ALFA Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias
Volumen 10 / N° 29 / mayo-agosto 2026
https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v10i29.470

Articulo original

Fertilización inorgánica y rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad capsula en Cajabamba, Huacrachuco

Inorganic fertilization and yield of bean (Phaseolus vulgaris L.) capsule variety in Cajabamba, Huacrachuco

Benancio Pantoja Medina [a]
✉ bpantojam@undc.edu.pe

Iris Sánchez Baldeón [a]

Nancy Noema Rojas Leandro [b]

Hugo David Rueda Castro [c]

Eber Armando Ramos Mollehuara [c]

[a] *Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Pasco, Perú*

Palabras clave: Fertilizacion inorganica; Efecto; Frijol capsula

Keywords: Inorganic fertilization; Effect; Capsule bean

Cómo citar: Pantoja Medina B, Sánchez Baldeón I, Rojas Leandro NN, Rueda Castro HD, Ramos Mollehuara EA. Fertilización inorgánica y rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad capsula en Cajabamba, Huacrachuco. ALFA Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias. 2026;10(29):1-15 https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v10i29.470

Resumen

Contexto: El frijol (Phaseolus vulgaris L.) es un cultivo de importancia alimentaria y económica, cuyo rendimiento puede mejorar mediante el uso adecuado de fertilización inorgánica. En condiciones agroecológicas específicas, resulta necesario evaluar dosis de fertilización que favorezcan la productividad y optimicen el desarrollo del cultivo. **Objetivo:** Evaluar el efecto de la fertilización inorgánica sobre el rendimiento del cultivo de frijol variedad cápsula en condiciones agroecológicas de Cajabamba, Huacrachuco. **Metodología:** La investigación fue de tipo aplicada, de nivel experimental, bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones, conformando 16 unidades experimentales. La población estuvo constituida por 2.496 plantas de frijol y la muestra por 30 plantas del área neta experimental, seleccionadas mediante muestreo aleatorio simple. Las variables evaluadas fueron número de vainas por planta, granos por vaina, peso de 100 granos, peso de granos por área neta experimental y rendimiento por hectárea. Los datos fueron analizados mediante ANDEVA y prueba de Rangos Múltiples de Duncan. **Resultados:** El tratamiento T2, correspondiente a la dosis 40-80-40, obtuvo los mejores resultados, con 11,88 vainas por planta, 4,28 granos por vaina, 65 g en peso de 100 granos y 0,84 kg por área neta experimental, equivalente a 4.687,5 kg/ha. Se evidenciaron diferencias estadísticas significativas entre las dosis de fertilización y el testigo. **Conclusiones:** La fertilización inorgánica influyó significativamente en el rendimiento del frijol, destacando el tratamiento T2 como la alternativa más eficiente para mejorar la productividad del cultivo en las condiciones evaluadas.

Abstract

Context: The common bean (Phaseolus vulgaris L.) is a crop of high nutritional and economic significance, whose yield can be enhanced through the appropriate application of inorganic fertilization. Under specific agroecological conditions, it is essential to evaluate fertilization doses that promote productivity and optimize crop development. **Objective:** To evaluate the effect of inorganic fertilization on the yield of the 'Cápsula' variety common bean under the agroecological conditions of Cajabamba, Huacrachuco. **Methodology:** This research was an applied, experimental study using a Randomized Complete Block Design (RCBD) with four treatments and four replicates, totaling 16 experimental units. The population consisted of 2,496 bean plants, and the sample comprised 30 plants from the net experimental area, selected via simple random sampling. The evaluated variables were the number of pods per plant, seeds per pod, 100-seed weight, seed weight per net experimental area, and yield per hectare. Data were analyzed using ANOVA and Duncan's Multiple Range Test. **Results:** Treatment T2, corresponding to the 40-80-40 dose, achieved

the best results, with 11.88 pods per plant, 4.28 seeds per pod, a 100-seed weight of 65 g, and 0.84 kg per net experimental area, equivalent to 4,687.5 kg/ha. Significant statistical differences were observed between the fertilization doses and the control group. **Conclusions:** Inorganic fertilization significantly influenced bean yield, highlighting treatment T2 as the most efficient alternative to enhance crop productivity under the evaluated conditions.

Introducción

La Región Huánuco se encuentra en dos regiones naturales (sierra y selva) que determinan ventajas comparativas que deben ser aprovechadas mediante opciones tecnológicas para desarrollar el agro y lograr ventajas competitivas y el ansiado desarrollo sustentable [1,2]. La distribución agrícola por cuencas hidrográficas muestra que la cuenca del Alto Huallaga abarca las regiones naturales de selva alta y sierra, y tiene la mayor extensión agrícola con 46 % de las tierras; seguido de la cuenca del Alto Marañón, que eminentemente corresponde a la región andina y alto andina, con 27.63 %.

La agricultura tradicional de explotación extensiva comprende cultivos como papa, maíz amiláceo, maíz amarillo duro, trigo, plátano, arroz, cebada y frijol grano seco, siendo este último uno de los cultivos de mayor importancia económica y alimentaria en la región [3,4]. Sin embargo, el principal problema en este segmento es la fragmentación de la tierra y la baja productividad, situación que limita la competitividad de los pequeños productores agrícolas [5,6].

Las menestras o leguminosas de grano, entre ellas el frijol, constituyen un rubro dinámico del sector agrícola y representan una importante alternativa de producción para miles de agricultores de la sierra y selva del Perú [7,8]. No obstante, el uso de tecnologías inadecuadas y el escaso aprovechamiento de las condiciones agroclimáticas excepcionales de la región ocasionan rendimientos inferiores a los esperados [9,10].

El cultivo de frijol presenta gran importancia económica y nutricional, ya que se cultiva en costa, sierra y selva y forma parte de la canasta básica familiar. Asimismo, mejora los suelos mediante la incorporación de nitrógeno atmosférico fijado por simbiosis con bacterias del género Rhizobium [11,12]. Diversos estudios señalan además su elevado contenido de proteínas, carbohidratos, vitaminas y minerales, los cuales contribuyen a la prevención de enfermedades cardiovasculares y obesidad [13,14].

