

EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN ORGÁNICA SOBRE VARIABLES AGRONÓMICAS DEL FRIJOL NEGRO (*Phaseolus vulgaris* L.) EN LA ZONA EL CERCADO, PROVINCIA DUARTE, REPÚBLICA DOMINICANA

Effect of organic fertilization on agronomic variables of black beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in El Cercado area, Duarte province, Dominican Republic

Pedro Antonio Núñez Ramos¹, Víctor de la Cruz Contreras², José Francisco de la Cruz Rodríguez³, Ismael Valerio Then⁴, Isidro Almonte⁵, Víctor Camilo Pulido-Blanco⁶

RESUMEN

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es ampliamente sembrado en la República Dominicana y constituye una de las principales fuentes de proteína vegetal y calorías consumida por la población. No obstante, en el país se desconocen los efectos de la aplicación de compost al suelo sobre las variables agronómicas del frijol. De marzo a junio del 2015, se evaluó este efecto en frijol en la zona El Cercado, provincia Duarte, República Dominicana utilizando un diseño experimental de bloques completos al azar con siete tratamientos: 0, 1 500, 3 000, 4 500, 6 000, 7 500 y 9 000 kg ha⁻¹ de compost, con cuatro repeticiones por tratamiento, sobre la variedad de frijol DPC-40. Las variables evaluadas fueron rendimiento de granos, altura de la planta, peso seco de follaje, peso seco de raíces, número de vainas por planta, número de granos por vaina, relación costo beneficio, y análisis de componentes de follaje y raíces. Los datos fueron sometidos a análisis de varianza y análisis de regresión lineal. Se obtuvieron altas significancias para las variables rendimiento, altura de planta y número de granos por vaina, mientras que las otras variables no fueron significativas. El análisis de componentes de follaje y raíces para metales pesados (Ni y Cr) no presentó niveles altos. Así, la aplicación de compost tiene un efecto lineal positivo sobre el rendimiento, la altura de la planta y el número de granos por vaina, y no tiene efecto sobre el peso del follaje, el peso de las raíces y el número de vainas por planta. Además, se halló que la aplicación de compost al suelo tiene una tasa de retorno de 84.18 DOP por cada DOP invertido, por lo que se recomienda su aplicación.

Palabras clave: compost, habichuela, regresión lineal, rendimiento.

ABSTRACT

Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) are widely planted in the Dominican Republic and constitute one of the main sources of vegetable protein and calories consumed by the population. However, in the country the effects of applying compost to the soil on the agronomic variables of the beans are unknown. From March to June 2015, this effect was evaluated in bean in El Cercado area, Duarte province, Dominican Republic using a randomized complete block experimental design with seven treatments: 0, 1 500, 3 000, 4 500, 6 000, 7 500 and 9 000 kg ha⁻¹ of compost with four repetitions per treatment, on the of beans DPC-40 variety. The variables evaluated were grain yield, silver height, dry weight of foliage, dry weight of roots, number of pods per plant, number of grains per pod, cost-benefit ratio, and analysis of foliage and root components. The data was subjected to analysis of variance and linear regression analysis. High significance was obtained for the variables yield, plant height and number of grains per pod, while the other variables were not significant. The analysis of foliage and root components for heavy metals (Ni and Cr) did not present high levels. Thus, the application of compost has a positive correlative effect on yield, plant height and the number of grains per pod, and has no effect on foliage weight, root weight and number of pods per plant. In addition, it was found that the application of compost to the soil has a return rate of 84.18 DOP for each DOP invested, so its application is recommended.

Keywords: bean, compost, linear regression, yield.

¹ ✉ Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinarias, Universidad Autónoma de Santo Domingo, docente e investigador. Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, investigador, República Dominicana. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7580-7931>. pnunez25@uasd.edu.do

² Ingeniero agrónomo, Universidad Autónoma de Santo Domingo, Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinarias, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, República Dominicana. delacruzcontrerasvictor@gmail.com

³ Ingeniero agrónomo, Universidad Autónoma de Santo Domingo, Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinarias, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 1010franciscodelacruz@gmail.com

⁴ Ingeniero agrónomo, Universidad Autónoma de Santo Domingo, Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinarias, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, República Dominicana. ismaelvaleriothen@gmail.com

⁵ Investigador, Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, República Dominicana. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0672-7310>. ialmonte1531@gmail.com

⁶ Investigador máster, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1217-6877>. vpulido@agrosavia.co

INTRODUCCIÓN

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) se originó y domesticó en América Latina con dos orígenes geográficos (Mesoamérica y los Andes) derivado de un ancestro común que data de más de 10 000 años de antigüedad (Brawn, 2006). En ese sentido, el aumento de la población demanda más alimentos, ejerce presión en los recursos naturales que conduce a la ampliación de áreas agrícolas vinculado a prácticas agrícolas intensivas en la agricultura convencional, las que han provocado degradación en los suelos por exceso de uso de fertilizante sintético, ha modificado paulatinamente la fertilidad de los suelos provocando alteraciones ecológicas (Alemán y Calero, 2022). En República Dominicana, existe alto consumo de frijol con menos de 10 kg (MA, 2020), lo que evidencia una demanda importante para la alimentación de la población. La utilización de abonos orgánicos es una alternativa económica y eficiente por recuperar la materia orgánica en los suelos degradados (Moraga y Meza, 2005). El uso de fertilizantes sintéticos desarrolla el ciclo de nutrientes, afectando las propiedades físicas del suelo; mientras que el manejo de fertilizantes orgánicos mejora la calidad del suelo y suministran nutrientes a la planta (Mejía, 2016), pero la liberación es mucho más lenta en comparación con los sintéticos, razón por la que muchos agricultores no lo utilizan, mientras que los fertilizantes biológicos ayudan a la planta a propagar su sistema radical y, por ende, hacer un mayor y mejor aprovechamiento de los nutrientes del suelo (Alemán y Calero, 2022).

