ 0.90 / kg

Costo jornal: \$ 12.00 / kg

Costo de la ceniza: \$ 0.12/kg

Cosecha + Transporte: \$ 0.22 / kg

Costo fijo: \$ 290.00 / kg

8. Rentabilidad

El tratamiento con 1250 kg/ha de ceniza vegetal (T4) mostró la mayor rentabilidad con una relación B/C de 1.51, indicando que, por cada dólar invertido, se obtiene una utilidad de \$0.51.

El tratamiento de control sin aplicación (T5) presentó la menor rentabilidad con una relación B/C de 1.36.

Ingresos y Costos

El mayor ingreso bruto se observó en el tratamiento con 1250 kg/ha de ceniza vegetal, debido al mayor rendimiento en kg/ha.

Los costos de tratamiento y variables aumentaron proporcionalmente con la dosis de ceniza aplicada, pero los ingresos netos también aumentaron, justificando la inversión adicional.

Comparación con Fertilizantes Convencionales

La ceniza vegetal es una alternativa económica y sostenible, ofreciendo beneficios no solo en términos de rendimiento y rentabilidad, sino también en la reducción de costos asociados a fertilizantes químicos.

La aplicación de 1250 kg/ha de ceniza vegetal se destaca como la estrategia más rentable para el cultivo de fréjol, proporcionando un balance óptimo entre rendimiento y costos. Estos hallazgos respaldan la viabilidad económica de la ceniza vegetal como fertilizante alternativo, promoviendo prácticas agrícolas sostenibles y económicamente beneficiosas.

Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio confirman la eficacia de la aplicación de ceniza vegetal como enmienda para mejorar la morfología y el rendimiento del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.). A continuación, se discuten los hallazgos clave en relación con estudios previos y se destaca la relevancia de estos resultados para la práctica agrícola sostenible.

1. Efectos en la Morfología de las Plantas

La aplicación de ceniza vegetal a dosis de 1250 kg/ha resultó en un incremento significativo en la altura de las plantas, alcanzando una media de 67.03 cm. Estos resultados coinciden con los reportados por Solla-Gullón et al. (2001), quienes observaron mejoras en la altura de avena cultivada en suelos tratados con ceniza, debido a la reducción de aluminio tóxico y la mejora de las propiedades químicas del suelo (Solla-Gullón et al., 2001). Este hallazgo es particularmente relevante en suelos ácidos, donde la ceniza puede actuar como correctivo efectivo.

2. Número de Vainas por Planta y Granos por Vaina

El incremento en el número de vainas por planta y de granos por vaina en tratamientos con 1250 kg/ha de ceniza se alinea con los hallazgos de Rivera Rengifo (n.d.), quien también reportó mejoras significativas en estos parámetros al utilizar ceniza de madera en cultivos (Rivera Rengifo, n.d.). La disponibilidad inmediata de nutrientes como potasio y fósforo en la

ceniza vegetal puede explicar estos incrementos, promoviendo un mejor desarrollo agronómico y un aumento en la producción de biomasa (Samudio Cardozo, 2016).

3. Rendimiento y Rentabilidad

El rendimiento total del cultivo alcanzó su punto máximo con la aplicación de 1250 kg/ha de ceniza, resultando en 1259.79 kg/ha. Este incremento significativo en el rendimiento es comparable con los resultados obtenidos por Lora y Téllez (2004), quienes observaron mejoras en la producción de maíz asociado con fréjol al aplicar cenizas junto con fertilizantes nitrogenados (Lora & Téllez, 2004). Además, el análisis económico demostró una alta rentabilidad, con una relación beneficio/costo de 1.51, sugiriendo que la inversión en ceniza vegetal es económicamente viable y beneficiosa para los agricultores.

4. Comparación con Fertilizantes Convencionales

La ceniza vegetal no solo mejora el rendimiento y la rentabilidad, sino que también ofrece una alternativa sostenible a los fertilizantes químicos convencionales. Según Verdecia Casanova (2021), las cenizas contienen nutrientes esenciales en formas solubles, lo que las hace una opción prometedora para la fertilización de cultivos en diversos contextos agrícolas (Verdecia Casanova, 2021). Esta investigación refuerza la idea de que las cenizas vegetales pueden utilizarse eficazmente para mejorar la fertilidad del suelo y reducir los costos de producción agrícola.

Conclusión

El presente estudio ha demostrado que la aplicación de ceniza vegetal es una estrategia eficaz para mejorar la morfología y el rendimiento del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.). Los resultados obtenidos indican que una dosis de 1250 kg/ha de ceniza vegetal produce los mejores resultados en términos de altura de planta, número de vainas por planta, número de

granos por vaina y rendimiento total del cultivo. Además, el análisis económico revela que este tratamiento es altamente rentable, con una relación beneficio/costo de 1.51.