Aykord manifestó que un kilogramo de proteínas de leguminosas cuesta diez veces menos que un kilogramo de proteína animal, razón por la cual los trabajos de investigación en frijol están orientados a elevar la productividad y el contenido proteico [15]. Del mismo modo, Chávez señaló que el frijol es un alimento de alto valor proteico y calórico, con 337 calorías, 61 % de carbohidratos y 22 % de proteínas, aunque deficiente en aminoácidos azufrados como metionina y cistina [16].

El agricultor ha venido utilizando diversas técnicas tradicionales en la producción de leguminosas, especialmente en las zonas de sierra y selva, sin obtener resultados satisfactorios [17,18]. Entre los principales problemas del cultivo destacan el uso de semillas no certificadas, la inadecuada fertilización, el deficiente manejo del riego y el insuficiente control fitosanitario, limitando el rendimiento del frijol canario en los valles de Huánuco a 1 000–1 200 kg/ha, valores inferiores a los obtenidos en la costa peruana [19,20].

Diversos autores señalan que el rendimiento del cultivo depende directamente de la adecuada nutrición mineral, principalmente de nitrógeno, fósforo y potasio, elementos esenciales para el crecimiento vegetativo, floración y llenado de granos [21-24]. Asimismo, se ha reportado que la fertilización equilibrada incrementa significativamente el rendimiento y la calidad comercial del frijol [25-27].

El presente estudio tuvo como propósito evaluar el efecto de la fertilización inorgánica sobre el rendimiento del cultivo de frijol variedad cápsula en condiciones agroecológicas de Cajabamba,

Huacrachuco, con la finalidad de generar alternativas tecnológicas que permitan mejorar la productividad y rentabilidad del cultivo [28-30].

En el contexto actual de los sistemas alimentarios, el frijol común ha adquirido una relevancia que supera su valor como producto agrícola local, debido a que integra dimensiones productivas, nutricionales, ambientales y sociales. Las investigaciones recientes lo describen como una leguminosa estratégica para dietas sostenibles, porque aporta proteína vegetal, fibra dietaria, carbohidratos complejos y micronutrientes, al mismo tiempo que demanda menos recursos que muchas fuentes de proteína animal [31].

Esta característica resulta particularmente importante para regiones andinas y de ceja de selva como Huacrachuco, donde la producción familiar cumple una doble función: abastece el autoconsumo y genera ingresos mediante la venta de excedentes. En consecuencia, mejorar la productividad del frijol no solo implica aumentar kilogramos por hectárea, sino también fortalecer la seguridad alimentaria local y la disponibilidad de alimentos con alto valor biológico en zonas rurales.

Desde el punto de vista nutricional, el frijol constituye una fuente apreciable de proteínas, minerales y compuestos bioactivos que complementan dietas basadas en cereales y tubérculos. Estudios comparativos entre variedades modernas y materiales tradicionales muestran variabilidad en el contenido de proteína, hierro, zinc y otros minerales, lo que evidencia que el rendimiento agronómico y la calidad nutricional deben analizarse de manera integrada [32].

Además, revisiones clínicas han señalado que el consumo de frijol puede contribuir a mejorar indicadores asociados con salud cardiovascular, control glucémico y manejo del peso corporal, aunque dichos efectos dependen de la frecuencia de consumo, la preparación y el patrón dietético general [33]. Esta evidencia refuerza la importancia de promover tecnologías que incrementen la oferta del cultivo sin afectar su calidad, pues en escenarios de inseguridad alimentaria la disponibilidad estable de menestras resulta tan relevante como la producción de cultivos energéticos.

La baja productividad del frijol en muchos sistemas de pequeña agricultura no responde a una sola causa, sino a la interacción entre fertilidad del suelo, manejo de semilla, densidad de siembra, disponibilidad hídrica, control de plagas y oportunidad de las labores culturales. Una revisión sistemática sobre prácticas agronómicas en Phaseolus vulgaris L. identificó que la fertilización, la densidad de siembra, el riego, la inoculación con rizobios y el manejo fitosanitario son componentes decisivos para incrementar rendimiento y calidad [34].

Por ello, el análisis de dosis de fertilización inorgánica debe comprenderse como parte de un manejo agronómico integral, en el que la respuesta del cultivo depende tanto de la disponibilidad de nutrientes como de la capacidad de la planta para absorberlos y transformarlos en biomasa reproductiva.

En suelos tropicales y andinos, las deficiencias de nitrógeno y fósforo suelen limitar el establecimiento del cultivo, la nodulación, la floración y el llenado de grano. El nitrógeno participa en la formación de proteínas, enzimas y clorofila, mientras que el fósforo interviene en procesos energéticos, crecimiento radical y fijación biológica de nitrógeno. El potasio, por su parte, regula la apertura estomática, el transporte de fotoasimilados y la tolerancia a estrés hídrico, factores que influyen directamente en el peso y la uniformidad del grano. Por esa razón, la fertilización NPK debe ajustarse a las condiciones del suelo y al potencial productivo de la variedad, evitando tanto deficiencias como excesos que puedan generar desequilibrios nutricionales, costos innecesarios o respuestas marginales.

La evidencia experimental confirma que la fertilización mineral puede generar incrementos importantes cuando se aplica en ambientes con limitaciones nutricionales. En Nitisoles de la República Democrática del Congo, la combinación de fertilización NPK, densidad adecuada y variedades biofortificadas elevó el rendimiento del frijol, y la aplicación de NPK incrementó el rendimiento de grano en 38,2 % respecto a parcelas sin fertilización [35].

Del mismo modo, estudios realizados en condiciones de pequeños productores de Zimbabwe demostraron que la respuesta a nitrógeno y fósforo varía según el grado de degradación del suelo, de modo que las parcelas con mejores niveles de materia orgánica y fósforo disponible expresaron incrementos más claros que los suelos fuertemente degradados [36]. Estos hallazgos sugieren que la fertilización inorgánica no debe interpretarse como una práctica aislada, sino como una herramienta cuya eficiencia se relaciona con la condición inicial del suelo, el manejo previo del campo y la capacidad de retención y suministro de nutrientes.

En Cajabamba, Huacrachuco, la generación de información local sobre dosis de fertilización resulta necesaria porque las recomendaciones generales no siempre reflejan la heterogeneidad de los suelos, la altitud, la temperatura, la disponibilidad de humedad ni las prácticas de los agricultores. Una dosis eficiente debe promover crecimiento vegetativo suficiente, formación adecuada de vainas y buen llenado de grano, sin inducir exceso de follaje, retraso en madurez o disminución de la eficiencia económica.