El frijol es una de las especies vegetales más consumidas por el ser humano, sobre todo en el nuevo continente, con altos valores proteicos (20 a 30 %) y de fácil acceso económico (Mederos, 2006). En República Dominicana es ampliamente sembrado y constituye una de las principales fuentes de proteína vegetal consumida por la mayoría de los dominicanos, y especialmente por los estratos de la población con menos posibilidades económicas (MA, 2020). Actualmente se siembran en el país 47 137 ha, siendo la provincia de San Juan, de mayor producción aportando un 52 % del total producido (MA, 2020).

La producción de frijol genera alrededor de unos 30 mil empleos, tanto directos como indirectos (Muñoz-Márquez et al., 2022; Ortiz et al., 2022). El consumo de leguminosas en la República Dominicana es de alrededor de 3 a 10 kg per cápita al año. Este consumo es principalmente de frijol rojo, seguido de guandules,

y en menor cantidad de frijol negro y blanco. El consumidor dominicano promedio consume leguminosas diariamente. Es poco frecuente que el dominicano consuma arroz sin acompañarlo de algún tipo de leguminosa (MA, 2020).

Los suelos agrícolas están presentando desequilibrios en la concentración de nutrientes por el uso excesivo de fertilizantes de síntesis química (García et al., 2014). Ante esta situación los fertilizantes orgánicos se sitúan como una alternativa más sostenible para la producción agrícola, destacando las prácticas de manejo de residuos orgánicos y su compostaje (García et al., 2014).

El suministro de nutrientes esenciales por medio de la fertilización de los cultivos afecta su crecimiento y desarrollo (Yoldas y Esikoy, 2007). Esto implica un efecto positivo de los fertilizantes en los rendimientos y en el aumento del volumen y diámetro de los órganos de la planta tales como tallo, semilla, vainas, y del número de granos, ramas, que impactan en el peso y la calidad (Elhefnawy et al., 2011).

Para el caso de República Dominicana, no se han documentado los efectos de la aplicación de compost al suelo sobre las variables agronómicas del cultivo de frijol. Conforme a esto, se evaluó el efecto de la aplicación de compost a distintas concentraciones sobre las variables agronómicas de frijol negro en la zona El Cercado, provincia Duarte, sobre la variedad de frijol DPC-40, en el 2015.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de la zona de estudio

La investigación se desarrolló en la finca Juan María de la Cruz, El Cercado, Distrito La Peña, San Francisco de Macorís, provincia Duarte, República Dominicana, entre los 19° 18' 00" N y 70° 15' 00" O. Se usó una parcela de aproximadamente 2 000 m², con estación ligeramente seca en tres de los cuatro trimestres del año. Temperatura media anual de 26 °C, una humedad relativa del 80 %, y pluviometría promedio de 2 400 mm (IDIAF, 2012).

Metodología

Variedad de frijol

Se utilizó la variedad de frijol negro DPC-40, desarrollada por el Instituto Dominicano de

Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF), en cooperación con las universidades de Puerto Rico (UPR) y Nebraska (UNL), para mantener la estabilidad en la producción local al reducir las pérdidas millonarias en la producción causadas por Begomovirus y Potyvirus tales como: Virus del Mosaico Dorado Amarillo del Frijol (VMDAF), Virus del Mosaico Común del Frijol (VMCF) y el Virus del Mosaico Necrótico Común del Frijol (VMNCF), de acuerdo al IDIAF (2012).

Las características de la variedad son: hábito de crecimiento arbustivo, con guía corta (sin flores), altura de planta de 65 a 70 cm, días a floración de 37 a 40 días, color de flor morado, 70 días a madurez fisiológica, 80 a 90 días a cosecha, 28 a 32 vainas por planta, 6 a 7 granos por vaina y de 18 a 22 g por grano. Según IDIAF (2012), la producción promedio bajo condiciones mínimas de tecnología es de 1 500 a 1 800 kg ha⁻¹. El promedio de producción bajo las condiciones del Valle de San Juan es de 2 500 a 3 400 kg ha⁻¹. La producción bajo riego por goteo y fertilización adecuada es de 3 500 a 4 000 kg ha⁻¹. La DPC-40 IDIAF tiene altos niveles de resistencia a estos tres virus que son transmitidos por insectos chupadores (mosca blanca y áfidos) por lo que la siembra de esta variedad en zonas de alto riesgo, en lugar de otras variedades negras, disminuye la

necesidad de insecticidas, lo que favorece el medio ambiente y reduce los costos de producción (IDIAF, 2012).

Compost

Se usó un compost con alto contenido de N, Fe (exceso), Mn (exceso), Zn y Cu (Tabla 1).

Tabla 1. Análisis de componentes elementales del compost usado para evaluar el rendimiento de frijol negro, en El Cercado, provincia Duarte.

Elemento	Valores
Nitrógeno (%)	1.17
Fósforo (%)	0.07
Potasio (%)	0.32
Calcio (%)	0.32
Magnesio (%)	0.21
Hierro (mg kg ⁻¹)	5 984.00
Manganeso (mg kg ⁻¹)	326.40
Cobre (mg kg ⁻¹)	12.40
Zinc (mg kg ⁻¹)	87.68

Muestras de compost analizadas en el laboratorio CENTA, IDIAF.

Agua

Se usó agua de riego muy dura, pH 6.90 y conductividad eléctrica (CE) de 0.43 mmhos cm⁻¹, en niveles óptimos (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis de componentes del agua usada para evaluar el rendimiento de frijol negro, en El Cercado, provincia Duarte.