La aplicación de ceniza vegetal aumentó significativamente la altura de las plantas, alcanzando una media de 67.03 cm con la dosis más alta. Estos resultados corroboran estudios previos que indican que la ceniza vegetal mejora las propiedades químicas del suelo y promueve el crecimiento de las plantas. Adicionalmente, el tratamiento con 1250 kg/ha de ceniza vegetal resultó en un mayor número de vainas por planta (23 vainas) y granos por vaina (7 granos), con un rendimiento total significativamente mayor, alcanzando 1259.79 kg/ha.

El análisis económico mostró que el tratamiento con 1250 kg/ha de ceniza vegetal es rentable, ofreciendo una alta relación beneficio/costo y una rentabilidad del 50.54%. Este hallazgo es crucial para los pequeños agricultores que buscan alternativas sostenibles y económicas a los fertilizantes químicos. Además, el uso de ceniza vegetal no solo mejora la productividad agrícola, sino que también ofrece una solución para la gestión de residuos de biomasa, reduciendo la dependencia de fertilizantes químicos y su impacto ambiental.

Basado en los hallazgos, se recomienda la aplicación de 1250 kg/ha de ceniza vegetal para maximizar la productividad y la rentabilidad del cultivo de fréjol en condiciones similares a las del estudio. Además, se sugiere continuar investigando el uso de ceniza vegetal en otros cultivos y en diferentes condiciones edafoclimáticas para generalizar estos resultados y promover prácticas agrícolas sostenibles.

La aplicación de ceniza vegetal se presenta como una alternativa viable y sostenible para la fertilización de cultivos, contribuyendo a la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental. Este estudio aporta evidencia sólida sobre los beneficios de esta práctica, ofreciendo una opción económicamente viable y ambientalmente responsable para los agricultores.

Referencias bibliográficas

- Bermudez Giraldo, N., Velásquez Rivera, K. J., & Flórez Torres, M. (2019). *Aproximación al perfil socioeconómico del municipio de la Celia (Risaralda)*.
- Correa-Salgado, M. de L., Herrera-Feijoo, R. J., Ruiz-Sánchez, C. I., & Guamán-Rivera, S. A. (2024). *Fundamentos de Bioquímica Vegetal*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.68>
- Chicaiza-Ortiz, C. D., Rivadeneira-Arias, V. del C., Herrera-Feijoo, R. J., & Andrade, J. C. (2023). *Biología Ambiental, Aplicaciones y Tendencias*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.25>
- Chicaiza-Ortiz, C. D., Rivadeneira-Arias, V. del C., Herrera-Feijoo, R. J., & Andrade, J. C. (2023). *Guía de Biología Ambiental*. In *Biología Ambiental, Aplicaciones y Tendencias* (pp. 6–71). Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.cl.2022.16>
- Chicaiza-Ortiz, C. D., Rivadeneira-Arias, V. del C., Herrera-Feijoo, R. J., & Andrade, J. C. (2023). *Prácticas de laboratorio y cuestionario sobre biología ambiental*. In *Biología Ambiental, Aplicaciones y Tendencias* (pp. 92–117). Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.cl.2022.18>
- Delgado, A. (2016). *Proyecto de Investigación. Procesos Urbanos y Sociales Del Hábitat-Alternativas Para Proyectos de Vivienda Social*.
- Ernest, E. G., Falconí-Castillo, E., Peralta-Idrovo, E., & Kelly, J. (2008). Encuesta a productores para orientar el fitomejoramiento de frijol en Ecuador. *Agronomía Mesoamericana*, 19(1), 7–18.
- García, D. Y., Cárdenas, J. F., & Parra, A. S. (2018). Evaluación de sistemas de labranza sobre propiedades físico-químicas y microbiológicas en un Inceptisol. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1), 16–25.
- Gaviria Hernandez, Y. A., & Ordoñez Osorio, J. A. (2019). *Evaluación de cuatro niveles de macronutrientes (NPK) en la producción de dos variedades nuevas de frijol (Phaseolus vulgaris L) en dos ambientes diferentes de cultivo del Departamento de Risarald*
- Guamán-Rivera, S. A., Herrera-Feijoo, R. J., Paredes-Peralta, A. V., Ruiz-Sánchez, C. I., Bonilla-Morejón, D. M., Samaniego-Quiguiri, D. P., Paredes-Fierro, E. J., Fernández-Vélez, C. V., Almeida-Blacio, J. H., & Rivadeneira-Moreira, J. C. (2023). *Sinergia Científica: Integrando las Ciencias desde una Perspectiva Multidisciplinaria*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.33>
- Guamán-Rivera, S. A., Herrera-Feijoo, R. J., Paredes-Peralta, A. V., & Ruiz-Sánchez, C. I. (2023). *Respuestas productivas de cuyes (Cavia porcellus) a la suplementación con harina de amaranto (Amaranthus caudatus) y curcuma (Curcuma longa): Un enfoque innovador para la cuyicultura sostenible*. In *Sinergia Científica: Integrando las Ciencias desde una Perspectiva Multidisciplinaria* (pp. 1–14). Editorial Grupo AEA.