En este sentido, evaluar tratamientos con diferentes niveles de NPK permite identificar el punto en que el cultivo responde positivamente y, al mismo tiempo, observar si dosis superiores dejan de producir beneficios proporcionales. Esta información es clave para formular recomendaciones prácticas, especialmente en unidades productivas donde el costo del fertilizante representa una proporción importante de la inversión agrícola.

En términos prácticos, esta necesidad de validación local también se relaciona con la transferencia tecnológica. Las recomendaciones de fertilización solo son adoptadas por los productores cuando se perciben como comprensibles, económicamente razonables y compatibles con sus recursos. Por ello, un ensayo que compare dosis definidas de NPK bajo condiciones de campo permite transformar principios generales de nutrición vegetal en una orientación aplicable al manejo cotidiano del cultivo. Además, al cuantificar componentes del rendimiento, se facilita explicar al agricultor si el incremento productivo proviene de más vainas, mejor llenado de grano o mayor peso de semilla, aspectos que fortalecen la toma de decisiones agronómicas [34,36].

Bajo este enfoque, la presente investigación contribuye a cerrar una brecha tecnológica en el manejo del frijol variedad cápsula, al evaluar la relación entre fertilización inorgánica y componentes del rendimiento en condiciones agroecológicas específicas. La comparación entre tratamientos y testigo permite reconocer el aporte real de la nutrición mineral sobre variables como número de vainas, granos por vaina, peso de 100 granos y rendimiento por hectárea. Asimismo, los resultados pueden orientar futuras investigaciones que integren análisis de suelo, fertilización orgánica, inoculación biológica y evaluación económica, con el fin de avanzar hacia un manejo más eficiente y sostenible del cultivo en la sierra y selva alta de Huánuco.

Materiales y métodos

La investigación fue de tipo aplicada y de nivel experimental, debido a que buscó comprobar, bajo condiciones de campo, el efecto de diferentes dosis de fertilización inorgánica sobre los componentes del rendimiento del frijol (Phaseolus vulgaris L.) variedad cápsula. El estudio se

ejecutó en la localidad de Cajabamba, distrito de Huacrachuco, provincia de Marañón, región Huánuco, en un ambiente representativo de las condiciones agroecológicas donde los agricultores desarrollan el cultivo. La conducción del ensayo se orientó a generar información práctica para el manejo nutricional del frijol, considerando que la respuesta del cultivo a la fertilización depende de la interacción entre variedad, fertilidad del suelo, clima, disponibilidad de humedad y oportunidad de las labores agronómicas [34,37-38].

El experimento se estableció bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), apropiado para estudios de campo en los que es necesario reducir el efecto de la variabilidad natural del terreno y mejorar la precisión en la comparación de tratamientos [27-29]. Se evaluaron cuatro tratamientos de fertilización inorgánica con cuatro repeticiones, lo que conformó un total de 16 unidades experimentales. Los tratamientos correspondieron a un testigo sin fertilización adicional, identificado como T0, y tres dosis crecientes de fertilización NPK: T1 (20-60-30), T2 (40-80-40) y T3 (60-100-50). La distribución de los tratamientos dentro de cada bloque se realizó al azar, con la finalidad de evitar sesgos por posición y asegurar que las diferencias observadas fueran atribuibles principalmente a las dosis evaluadas.

La población experimental estuvo constituida por 2 496 plantas de frijol establecidas en el área total del ensayo. Para la evaluación de variables se consideró el área neta experimental de cada unidad, excluyendo los bordes con el propósito de disminuir el efecto de competencia lateral y obtener mediciones más representativas del comportamiento real de cada tratamiento. La muestra estuvo conformada por 30 plantas seleccionadas mediante muestreo aleatorio simple, criterio que permitió que cada planta del área útil tuviera la misma probabilidad de ser evaluada. Este procedimiento contribuyó a mejorar la objetividad del registro de datos y a reducir la influencia de variaciones individuales no asociadas con los tratamientos.

El manejo agronómico del cultivo se realizó de manera uniforme en todas las unidades experimentales, de modo que la fertilización inorgánica constituyera el principal factor de comparación. Las labores de preparación del terreno, trazado de parcelas, siembra, control de malezas, manejo sanitario, riego y cosecha se ejecutaron siguiendo prácticas recomendadas para el cultivo de frijol común en sistemas de producción andinos y tropicales [6,37-40]. La aplicación de los fertilizantes se efectuó de acuerdo con las dosis establecidas para cada tratamiento, procurando una distribución homogénea en las parcelas y evitando contaminación entre unidades experimentales. Esta uniformidad operativa fue necesaria para garantizar que la respuesta productiva pudiera relacionarse con el nivel nutricional aplicado.

Las variables evaluadas fueron número de vainas por planta, número de granos por vaina, peso de 100 granos, peso de granos por área neta experimental y rendimiento por hectárea. Para determinar el número de vainas por planta se seleccionaron 10 plantas del área neta experimental de cada unidad, se cosecharon en estado de madurez comercial y se contabilizó el total de vainas, calculándose posteriormente el promedio respectivo. Para el número de granos por vaina se tomaron 10 vainas al azar procedentes del área útil de cada parcela y se registró la cantidad de granos contenidos en cada una. Ambas variables permitieron valorar el efecto de la fertilización sobre la formación de estructuras reproductivas y sobre el potencial de producción por planta.

El peso de 100 granos se obtuvo después de la trilla y limpieza del material cosechado. Para ello se seleccionaron 100 granos al azar por unidad experimental y se pesaron en una balanza de precisión, expresando el resultado en gramos. Esta variable se consideró importante porque refleja el grado de llenado y la uniformidad del grano, aspectos directamente vinculados con la calidad comercial del frijol. El peso de granos por área neta experimental se determinó pesando la producción limpia obtenida en el área útil de cada parcela y se expresó en kilogramos. Finalmente, el rendimiento por

hectárea se calculó mediante la conversión del peso obtenido en el área neta experimental a una superficie equivalente de 10 000 m², procedimiento habitual en la evaluación agronómica de cultivos de grano [30,40].