Variable	Valores	Valores adecuados
pH en agua (1:2)	6.90	6.2 a 8.5
Conductividad Eléctrica, CE (mmhos cm ⁻¹)	0.43	< 400
Calcio (meq l ⁻¹)	5.60	nd
Magnesio (meq l ⁻¹)	12.12	nd
Hierro (meq l ⁻¹)	0.24	nd
Manganeso (meq l ⁻¹)	5.16	nd
Relación de Absorción de Sodio, RAS (mg l ⁻¹)	1.73	10 - 18
Sólidos totales, ST (mg l ⁻¹)	227.00	nd
Alcalinidad (mg l ⁻¹)	2.89	< 100 mg l ⁻¹
Dureza	886.21	14 - 32

nd = no disponible el nivel adecuado por el laboratorio. Muestras de agua analizadas en el laboratorio CENTA, IDIAF.

Suelo

El experimento fue instalado en un suelo ligeramente ácido, CE alta, bajo contenido de materia orgánica, baja capacidad de intercambio catiónico, alta saturación de Ca y altos contenidos de Fe, Mn y Cu. En los análisis preexperimentales, el suelo presentó

niveles altos de Cr y adecuados de Ni (Tabla 3). Desde el punto de vista ambiental, el primer caso es de suma importancia y debería ser considerado en la producción de frijol. Debido a esto se realizó un análisis tanto del follaje como de las raíces de las plantas de frijol empleadas en el experimento, en el Centro de Tecnología Agrícola (CENTA) del IDIAF.

Tabla 3. Análisis de componentes del suelo usado para evaluar el rendimiento de frijol negro, en El Cercado, provincia Duarte.

Contenidos	Valores	Valores adecuados
pH en agua (1:2)	6.70	5.8 - 6.8
Conductividad eléctrica, CE (mmhos cm ⁻¹) en agua (1:2)	0.10	< 0.75
Materia orgánica, MO (%)	2.50	3.5 - 6.5
Fósforo (%)	4.60	> 28
Calcio (meq 100 g ⁻¹)	6.50	5 - 20
Magnesio (meq 100 g ⁻¹)	1.90	1.5 - 10
Potasio (meq 100 g ⁻¹)	0.70	0.45 - 1.30
Sodio (meq 100 g ⁻¹)	0.30	< 0.5
Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva, CICE (meq 100 g ⁻¹)	9.40	10 - 40
Relación Ca/Mg	3.40	2 - 7
Relación Mg/k	2.70	2 - 12
Relación Ca+Mg/k	12.00	10 - 40
Porcentaje de saturación con calcio (%)	69.4	60 - 85
Porcentaje de saturación con magnesio (%)	20.3	10 - 20
Porcentaje de saturación con potasio (%)	7.4	3 - 7
Porcentaje saturación con sodio (%)	2.9	< 5
Hierro (mg kg ⁻¹)	78.00	20 - 30
Manganeso (mg kg ⁻¹)	12.60	5 - 50
Cobre (mg kg ⁻¹)	5.10	1 - 6
Zinc (mg kg ⁻¹)	2.20	3 - 10
Cromo (mg kg ⁻¹)	1.89	nd
Níquel (mg kg ⁻¹)	0.095	nd

nd = no disponible. Muestras de agua analizadas en el laboratorio CENTA, IDIAF.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar (DBC), con cuatro bloques y siete tratamientos: T1: Testigo absoluto (con 0 kg ha⁻¹ de compost); T2: 1 500 kg ha⁻¹ de compost; T3: 3 000 kg ha⁻¹ de compost; T4: 4 500 kg ha⁻¹ de compost; T5: 6 000 kg ha⁻¹ de compost; T6: 7 500 kg ha⁻¹ de compost; T7: 9 000 kg ha⁻¹ de compost. Cada parcela tuvo 2 m de ancho x 2.5 m de largo para un área de 5 m², un área útil de 2.30 m² y un área total experimental de 195 m². En marzo de 2015 se realizó la siembra manual, se colocaron 11 semillas por metro lineal, en surcos separados a 40 cm y 10 cm entre plantas, utilizando 2.5 kg de semillas en el experimento.

Variables y parámetros medidos

Se evaluaron las siguientes variables:

Rendimiento grano (kg ha⁻¹): haciendo una cosecha de las áreas experimentales y estimando el rendimiento por hectárea.

Altura de planta (cm): esta variable se midió con cinta métrica.

Peso seco de follaje (kg): se cosechó el follaje de tres plantas por hilera y luego se determinó en laboratorio el peso seco.

Peso seco de raíces (kg): se cosecharon las raíces de tres plantas por hilera y luego se determinó en laboratorio el peso seco.

Número de vaina/planta (unidades): se contó en número de vainas por planta, hilera y área experimental.

Número de granos/vaina (unidades): se contó en número de granos por vaina, planta y unidad experimental.

Relación costo/beneficio (DOP): se aplicó el método de presupuesto parcial de Harrington (Harrington, 1982).

Tamaño de muestra y manejo del cultivo

Se estableció de acuerdo con Hernández y Escobar (2019), tomando la cantidad de plantas necesarias para hacer las mediciones. Las plantas evaluadas en cada parcela fueron seleccionadas al azar utilizando las tablas de números aleatorios y etiquetas plásticas.

Se realizaron dos controles manuales de malezas y una aplicación del insecticida metoxifezónida en dosis de 200 cm³ en 20 l de agua. Se realizó un monitoreo diario para detectar la presencia de plagas y/o enfermedades. Se aplicaron 250 cm³ en 20 l de agua de biofungicida con base en una mezcla de *Trichoderma atroviride* y *Bacillus* spp.