<https://doi.org/10.55813/egaea.cl.2022.20>

Herrera-Feijoo, R. J. (2024). Principales amenazas e iniciativas de conservación de la biodiversidad en Ecuador. *Journal of Economic and Social Science Research*, 4(1), 33–56. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n1/85>

Herrera-Feijoo, R. J., Chicaiza-Ortiz, C. D., Rivadeneira-Arias, V. del C., & Andrade, J. C. (2023). Análisis bibliométrico como una herramienta en la biotecnología ambiental. In *Biotecnología Ambiental, Aplicaciones y Tendencias*. <https://doi.org/10.55813/egaea.cl.2022.17>

Herrera-Feijoo, R. J., Chicaiza-Ortiz, C. D., Rivadeneira-Arias, V. del C., & Andrade, J. C. (2023). Análisis bibliométrico como una herramienta en la biotecnología ambiental. In *Biotecnología Ambiental, Aplicaciones y Tendencias* (pp. 72–91). Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.cl.2022.17>

Montgomery, D. C. (2019). *Introduction to statistical quality control*. John Wiley & sons

Ortega Maldonado, K. A. (2016). Identificación de proteínas involucradas en estrés biótico y abiótico en variedades comerciales del fréjol común (*Phaseolus vulgaris*) de Ecuador. Universidad de Guayaquil. Pérez Inuma, A. (n.d.). *Dosis de ceniza de panadería y su efecto en las características agronómicas del pasto Leucaena leucocephala cultivar "Cunningham" en Zungarococha-San Juan Bautista-Perú*.

Pons, S., dos Santos Dias, V., Iochims, D. A., Vieira, F. C., & Weber, M. (2016). Potencial do uso de cinza como corretivo e fertilizante em Neossolo Quartzarênico. *Anais Do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão*, 8(2).

Rivera Rengifo, G. N. (n.d.). *Dosis de ceniza de madera en las características agronómicas y rendimiento de Lycopersicum esculentum Mill." tomate" var." Río Grande", en Zungarococha-Loreto-2017*.

Roberto, S. M. K. (2022). Evaluación de la fertilización química en la producción del fréjol (*Phaseolus vulgaris*) Milagro-Guayas. Universidad Agraria del Ecuador.

Ruiz-Sánchez, C. I., Herrera-Feijoo, R. J., Correa-Salgado, M. de L., & Hidalgo-Hugo, L. D. (2023). Principios Básicos de Bioquímica para Agroecología. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.23>

Ruiz-Sanchez, C. I., Herrera-Feijoo, R. J., Guamán-Rivera, S. A., & Fernández-Vélez, C. V. (2023). Enfoque innovador en el diseño de revestimientos para cunetas: material compuesto de polímeros reciclados. In *Sinergia Científica: Integrando las Ciencias desde una Perspectiva Multidisciplinaria* (pp. 49–66). Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.cl.2022.22>

Samudio Cardozo, G. R. (2016). *Fertilización potásica, con enmienda orgánica e inorgánica en mandioca (Manihot esculenta Crantz)*.

Shunta Santiak, E. (n.d.). *Influencia de las dosis de ceniza de madera, en las características*

agronómicas y rendimiento de *Solanum melongena* L. “berenjena”, Zungarococha-Loreto. 2019.

SIPA, M. (2018). *Sistema de Información Pública Agropecuaria*.

Solla-Gullón, F., Rodríguez-Soalleiro, R., & Merino, A. (2001). Evaluación del aporte de cenizas de madera como fertilizante de un suelo ácido mediante un ensayo en laboratorio. *Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg*, 16(3), 379–393.

Verdecia Casanova, M. V. (2021). *Potencial fertilizante de las cenizas de bagazo de caña de azúcar de las industrias azucareras de la provincia Granma*.

Winck, R. Á., Fassola, H. E., & Área, M. C. (2015). Efecto del raleo sobre las propiedades anatómicas de la madera de *Pinus taeda*. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 17(2), 391–406.