Los datos registrados fueron organizados en matrices de evaluación por tratamiento y repetición, verificando la consistencia de las unidades de medida antes del análisis estadístico. Posteriormente, se aplicó el Análisis de Varianza (ANDEVA) correspondiente al Diseño de Bloques Completos al Azar, con el propósito de determinar si existían diferencias estadísticas entre las dosis de fertilización evaluadas. Cuando el análisis evidenció significación estadística, se empleó la prueba de Rangos Múltiples de Duncan para comparar los promedios de los tratamientos a niveles de significación de 5 % y 1 %, siguiendo criterios ampliamente utilizados en investigaciones agronómicas experimentales [26-29]. Los resultados se presentaron mediante tablas y figuras, considerando el coeficiente de variabilidad, la desviación estándar y los promedios obtenidos como indicadores de precisión experimental e interpretación productiva.

Resultados

Los resultados expresados en promedios se presentan en cuadros y figuras interpretados estadísticamente con las técnicas estadísticas del Análisis de Varianza (ANDEVA) a fin de establecer las diferencias significativas entre bloques y tratamientos donde los tratamientos que son iguales se denota con (ns), quienes tienen significación (*) y altamente significativos (**).

Para la comparación de los promedios en los tratamientos se aplicó la prueba de significación de Duncan a los niveles de significación de 95 y 99% de probabilidades de éxito.

Número de vainas por planta

Los resultados obtenidos en el Análisis de Varianza y la prueba de significación de Duncan. Respecto al número de vainas por planta indican que no existe significación estadística para repeticiones y alta significación para tratamientos. El coeficiente de variabilidad (CV) es 15.57% y la desviación estándar (Sx) 0.74.

Tabla 1. *Análisis de varianza y prueba de Duncan para número de vainas por planta.*

Fuente de Variabilidad / O.M.	GL.	SC.	CM.	Fc	Ft. 0,05	Ft. 0,01	Tratamientos	Promedio	Significación 0,05	Significación 0,01
Repeticiones	3	0,342	0,114	0,05ns	3,86	6,99				
Tratamientos	3	67,132	22,378	10,10**	3,86	6,99				
Error Exp.	9	19,943	2,216							
Total	15	87,418								
1º							T2	11,875	a	a
2º							T3	10,450	a	a
3º							T1	9,625	a	a
4º							T0	6,300	b	b

C.V. = 15,57 % Sx = 0,74 X̄ = 9,5625

La prueba de Significación de Duncan confirma los resultados del Análisis de Varianza donde los tratamientos T_2 (40-80-40) T_3 (60-100-50) y T_1 (20-60-30) estadísticamente son iguales, superando al tratamiento testigo To (nutrientes del suelo) en ambos niveles de significación. El mayor número

de vainas por planta se obtuvo con el tratamiento T_2 (11 875), superando al testigo T_o que ocupó el último lugar con 6.30 vainas por planta.

Número de granos por vaina

Los resultados obtenidos en el Análisis de Varianza y la prueba de significación de Duncan, especto al número de granos por vainas indican que no existe significación estadística para repeticiones y significación para tratamientos. El coeficiente de variabilidad (CV) es 4.93% y la desviación estándar (Sx) 0.74.

Tabla 2. *Análisis de varianza y prueba de Duncan para número de granos por vaina.*

Fuente de Variabilidad / O.M.	GL.	SC.	CM.	Fc	Ft. 0,05	Ft. 0,01	Tratamientos	Promedio	Significación 0,05	Significación 0,01
Repeticiones	3	0,362	0,121	3,10ns	3,86	6,99				
Tratamientos	3	0,657	0,219	5,62*	3,86	6,99				
Error Exp.	9	0,351	0,039							
Total	15	1,369								
1º							T1	4,28	a	a
2º							T2	4,13	a	a
3º							T0	3,85	b	a
4º							T3	3,78	c	b

C.V. = 4,93 % **Sx = 0,74** **$\bar{X}$ = 4,01**

La prueba de Significación de Duncan confirma los resultados del Análisis de Varianza donde al nivel del 5% los tratamientos T_1 (20-60-30) y T_2, (40-80-40) estadísticamente son iguales, superando a los demás tratamientos To (nutrientes del suelo) y T_3 (60-100-50).

Al nivel del 1% los tratamientos T_1 (20-60-30) T_2 (40-80-40) y testigo To (nutrientes del suelo) estadísticamente son iguales, superando al tratamiento T_3 (60-100-50) quien ocupó el último lugar. El mayor número de granos por vainas lo obtuvo el tratamiento T_1 (20-60-30) con 4.28 granos, superando al testigo T_o que ocupó el tercer lugar con 3.85.

Peso de 100 granos

Los resultados obtenidos en el Análisis de Varianza y la prueba de significación de Duncan, respecto al peso de 100 granos, indican que no existe significación estadística para repeticiones y alta significación para tratamientos. El coeficiente de variabilidad (CV) es 3.13% y la desviación estándar (Sx) 0.96.

Tabla 3. *Análisis de varianza y prueba de Duncan para peso de 100 granos.*

Fuente de Variabilidad / O.M.	GL.	SC.	CM.	Fc	Ft. 0,05	Ft. 0,01	Tratamientos	Promedio (g)	Significación 0,05	Significación 0,01
Repeticiones	3	8,688	2,896	0,79ns	3,86	6,99				
Tratamientos	3	128,688	42,896	11,68**	3,86	6,99				
Error Exp.	9	33,063	3,674							
Total	15	170,438								
1º							T2	65,00	a	a
2º							T1	61,50	b	a
3º							T3	61,25	b	a
4º							T0	57,00	c	b

C.V. = 3,13 % **Sx = 0,96** **$\bar{X}$ = 61,1875**

La prueba de Significación de Duncan confirma los resultados del Análisis de Varianza donde al nivel del 5% el tratamiento T_2 (40-80-40) supera estadísticamente a los demás tratamientos. Al nivel del 1% los tratamientos T_2 (40-80-40), T_1 (20-60-30) y T_3 (60-100-50) estadísticamente son iguales, superando al testigo To (nutrientes del suelo) quien ocupó el último lugar. El mayor peso de 100 granos lo obtuvo el tratamiento T_2 con 65.00 gramos superando al testigo T_o que ocupó el tercer lugar con 57.00

Peso de granos por área neta experimental

Los resultados en el Análisis de Varianza y la prueba de significación de Duncan, respecto al peso de 100 granos, por área neta experimental indican que no existe significación estadística para repeticiones y alta significación para tratamientos. El coeficiente de variabilidad (CV) es 10.14% y la desviación estándar (Sx) 0.04.