Análisis de los datos

Los datos obtenidos de las variables fueron analizados estadísticamente con el programa InfoStat (Di Rienzo, 2016). Se realizó una prueba de supuestos a los datos, un análisis de regresión lineal y de varianza (0.01), separación de media usando test Duncan a un alfa $p \leq 0.05$. Para el análisis económico se utilizó análisis económico con presupuesto parcial (Harrington, 1982).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento de frijol negro

El análisis de regresión lineal resultó significativo al 99 % (Figura 1): a medida que aumenta la dosis de compost (kg ha^{-1}), aumenta de forma lineal el rendimiento del cultivo. Sin embargo, se ha demostrado en diversas investigaciones, la caída de los rendimientos a medida que incrementan las dosis de nutrientes, debido a las capacidades genéticas de las plantas. La ecuación resultante es: $\text{rendimiento} = 1313.40 + 0.08 (\text{dosis de compost})$, con un R^2 de 0.71. Sobalvarro y Díaz (2016), indican que el rendimiento es una variable importante en cualquier cultivo y determina la eficiencia del uso de los recursos existente con que las plantas hacen en el medio unido al potencial genético de la variedad; por lo tanto, es el resultado de un conjunto de factores biológicos, ambientales y el manejo del cultivo los cuales se relacionan entre sí para expresarse en producción de kg ha^{-1} .

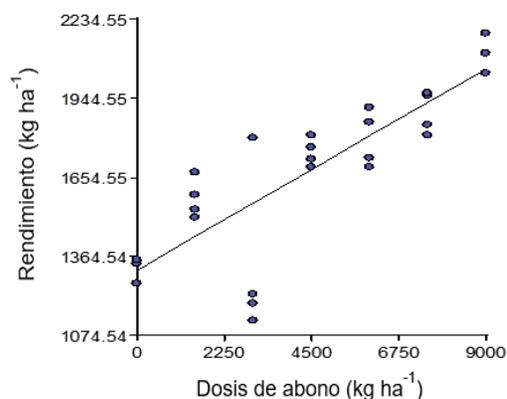


Figura 1. Regresión lineal para rendimiento (kg ha^{-1}) del frijol negro, en El Cercado, provincia Duarte, República Dominicana.

Los mayores rendimientos se alcanzan con la mayor dosis de aplicación de compost de $9\ 000\ \text{kg ha}^{-1}$ para un rendimiento promedio de $2\ 109\ \text{kg ha}^{-1}$ (Tabla 4). Los resultados obtenidos en el experimento se encuentran ligeramente sobre lo reportado en el país por IDIAF (2012), bajo condiciones mínimas de tecnología: $1\ 500$ a $1\ 800\ \text{kg ha}^{-1}$ y un poco por debajo del promedio de producción bajo las condiciones del Valle de San Juan de $2\ 500$ a $3\ 400\ \text{kg ha}^{-1}$ (IDIAF, 2012).

La fertilización modifica el comportamiento del cultivo de frijol y altera procesos fisiológicos como la polinización, abscisión de órganos reproductivos, aborto de semillas, así como procesos morfológicos (tamaño de hoja, número de ramas y altura de planta) teniendo repercusión directa sobre el rendimiento de grano (Luna et al., 2023).

Tabla 4. Análisis de componentes del suelo usado para evaluar el rendimiento de frijol negro, en El Cercado, provincia Duarte.

Tratamiento	Dosis (kg ha^{-1})	Rendimiento (kg ha^{-1})	NV/planta (Unidad)	NG/V (Unidad)	PSF (g)	PSR (g)	AP (cm)	Sup. (%)
T1	0	880.45 a	12.50 b	7.50 bc	0.02 a	2.90 a	44.25 a	57.75 c
T2	1 500	1 576.6 c	12.25 b	6.25 a	0.03 a	2.90 a	48.50 b	66.50 e
T3	3 000	1 336.3 b	12.25 b	6.75 ab	0.03 a	3.20 a	51.00 cd	52.25 b
T4	4 500	1 745.45 cd	8.50 a	6.75 ab	0.02 a	2.60 a	49.50 bc	36.25 a
T5	6 000	1 795.45 d	12.50 b	6.75 ab	0.02 a	3.50 a	52.00 d	62.75 d
T6	7 500	1 893.18 d	13.00 b	8.00 c	0.03 a	3.10 a	55.00 e	62.00 d
T7	9 000	2 109.1 e	14.75 b	8.25 c	0.03 a	3.10 a	55.75 e	69.75 f
CV	Na	8.28	17.36	8.99	21.38 a	9.28	2.27	3.62
P-valor	Na	<0.0001	0.0291	0.0025	ns	nd	< 0.0001	< 0.0001
R ²	Na	0.93	0.54	0.69	1	1	0.94	0.97

NV/planta = número de vainas/planta; NG/V = Número de granos/vaina; PSF = peso seco de follaje; PSR = peso seco de raíces, AP = altura de plantas; Sup = supervivencia. T1: Testigo absoluto (con $0\ \text{kg ha}^{-1}$ de compost); T2: $1\ 500\ \text{kg ha}^{-1}$ de compost; T3: $3\ 000\ \text{kg ha}^{-1}$ de compost; T4: $4\ 500\ \text{kg ha}^{-1}$ de compost; T5: $6\ 000\ \text{kg ha}^{-1}$ de compost; T6: $7\ 500\ \text{kg ha}^{-1}$ de compost; T7: $9\ 000\ \text{kg ha}^{-1}$ de compost. Na = no aplica; ns = no significativo; medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). Test de separación de medias Duncan.