Tabla 4. *Análisis de varianza y prueba de Duncan para peso de granos por área neta experimental.*

Fuente de Variabilidad / O.M.	GL.	SC.	CM.	Fc	Ft. 0,05	Ft. 0,01	Tratamientos	Promedio (kg)	Significación 0,05	Significación 0,01
Repeticiones	3	0,015	0,005	0,87ns	3,86	6,99				
Tratamientos	3	0,323	0,108	18,54**	3,86	6,99				
Error Exp.	9	0,052	0,006							
Total	15	0,390								
1º							T2	0,84375	a	a
2º							T3	0,83550	a	a
3º							T1	0,82025	a	a
4º							T0	0,50575	b	b

C.V. = 10,14 % **Sx = 0,04** **$\bar{X}$ = 0,7513125**

La prueba de Significación de Duncan confirma los resultados del Análisis de Varianza donde los tratamientos T_2 (40-80-40) T_3 (60-100-50) y T_1 (20-60-30) estadísticamente son iguales, superando al tratamiento testigo To (nutrientes del suelo) en ambos niveles de significación. El mayor peso de granos por área neta experimental lo obtuvo el tratamiento T_2 con 0.84375 kilos, superando al testigo T_o que ocupó el último lugar con 0.50575 kilos por área neta experimental.

Rendimiento por hectárea

Los resultados en el Análisis de Varianza y la prueba de significación de Duncan, respecto al rendimiento por hectárea indican que no existe significación estadística para repeticiones y alta significación para tratamientos. El coeficiente de variabilidad (CV) es 10.23% y la desviación estándar (Sx) 0.21.

Tabla 5. *Análisis de varianza y prueba de Duncan para rendimiento por hectárea.*

Fuente de Variabilidad / O.M.	GL.	SC.	CM.	Fc	Ft. 0,05	Ft. 0,01	Tratamientos	Promedio (kg/ha)	Significación 0,05	Significación 0,01
Repeticiones	3	0,586	0,195	1,08ns	3,86	6,99				
Tratamientos	3	9,790	3,263	18,01**	3,86	6,99				
Error Exp.	9	1,631	0,181							
Total	15	12,008								
1º							T2	4 687,50	a	a
2º							T3	4 593,25	a	a
3º							T1	4 557,25	a	a
4º							T0	2 809,50	b	b

C.V. = 10,23 % **Sx = 0,21** **$\bar{X}$ = 4 161,875**

La prueba de Significación de Duncan confirma los resultados del Análisis de Varianza donde los tratamientos T_2, (40-80-40) T_3 (60-100-50) y T_1 (20-60-30) estadísticamente son iguales, superando al tratamiento testigo T_o (nutrientes del suelo) en ambos niveles de significación. El mayor rendimiento por hectárea, lo obtuvo el tratamiento T_2 con 4 687.5 kg, superando al testigo T_o que ocupó el último lugar con 2 809.5 kg, por hectárea.

Discusión

Los resultados obtenidos evidencian que la aplicación de fertilización inorgánica incrementó significativamente el número de vainas por planta. Esta respuesta es coherente con la literatura agronómica sobre nutrición mineral, la cual señala que el frijol requiere una disponibilidad equilibrada de nitrógeno, fósforo y potasio para expresar su potencial productivo, sostener el crecimiento vegetativo, favorecer la formación de estructuras reproductivas y mejorar el llenado de grano [12,13,34,41]. Asimismo, los estudios sobre manejo nutricional del frijol resaltan que la eficiencia del fertilizante depende del estado inicial del suelo, de la dosis aplicada y de la sincronía entre la disponibilidad de nutrientes y la demanda fisiológica del cultivo [35,36,43].

Los valores obtenidos en número de vainas por planta deben interpretarse dentro del contexto agroecológico específico del ensayo, ya que este componente del rendimiento suele variar por la interacción entre variedad, fertilidad del suelo, humedad disponible, densidad de siembra y manejo nutricional. La evidencia reciente muestra que la fertilización y la inoculación pueden modificar la expresión de componentes como vainas por planta y rendimiento final, especialmente cuando existen limitaciones de nitrógeno o fósforo en el suelo [35,36,44].

Respecto al número de granos por vaina, los resultados sugieren que la fertilización debe ajustarse al objetivo productivo y a la fertilidad del suelo. En leguminosas de grano, el manejo del nitrógeno requiere especial cuidado, porque aplicaciones excesivas pueden reducir la contribución de la fijación biológica, mientras que dosis insuficientes limitan el crecimiento inicial y la formación de estructuras reproductivas [8,24,42].

El mayor peso de 100 granos obtenido con el tratamiento T2 concuerda con el papel fisiológico del potasio en el transporte de fotoasimilados, la regulación osmótica y el llenado de semillas. En consecuencia, una dosis intermedia y balanceada puede favorecer la translocación de carbohidratos hacia el grano sin inducir un crecimiento vegetativo excesivo [12,13,41].

El incremento del peso de granos por área neta experimental y del rendimiento por hectárea se relaciona con la función del nitrógeno en la síntesis de proteínas, la expansión foliar y la acumulación de biomasa. Sin embargo, en frijol común esta respuesta debe analizarse junto con la nodulación y la fijación biológica, porque el suministro de nitrógeno mineral puede interactuar positiva o negativamente con la simbiosis Rhizobium-leguminosa según la dosis y las condiciones edáficas [7,8,24,44].

Los resultados también pueden explicarse mediante principios generales de fertilidad del suelo, como la reposición de nutrientes extraídos, la ley del mínimo y la respuesta decreciente ante incrementos sucesivos de fertilizante. Estos principios ayudan a comprender por qué una dosis intermedia puede superar a una dosis mayor cuando el cultivo ya alcanzó un nivel suficiente de disponibilidad nutricional o cuando otro factor ambiental limita la respuesta [19,21,42].

El rendimiento obtenido en el tratamiento T2 es consistente con reportes recientes que muestran que el frijol común puede alcanzar respuestas productivas elevadas cuando se integran fertilización, densidad adecuada y manejo agronómico oportuno. No obstante, la magnitud de

la respuesta varía entre ambientes, tipos de suelo y materiales genéticos, por lo que la validación local continúa siendo necesaria antes de establecer recomendaciones generalizadas [34,35,36].

Sin embargo, los rendimientos obtenidos en el presente estudio deben compararse con prudencia frente a otros ensayos, porque las diferencias pueden derivarse del manejo experimental, la fertilidad inicial del suelo, la disponibilidad de agua, la sanidad del cultivo y la adaptación de la variedad a la zona de evaluación. Las revisiones agronómicas sobre frijol común recomiendan interpretar el rendimiento como una respuesta integrada de ambiente, genotipo y manejo [34,42].

La superioridad del tratamiento T2 permite interpretar que la dosis intermedia de fertilización generó un balance más favorable entre disponibilidad de nutrientes y capacidad fisiológica de aprovechamiento por la planta. En cultivos de frijol, el rendimiento final se construye mediante la acumulación sucesiva de biomasa, la formación de estructuras reproductivas y la redistribución de fotoasimilados hacia el grano. Cuando la fertilización aporta nutrientes en proporciones adecuadas, el cultivo puede sostener mayor área foliar funcional durante floración y llenado, lo que se expresa en más vainas y mayor peso de grano. Sin embargo, cuando la dosis aumenta sin que exista una demanda proporcional, la respuesta puede estabilizarse o incluso disminuir por efectos de desequilibrio nutricional, mayor crecimiento vegetativo o cambios en la relación fuente-demanda.

Este comportamiento es coherente con estudios sobre extracción y exportación de macronutrientes en frijol, en los que se observa que las mayores demandas de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio ocurren durante fases cercanas a la formación de vainas, especialmente entre 45 y 55 días después de la emergencia [41]. En ese periodo, la planta requiere un suministro suficiente de nutrientes para sostener la transición desde crecimiento vegetativo hacia crecimiento reproductivo. Por ello, los resultados del presente ensayo, donde T2 alcanzó 11,88 vainas por planta y mayor peso de 100 granos, sugieren que la dosis 40-80-40 favoreció una disponibilidad oportuna de nutrientes durante las etapas críticas del cultivo, mientras que el testigo dependió únicamente de la fertilidad natural del suelo y mostró menor capacidad para sostener la productividad.

La respuesta en rendimiento por hectárea también puede explicarse a partir de la función diferenciada de cada macronutriente. El nitrógeno favorece crecimiento inicial, expansión foliar y síntesis proteica, pero en exceso puede afectar la fijación biológica y promover una arquitectura vegetativa que no necesariamente se traduce en más grano. El fósforo estimula desarrollo radical, floración, transferencia de energía y nodulación, aspectos esenciales en leguminosas. El potasio participa en transporte de azúcares, regulación osmótica y llenado de semillas, por lo que su disponibilidad se relaciona con el peso de 100 granos. En este estudio, la mayor masa de semilla obtenida con T2 indica que la planta no solo produjo vainas, sino que también logró llenar adecuadamente los granos, resultado que coincide con la importancia de la nutrición balanceada durante la fase reproductiva.

El hecho de que T3 no superara claramente a T2, a pesar de contener una dosis más alta, es un hallazgo agronómicamente relevante. Un metaanálisis de fertilización nitrogenada en frijol común en sistemas de siembra directa en Brasil mostró que la probabilidad de respuesta positiva al nitrógeno es alta, pero que la magnitud del incremento depende de la materia orgánica del suelo, el cultivo precedente, la dosis y el fraccionamiento de la aplicación [42]. De acuerdo con ese enfoque, no toda mayor aplicación de fertilizante se traduce automáticamente en mayor rendimiento. En el presente caso, la proximidad estadística entre T2, T3 y T1 en algunas variables indica que el cultivo respondió a la fertilización en general, pero que la dosis intermedia fue suficiente para alcanzar el máximo desempeño observado bajo las condiciones evaluadas.

La interpretación de los resultados debe considerar también la eficiencia de uso de nutrientes, porque una dosis agronómicamente superior no siempre es la más rentable o sostenible. La diferencia entre T2 y T3 en rendimiento por hectárea fue reducida, pero T2 utilizó menor cantidad de fertilizante, lo que sugiere mayor eficiencia relativa por unidad de nutriente aplicado. Esta observación es importante para pequeños productores, ya que la decisión de fertilizar depende del costo de insumos, disponibilidad de capital y riesgo climático. Si una dosis menor logra rendimientos iguales o superiores a una dosis mayor, la recomendación debe favorecer aquella que permita mejores márgenes económicos y menor riesgo ambiental por pérdidas de nutrientes.

Los resultados se relacionan además con investigaciones recientes sobre co-inoculación y reducción de fertilización NPK, donde se reporta que la eficiencia del manejo nutricional puede mejorar cuando la fertilización mineral se articula con microorganismos promotores del crecimiento y bacterias fijadoras de nitrógeno [43]. Aunque el presente estudio no evaluó inoculación, la evidencia permite plantear que futuros ensayos en Huacrachuco podrían comparar la fertilización inorgánica con estrategias integradas que incluyan rizobios, materia orgánica o biofertilizantes. Esta línea de trabajo sería pertinente porque el frijol, al ser leguminosa, posee capacidad de simbiosis, pero dicha capacidad puede limitarse por acidez, baja disponibilidad de fósforo, sequía o presencia de cepas nativas poco eficientes.

En cuanto al número de granos por vaina, la respuesta menos marcada frente a otras variables puede estar asociada con un componente de mayor control genético. En muchas leguminosas, el número de granos por vaina presenta menor plasticidad que el número de vainas por planta o el peso del grano, por lo que la fertilización tiende a influir más en la capacidad de sostener vainas y llenar semillas que en modificar la estructura básica de la vaina. Esta explicación concuerda con la diferencia observada entre tratamientos: aunque T1 obtuvo el mayor número de granos por vaina, T2 alcanzó el mayor rendimiento por hectárea, lo cual demuestra que el rendimiento final dependió de la integración de varios componentes y no de una sola variable.

La comparación con estudios de respuesta a nitrógeno e inoculación en frijol confirma que el manejo nutricional debe ajustarse a la condición agroecológica y al estado de fertilidad del suelo. Barros et al. reportaron que la interacción entre fertilización nitrogenada e inoculación puede modificar crecimiento y rendimiento, mostrando que la respuesta del frijol no depende únicamente de la dosis de fertilizante, sino también de procesos biológicos asociados con la nutrición nitrogenada [44]. En ese sentido, la dosis T2 puede considerarse una alternativa tecnológicamente viable para las condiciones del experimento, pero no debe asumirse como una recomendación universal sin validación en otros ciclos agrícolas, tipos de suelo y niveles de humedad.