Estos resultados coinciden con lo explicado por Muñoz-Márquez et al. (2022), quien sustenta que la aplicación del fertilizante, incluido el orgánico, siempre que sea de buena calidad tiene un efecto directo y residual notable sobre el rendimiento del frijol.

Además, coincide con los resultados obtenidos por Alemán (2006), donde encontró que la aplicación de $1\ 600\ \text{kg ha}^{-1}$ de compost generó en un mayor peso de las semillas en $1.85\ \text{g}$, respecto al testigo.

Así mismo, Aguilar et al. (2010) aplicando un 3 % de vermicompost incrementaron en 31 % el número de inflorescencias y en 33 % la biomasa (rendimiento) de semillas por planta respecto al testigo. Esto indica que el compost tiene un efecto positivo sobre el rendimiento del frijol (Aguilar et al., 2010; Alemán, 2006; Muñoz-Márquez et al., 2022). Aguirre y Gutiérrez (2018), encontraron que la aplicación de 11 800 l ha⁻¹ de biol produjo el mayor rendimiento con 529.48 kg ha⁻¹ se logró con el tratamiento T1 7 120 kg ha⁻¹ de biol.

Peso seco del follaje y de las raíces por planta de frijol

El análisis de regresión lineal para las variables peso seco del follaje y de las raíces no mostraron diferencias estadísticas, lo que indica que no fueron afectados por las dosis de compost aplicada al cultivo y que esta sólo influyó en un 8 % (R² de 0.08) para la primera variable, y 13 % (R² de 0.13) para la segunda.

Altura de las plantas de frijol

El mejor ajuste en los tratamientos con relación a la regresión lineal se obtuvo con el modelo lineal significativo al 99 %: a medida que aumentó la dosis de compost aumentó la altura de la planta (Figura 2).

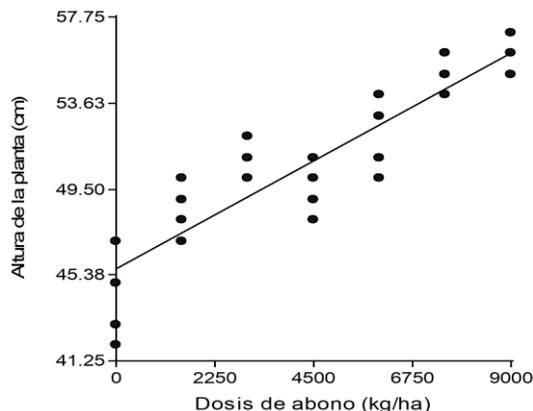


Figura 2. Regresión lineal para altura de la planta de frijol negro, en El Cercado, provincia Duarte, RD. T1: Testigo absoluto (con 0 kg ha⁻¹ de compost); T2: 1 500 kg ha⁻¹ de compost; T3: 3 000 kg ha⁻¹ de compost; T4: 4 500 kg ha⁻¹ de compost; T5: 6 000 kg ha⁻¹ de compost; T6: 7 500 kg ha⁻¹ de compost; T7: 9 000 kg ha⁻¹ de compost.

Estos resultados guardan relación con los obtenidos por Aguilar et al. (2010), quien encontró una mayor cantidad de follaje con la aplicación de compost, y Kurte (2010) quien en un estudio sobre el crecimiento de la vid encontró un efecto positivo al estudiar los

efectos del té de compost aplicado al suelo sobre su crecimiento: las plantas de vid respondieron con un mayor crecimiento de la parte aérea, acompañado de la masa radical, cuando se aplicó el té de compost. Resultados más recientes en cultivos de maíz corroboran la relación de estas variables y el comportamiento aquí observado: Valencia y Riascos (2024), hallaron que los cultivares de maíz común Chocoito y Capiro responden de forma lineal a la aplicación de compost cuando se analizan variables como la altura.

Número de vainas y de granos por vaina de frijol

El número de vainas por planta de frijol no fue afectado significativamente por la dosis de compost aplicada al cultivo (R² de 0.06), pero la dosis de compost sí tuvo un efecto positivo significativo sobre el número de granos por vaina (R² de 0.20, Figura 3).

Para el número de vainas totales cosechadas de los muestreos se obtuvo una media superior en la aplicación de ácidos húmicos y fúlvicos (T1), la cual estuvo en 46 vainas/planta muestreada, mientras que el tratamiento con algas (T4) fue el menos eficiente para la formación y amarre de vainas (Luna et al., 2023).

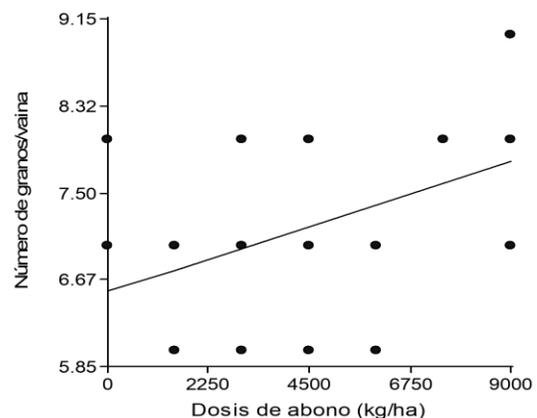


Figura 3. Análisis de regresión lineal para el número de granos por vaina en el estudio de frijol negro, en El Cercado, provincia Duarte, República Dominicana. T1: Testigo absoluto (con 0 kg ha⁻¹ de compost); T2: 1 500 kg ha⁻¹ de compost; T3: 3 000 kg ha⁻¹ de compost; T4: 4 500 kg ha⁻¹ de compost; T5: 6 000 kg ha⁻¹ de compost; T6: 7 500 kg ha⁻¹ de compost; T7: 9 000 kg ha⁻¹ de compost.