Finalmente, el rendimiento de 4 687,5 kg/ha obtenido con T2 es alto en comparación con los valores usualmente reportados para sistemas tradicionales de pequeña agricultura, lo que evidencia el potencial productivo de la variedad cápsula cuando recibe manejo nutricional adecuado. No obstante, la interpretación debe ser prudente, porque los ensayos experimentales suelen realizarse con control más riguroso de labores culturales que las parcelas comerciales. Por ello, antes de transferir la recomendación a productores, conviene complementar estos resultados con análisis de rentabilidad, evaluación de fertilidad inicial del suelo, seguimiento de humedad y validaciones participativas. Aun así, el estudio demuestra que la fertilización inorgánica, aplicada en dosis balanceadas, constituye una herramienta efectiva para elevar la productividad del frijol en Cajabamba, Huacrachuco, y ofrece una base técnica para mejorar la competitividad de este cultivo en la región.

Conclusiones

La dosis de fertilización tuvo efecto significativo, al reportar resultados en número de vainas por planta de 11.88 (T_2); en número de vainas por planta 11.875; granos por vaina con 4.28 granos y en peso de 100 granos con 65 gramos del cultivo de frijol.

Los mejores resultados se obtuvieron con la dosis de fertilización del tratamiento T_2 (40-80-40) en el peso de granos por área neta experimental con 0.84 kg que al ser transformados a hectárea fue de 4 687.5 kg/ha.

Existen diferencias significativas entre las diferentes dosis de fertilización diferentes del testigo, en el peso de granos por hectárea, que obtuvieron 4 687.5 (T_2) 4 593.25 (T_3) y 4 557.25 (T_1) kg/ha.

Acerca de

Financiamiento: El autor declara que no recibieron financiamiento para esta investigación.

Conflicto de interés: El autor declara no tener conflicto de intereses.

Certificación ética: El protocolo del presente estudio fue sometido a revisión y aprobado por el Comité de Ética en Investigación de la Universidad, en cumplimiento de los principios éticos y normativas institucionales aplicables.

Historia del artículo: Artículo recibido 17 de febrero 2026| Aceptado 29 de abril 2026 | Publicado 14 de mayo 2026.

Referencias

1. Gobierno Regional de Huánuco. Plan Estratégico Institucional 2024-2028 del Gobierno Regional Huánuco. Huánuco: Gobierno Regional de Huánuco; 2024. https://datos.regionhuanuco.gob.pe/publico/PEI%202024-2028%20GORE%20HUANUCO%20FINAL_27jun2024%20RER%20350.pdf
2. Instituto Nacional de Estadística e Informática. IV Censo Nacional Agropecuario 2012: resultados definitivos. Lima: INEI; 2013. https://proyectos.inei.gob.pe/web/DocumentosPublicos/ResultadosFinalesIVCENAGRO.pdf
3. Food and Agriculture Organization of the United Nations. World Pulses Day. Rome: FAO; s.f. https://www.fao.org/world-pulses-day/en
4. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Pulses: nutritious seeds for a sustainable future. Rome: FAO; 2016. https://www.fao.org/3/i5528e/i5528e.pdf
5. Instituto Nacional de Investigación Agraria. El cultivo del frijol (Phaseolus vulgaris L.) en la costa del Perú. Lima: INIA; 2001. https://repositorio.inia.gob.pe/items/f957e8cf-412b-4fd5-a929-98cc85747427
6. Vásquez García J, Vilca Valqui NC. Manual de manejo agronómico de frijol en regiones andinas. Lima: Instituto Nacional de Innovación Agraria; 2023. https://repositorio.inia.gob.pe/items/8939522f-b00b-490f-bb3b-b4039df15527
7. Broughton WJ, Hernández G, Blair M, Beebe S, Gepts P, Vanderleyden J. Beans (Phaseolus spp.)—model food legumes. Plant Soil. 2003;252:55-128. https://doi.org/10.1023/A:1024146710611
8. Graham PH, Vance CP. Legumes: importance and constraints to greater use. Plant Physiol. 2003;131(3):872-877. https://doi.org/10.1104/pp.017004

9. Beebe SE, Rao IM, Blair MW, Acosta-Gallegos JA. Phenotyping common beans for adaptation to drought. Front Physiol. 2013;4:35. https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00035

10. Porch TG, Beaver JS, Debouck DG, Jackson SA, Kelly JD, Dempewolf H. Use of wild relatives and closely related species to adapt common bean to climate change. Agronomy. 2013;3(2):433-461. https://doi.org/10.3390/agronomy3020433

11. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Morfología de la planta de frijol común. Cali: CIAT; 1984. https://hdl.handle.net/10568/81884

12. Marschner P, editor. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. 3rd ed. London: Academic Press; 2012. https://doi.org/10.1016/C2009-0-63043-9

13. Fageria NK, Baligar VC, Jones CA. Growth and Mineral Nutrition of Field Crops. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press; 2011. https://doi.org/10.1201/b10160

14. Hayat I, Ahmad A, Masud T, Ahmed A, Bashir S. Nutritional and health perspectives of beans (Phaseolus vulgaris L.): an overview. Crit Rev Food Sci Nutr. 2014;54(5):580-592. https://doi.org/10.1080/10408398.2011.596639

15. Messina V. Nutritional and health benefits of dried beans. Am J Clin Nutr. 2014;100 Suppl 1:437S-442S. https://doi.org/10.3945/ajcn.113.071472

16. Pujolà M, Farreras A, Casañas F. Protein and starch content of raw, soaked and cooked beans (Phaseolus vulgaris L.). Food Chem. 2007;102(4):1034-1041. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.06.039

17. Bessada SMF, Barreira JCM, Oliveira MBPP. Pulses and food security: dietary protein, digestibility, bioactive and functional properties. Trends Food Sci Technol. 2019;93:53-68. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.08.022

18. White PJ, Broadley MR. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets. New Phytol. 2009;182(1):49-84. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02738.x