Para la primera variable, se obtuvo un rango de medias muy por debajo de los registros agronómicos para la variedad: de 8 a 15 vainas contra las 28 a 32 reportadas por IDIAF (2012); mientras que el número de granos por vainas fue ligeramente alto en el rango superior: de 6 a 9 contra los 6 a 7 granos por vaina reportados por IDIAF (2012).

Dado que los rendimientos mostrados fueron ligeramente superiores a lo reportado por IDIAF para las condiciones mínimas de tecnología, siendo similares a las condiciones experimentales de este estudio, es evidente que el número de granos y su masa aumentó.

Estos resultados contrastan con los obtenidos por Aguilar et al. (2010) quienes encontraron un aumento de un 36 % en el número de vainas producidas por planta y 34 % en el número de granos por vaina, con la aplicación de compost con relación al testigo. Así mismo Ortiz et al. (2022), hallaron que el uso de bioestimulantes incrementó la cantidad de vainas por planta en la variedad de frijol evaluada. Es decir, la aplicación de fertilizantes y nutrientes suele aumentar tanto el número de granos por vaina, como en este estudio, como el número de vainas por planta,

situación que no pasó debido a mecanismos sin discernir.

Relación costo/beneficio de la producción de frijol negro

Rentabilidad del cultivo

Para los costos variables y los beneficios netos de cada tratamiento, la aplicación de 1 500 kg ha⁻¹ produjo el mayor beneficio neto (aproximadamente 757 USD) (Tabla 5), seguido por la aplicación de 4 500 kg ha⁻¹ de compost (aproximadamente 698 USD). El mayor costo variable correspondió al tratamiento 7 de aproximadamente 337 USD (Tabla 5). Debe indicarse que el único costo variable tomado en consideración fue el costo del fertilizante, ya que las demás tareas fueron pagadas por día para toda el área del experimento.

Tabla 5. Comportamiento de la variable rendimiento, beneficio bruto y costo variable en el estudio de frijol negro, en El Cercado, provincia Duarte, República Dominicana.

Tratamiento	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Beneficio bruto (DOP ha ⁻¹)	Costo variable (DOP ha ⁻¹)	Beneficio neto (DOP ha ⁻¹)	Costo variable (*USD\$ ha ⁻¹)	Beneficio neto (*USD\$ ha ⁻¹)
1 (0 kg ha ⁻¹)	880.18	31 034.46	0	31 034.46	0	918.35
2 (1 500 kg ha ⁻¹)	1 576.59	37 112.93	3 300.33	33 812.60	73.86	756.73
3 (3 000 kg ha ⁻¹)	1 336.3	31 463.56	6 600.66	24 862.90	147.72	556.43
4 (4 500 kg ha ⁻¹)	1 745.45	41 087.89	9 900.99	31 186.90	221.58	697.96
5 (6 000 kg ha ⁻¹)	1 795.45	42 264.89	13 201.32	29 063.57	295.45	650.44
6 (7 500 kg ha ⁻¹)	1 893.18	44 565.46	16 501.65	28 063.81	369.31	628.07
7 (9 000 kg ha ⁻¹)	2 109.09	49 647.98	19 801.98	29 846.00	443.17	667.95

*Tipo de cambio del peso dominicano (DOP) al dólar estadounidense (USD) el día viernes 19 de junio de 2015: 1 DOP = 0.02238.

Tasa marginal de retorno

La tasa marginal de retorno (TMR) indica que al aplicar 1 500 kg ha⁻¹ (tratamiento 2) de compost por tratamiento, genera un mayor beneficio neto, comparado con el tratamiento de más bajo costo variable (testigo sin aplicación de compost) lo que se aprecia en la Tabla 6. Se observa que TMR es de 84.18 % cuando se relacionan ambos tratamientos. Esto quiere decir, que por cada DOP invertido en la aplicación de compost se obtiene un retorno de 84.18 DOP en relación con la no aplicación de este.

Alemán y Calero (2021) encontraron la aplicación de 4 358.75 kg ha⁻¹ de Bio Green (mayor dosis aplicada) fue más rentable por el efecto del abono orgánico, ya que por medio de este aumenta la fertilidad de suelo mejorando las propiedades químicas y físicas, la disponibilidad, y lo soluble es aprovechado por las raíces en las plantas para disponer de nutrientes esenciales durante cada etapa del cultivo de frijol con una tasa marginal de retorno de 114.06 %.

Tabla 6. Análisis marginal de retorno económico del estudio de frijol negro, en El Cercado, provincia Duarte, República Dominicana.

Tratamiento	Beneficio neto (DOP ha ⁻¹)	Costo variable (DOP ha ⁻¹)	Tasa marginal de retorno (%)
1	31 034.46	0.00	84.18
2	33 812.60	3 300.33	

T1: Testigo absoluto (con 0 kg ha⁻¹ de compost); T2: 1 500 kg ha⁻¹ de compost.

Este resultado concuerda con lo planteado por Covarrubias y Ramos (2022), donde reportan que una mayor rentabilidad de un cultivo se caracteriza por presentar menores costos, altos rendimientos y mayor atención al manejo de suelos y cultivos. Además de la fertilización, ya que forma parte integral del manejo rentable de los cultivos. Estas características definen a los productores más eficientes y de mejor manejo empresarial.