19. Epstein E, Bloom AJ. Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. 2nd ed. Sunderland: Sinauer Associates; 2005. https://global.oup.com/academic/product/mineral-nutrition-of-plants-9780878931729

20. Taiz L, Zeiger E, Møller IM, Murphy A. Plant Physiology and Development. 6th ed. Sunderland: Sinauer Associates; 2015. https://global.oup.com/academic/product/plant-physiology-and-development-9781605357454

21. Havlin JL, Tisdale SL, Nelson WL, Beaton JD. Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management. 8th ed. Boston: Pearson; 2014. https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/soil-fertility-and-fertilizers/P200000006651

22. Buttery BR, Park SJ, Findlay WI. Growth and yield of white bean (Phaseolus vulgaris L.) in response to nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer and to inoculation with Rhizobium. Can J Plant Sci. 1987;67(2):425-432. https://doi.org/10.4141/cjps87-061

23. Chekanai V, Chikowo R, Vanlauwe B. Response of common bean (Phaseolus vulgaris L.) to nitrogen, phosphorus and rhizobia inoculation across variable soils in Zimbabwe. Agric Ecosyst Environ. 2018;266:167-173. https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.08.010

24. Reinprecht Y, Schram L, Marsolais F, Smith TH, Hill B, Pauls KP. Effects of nitrogen application on nitrogen fixation in common bean production. Front Plant Sci. 2020;11:1172. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01172

25. Zamukulu PM, Bagula EM, Mondo JM, Chuma GB, Safina FB, Cishesa TH, et al. Optimization of plant density and fertilizer application to improve biofortified common bean (Phaseolus vulgaris L.) yield

on Nitisols of South-Kivu, Eastern D.R. Congo. Heliyon. 2023;9(6):e17293. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17293

26. Duncan DB. Multiple range and multiple F tests. Biometrics. 1955;11(1):1-42. https://doi.org/10.2307/3001478

27. Gomez KA, Gomez AA. Statistical Procedures for Agricultural Research. 2nd ed. New York: Wiley; 1984. https://books.google.com/books?id=PVNQAQAAMAAJ

28. Montgomery DC. Design and Analysis of Experiments. 10th ed. Hoboken: Wiley; 2019. https://www.wiley.com/en-us/Design+and+Analysis+of+Experiments%2C+10th+Edition-p-9781119492443

29. Steel RGD, Torrie JH, Dickey DA. Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach. 3rd ed. New York: McGraw-Hill; 1997. https://search.worldcat.org/title/36245767

30. Schwartz HF, Pastor-Corrales MA, editors. Bean Production Problems in the Tropics. 2nd ed. Cali: CIAT; 1989. http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/biblioteca/Bean_Production_Problems_in_the_Tropics.pdf

31. Lisciani S, Marconi S, Le Donne C, Camilli E, Aguzzi A, Gabrielli P, et al. Legumes and common beans in sustainable diets: nutritional quality, environmental benefits, spread and use in food preparations. Front Nutr. 2024;11:1385232. https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1385232

32. Celmeli T, Sari H, Canci H, Sari D, Adak A, Eker T, et al. The Nutritional Content of Common Bean (Phaseolus vulgaris L.) Landraces in Comparison to Modern Varieties. Agronomy. 2018;8(9):166. https://doi.org/10.3390/agronomy8090166

33. Nchanji EB, Ageyo OC. Do Common Beans (Phaseolus vulgaris L.) Promote Good Health in Humans? A Systematic Review and Meta-Analysis of Clinical and Randomized Controlled Trials. Nutrients. 2021;13(11):3701. https://doi.org/10.3390/nu13113701

34. Karavidas I, Ntatsi G, Vougeleka V, Karkanis A, Ntanasi T, Saitanis C, et al. Agronomic Practices to Increase the Yield and Quality of Common Bean (Phaseolus vulgaris L.): A Systematic Review. Agronomy. 2022;12(2):271. https://doi.org/10.3390/agronomy12020271

35. Zamukulu PM, Bagula EM, Mondo JM, Chuma GB, Safina FB, Cishesa TH, et al. Optimization of plant density and fertilizer application to improve biofortified common bean (Phaseolus vulgaris L.) yield on Nitisols of South-Kivu, Eastern D.R. Congo. Heliyon. 2023;9(6):e17293. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17293

36. Chekanai V, Chikowo R, Vanlauwe B. Response of common bean (Phaseolus vulgaris L.) to nitrogen, phosphorus and rhizobia inoculation across variable soils in Zimbabwe. Agric Ecosyst Environ. 2018;266:167-173. https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.08.010

37. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Repositorio Institucional UNAS. Tingo María: UNAS; s.f. https://repositorio.unas.edu.pe/

38. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Frijol: investigación y producción. Cali: CIAT; 1985. http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/2015/14304.pdf

39. White JW, Valencia GCA, Gómez de Enciso C. Conceptos básicos de la fisiología del frijol. Cali: CIAT; 1988. https://cgspace.cgiar.org/items/a567e71f-bb61-4648-843e-ce9f75cbd43c

40. Díaz D A, Castillo L J. El riego del frijol (Phaseolus vulgaris) en CIAT. Cali: CIAT; 1982. https://cgspace.cgiar.org/items/b2ee43b9-368d-4fbf-bd87-57aae8f49de3

41. Soratto RP, Fernandes AM, Santos LA, Job ALG. Nutrient extraction and exportation by common bean cultivars under different fertilization levels: I-macronutrients. Rev Bras Cienc Solo. 2013;37(4):1027-1042. https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000400020

42. Monteiro Filho AF, Coelho AP, Souza MFP, Bettiol JVT, Souza EFC, Lemos LB. Common bean yield responses to nitrogen fertilization in Brazilian no-till soils: a meta-analysis. Rev Bras Cienc Solo. 2022;46:e0220022. https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20220022

43. Mortinho ES, Jalal A, Oliveira CES, Fernandes GC, Buzetti S, Teixeira Filho MCM. Co-inoculations with plant growth-promoting bacteria in the common bean to increase efficiency of NPK fertilization. Agronomy. 2022;12(6):1325. https://doi.org/10.3390/agronomy12061325

44. Barros RLN, Oliveira LB, Magalhães WB, Pimentel C. Growth and yield of common bean as affected by seed inoculation with rhizobium and nitrogen fertilization. Exp Agric. 2018;54(1):16-30. https://doi.org/10.1017/S0014479716000521