Análisis muestras foliares follaje y raíces de frijol

El contenido de Fe, Mn y Zn en todos los tratamientos

es alto, mientras que el de Cu es adecuado (Tabla 7). Por otra parte, el contenido de P, Ca y Mg es bajo y el K alto. En relación con el contenido de los elementos pesados Cr y Ni los contenidos son bajos, no representando peligro para la salud del consumidor. El contenido de Fe, Mn y Zn en las raíces son elevados y

al igual que el follaje el Cu es mayormente adecuado. En relación con el P, Ca, Mg y K se encuentran bajo. El Cr y Ni se encuentran en niveles adecuados, ya que estos contenidos no representan peligro para la salud humana.

Tabla 7. Análisis de follaje y raíces de frijol negro, en El Cercado, provincia Duarte, República Dominicana.

Tratamiento	Concentraciones de los elementos									
	mg kg ⁻¹						% (1)			
	Cr	Ni	Fe	Mn	Cu	Zn	P1	Ca1	Mg1	K1
Follaje										
T1	0.20	0.08	1 372	68.8	4.2	30.6	0.23	1.53	0.34	0.89
T2	0.18	0.07	867	39.2	0.4	20.6	0.09	0.69	0.14	0.29
T3	0.23	0.11	2 416	134.9	6.5	32.3	0.23	1.61	0.39	0.68
T4	0.19	0.10	1 687	98.5	4.6	27.9	0.23	1.68	0.36	0.66
T5	0.45	0.07	1 047	53.8	4.0	70.2	0.09	0.85	0.19	0.39
T6	0.31	0.17	5 046	166.5	12.8	45.8	0.32	1.62	0.39	0.83
T7	1.45	0.08	1 477	84.7	4.1	25.5	0.02	1.56	0.34	0.69
Raíces										
T1	0.63	0.12	2 910	120.6	6.2	28.0	0.12	1.39	0.27	0.14
T2	0.23	0.15	5 278	200.6	12.2	34.9	0.20	1.19	0.23	0.18
T3	0.14	0.09	1 788	95.4	6.3	25.8	0.14	1.06	0.18	0.14
T4	0.17	0.11	2 975	109.8	9.4	18.1	0.13	0.49	0.11	0.06
T5	0.19	0.00	1 977	115.5	14.3	32.4	0.10	1.39	0.26	0.34
T6	0.14	0.09	1 475	76.2	6.7	32.4	0.22	1.40	0.23	0.38
T7	0.15	0.11	1 050	73.9	5.8	26.8	0.09	1.19	0.24	0.36

T1: Testigo absoluto (con 0 kg ha⁻¹ de compost); T2: 1 500 kg ha⁻¹ de compost; T3: 3 000 kg ha⁻¹ de compost; T4: 4 500 kg ha⁻¹ de compost; T5: 6 000 kg ha⁻¹ de compost; T6: 7 500 kg ha⁻¹ de compost; T7: 9 000 kg ha⁻¹ de compost. Cr = cromo, Ni = níquel, Fe = hierro, Mn = manganeso, Cu = cobre, Zn = zinc, P = fósforo, Ca = calcio, Mg = magnesio, K = potasio.

CONCLUSIONES

La aplicación de compost tiene un efecto lineal positivo sobre el rendimiento, la altura de la planta y el número de granos por vaina, y no tiene efecto sobre el peso del follaje, el peso de las raíces y el número de vainas por planta del frijol negro. Además, se halló que la aplicación de compost al suelo tiene una tasa de retorno de 84.18 DOP por cada peso invertido, por lo que se recomienda su aplicación. La información obtenida en la investigación, puede ser usada como una alternativa de fertilización del frijol negro en zonas marginales y como parámetro a considerar en la producción comercial del Valle de San Juan, ya que la mayoría de los productores de frijol de San Juan solo aplican fertilizantes químicos y omiten la posible aplicación de materiales alternativos, enmiendas y fertilizantes orgánicos.

Agradecimientos

Al productor de frijol Juan María de la Cruz del El Cercado, Distrito de la Peña de San Francisco de

Macorís, provincia Duarte, República Dominicana, por permitir el establecimiento del experimento en su propiedad. Al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Santo Domingo por el soporte económico de la investigación y al Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales por el análisis de muestras de agua, suelo y compost.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, B; Pena, VCB; García, N; Ramírez, V; Benedicto, V; Molina, G. 2010. Rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en relación con la concentración de vermicompost y déficit de humedad en el sustrato (en línea). Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 50p. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&id=S1405-31952012000100004
- Aguirre, JF; Gutiérrez, RA. 2018. Fertilización con Biol y completo y su efecto en el crecimiento y rendimiento del cultivo de frijol común, El Plantel, Masaya 2017 (en línea). Tesis. Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria, Facultad de Agronomía. Managua, NI. 44 p. Disponible en <https://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnf04a284f.pdf>

- Alemán, V. 2006. Efecto de niveles de composta y hongo micorrizico arbuscular en el desarrollo y crecimiento de frijol *Phaseolus vulgaris* (en línea). Universidad de Colima, México. Disponible en <http://bvirtual.uco.mx/consultaxcategoria.php?s&categoria=3&id=7373>
- Alemán, MDR; Calero, LA. 2022. Fertilización orgánica y sintética en el crecimiento y rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en Masatepe, Masaya 2021 (en línea). Doctoral dissertation, Universidad Nacional Agraria. Disponible en <https://repositorio.una.edu.ni/4536/1/tnf04a367f.pdf>
- Brawn, CH. 2006. Prehistoric chronology of the common bean and the new world: the linguistic idence (en línea). American Anthropologic 108(3):507-516. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/229779892_Prehistoric_Chronology_of_the_Common_Bean_in_the_New_World_The_Linguistic_Evidence
- Covarrubias, M; Ramos, B. 2022. Evaluación de arreglo topológico de los cultivos maíz y frijol con mayor rentabilidad para pequeñas unidades de producción en el Estado de Nayarit (en línea). En Pérez Soto, F., Figueroa Hernández, E., Escamilla, PE., García, RM., Godínez, L. (Ed.), Factores de la Producción Agrícola (61-76), Asociación Mexicana de Investigación Interdisciplinaria A.C. (ASMIIA, A.C.), México, ISBN: 978-607-99509-4-1. Disponible en https://www.academia.edu/122024977/Factores_de_la_producci%C3%B3n_agr%C3%ADcola
- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; González, L; Tablada, M; Robledo, C. 2016. InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA (en línea). Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. Disponible en <https://www.infostat.com.ar/>
- Elhefnawy, N; El-Aal, H; El-Hwat, N; Medany, M. 2011. Effect of Sowing Dates, Irrigation Levels and Climate change on Yield of common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) (en línea). American-Eurasian J.Agric y Environ. Sci. 11. 79-86. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/316645227_Effect_of_Sowing_Dates_Irrigation_Levels_and_Climate_change_on_Yield_of_common_Bean_Phaseolus_vulgaris_L
- García, H; Balderrama, P; Castro, L; Mungarro, C; Arellano, M; Martínez, J; Gutiérrez, M. 2014. Efecto del abono de sustrato gastado de champiñón en el rendimiento de frijol *Phaseolus vulgaris* L. (en línea). Terra Latinoamericana 32(1):69-76. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792014000100069&lng=es&tlng=es
- Harrington, L. 1982. Ejercicios sobre el análisis económico de datos agronómicos (en línea). Documento de trabajo. Centro internacional de maíz y trigo. México, MX. 79 p. Disponible en <https://repository.cimmyt.org/handle/10883/824>
- Hernández, CE; Escobar, NAC. 2019. Introducción a los tipos de muestreo. Alerta, Revista científica del Instituto Nacional de Salud, 2(1):75-79. Disponible en <https://camjol.info/index.php/alerta/article/view/7535>
- IDIAF (Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales). 2012. DPC-40 IDIAF variedad de habichuelas negras con resistencia a virus (en línea). Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, República Dominicana. 8p. Disponible en <http://arsffbean.uprm.edu/bean/wp-content/uploads/2020/02/IDIAF-DPC-40-nueva-variedad-de-habichuela-negra.pdf>
- Kurte, N. 2010. Efectos del té de compost aplicado al suelo en el crecimiento de uva de mesa var. Crimson Seedless (en línea). Facultad de Ciencias Agronómicas. Escuela de Agronomía. Universidad de Chile. 26p. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/112251>
- Luna, MLG; Machuca, FLD; Cisneros, LHC; Jiménez, HY. 2023. Evaluación de componentes de rendimiento en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) Junio León producido con diferentes tratamientos de fertilización orgánica (en línea). Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar 7(1):7092-7101. Disponible en <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/4946>
- MA (Ministerio de Agricultura de la República Dominicana). 2020. Habichuela Negra (en línea). Ministerio de Agricultura de la República Dominicana. Disponible en <https://agricultura.gob.do/productos/habichuela-negra/>
- Mederos, Y. 2006. Indicadores de la calidad en el grano de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) (en línea). Cultivos Tropicales 27(3):55-62. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193215825009.pdf>
- Mejía, KJ. 2016. La fertilización mineral, orgánica y biológica sobre la producción de frijol común en Santa Rosa de Copán (en línea). Revista Ciencia y Tecnología (19):182-194. Disponible en <https://www.camjol.info/index.php/RCT/article/view/4280> <https://doi.org/10.5377/rct.v0i19.4280>
- Moraga, NY; Meza, IA. 2005. Evaluación de dos dosis de abonos orgánicos (gallinaza, estiércol vacuno) y un mineral sobre la dinámica del crecimiento y rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) cultivar NB-6 (en línea). Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria, Facultad de Agronomía. Managua, NI. 53 p. Disponible en <https://repositorio.una.edu.ni/1971/>
- Muñoz-Márquez, E; Soto-Parra, J; Pérez-Leal, R; Yáñez-Muñoz, R; Noperi-Mosqueda, L; Sánchez-Chávez, E. 2022. Aplicación de nanomolibdeno en frijol y su impacto sobre la eficiencia del nitrógeno (en línea). Revista mexicana de ciencias agrícolas 13(spe28):319-329. Disponible en <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i28.3286>
- Ortiz, E; Peñuelas-Rubio, O; Argente-Martínez, L; Félix, P; Padilla, I; Marroquín, JA. 2022. La aplicación de bioestimulantes incrementa los componentes del rendimiento de frijol Pinto Bill Z en el sur de Sonora (en línea). Revista mexicana de ciencias agrícolas 13(2):371-376. Disponible en <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i2.2846>
- Sobalvarro, YF; Díaz, ER. 2016. Eficiencia de la fertilización especial y tradicional en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) variedad nutritiva amarillo, centro de experimentación y

validación de tecnología las Mercedes 2015 (en línea). Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria. Disponible en <https://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnf04s677.pdf>
Valencia, DT; Riascos, CEA. 2024. Respuesta agronómica de dos cultivares de maíz común (Chococito y Capiro) a la aplicación de microorganismos eficientes (en línea). Ciencia Latina: Revista Multidisciplinar 8(4):1773-1788. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9784597.pdf>

Yoldas, F; Esiyok, D. 2007. Effects of sowing dates and cultural treatments on growth, quality and yield of processing beans (en línea). Pakistan J. Biol. Sci. 10(15):2470-2474. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/23651022_Effects_of_Sowing_Dates_and_Cultural_Treatments_on_Growth_Quality_and_Yield_of_Processing_Beans

Artículo recibido en: 04 de diciembre del 2024
Aceptado en: 15 de abril del 2025