



Relación entre conteo de nódulos, rendimiento del frejol y aplicación fosfatada

Relationship among nodule content, cowpea yield and phosphate application

Relação entre conteúdo de nódulos do feijão e aplicação fosfatada

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i27.400>

Antonia Elizabeth Medina Paredes¹
ing.elizabeth86@hotmail.com

Kentaro Tomita²
ktomita@espol.edu.ec

Juan Alberto Bottino Fernández¹
jabfer@yahoo.com.ar

¹Universidad Nacional de Pilar (UNP). Pilar, Paraguay

²Universidade de Shinshu. Nagano, Japón

Artículo recibido: 3 de julio 2025 / Arbitrado: 28 de agosto 2025 / Publicado: 10 de septiembre 2025

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el efecto de la fertilización fosfatada sobre conteo de nódulos y rendimiento del grano en frejol (*Vigna unguiculata*) variedad San Francisco-I, Método: se realizó un experimento en Medina, Ñeembucú, Paraguay. El suelo experimental fue Entisol (Typic Psammaquent), con baja fertilidad y bajo contenido de fósforo. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones y cinco niveles de fertilización fosfatada (0, 25, 50, 100 y 200 kg P₂O₅/ha). A los 60 días se evaluó el conteo de nódulos por planta y al momento de cosecha se midió el rendimiento de grano. Los resultados mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en conteo de nódulos y diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) en rendimiento de grano según niveles de fosfato aplicados, observándose relación positiva entre nodulación y productividad. Conclusiones: El tratamiento con 50 kg P₂O₅/ha presentó el mayor beneficio económico, considerándose la dosis óptima para condiciones de baja fertilidad.

Palabras clave: Aplicación fosfatada; Conteo de nódulos; Entisol; Frejol; Rendimiento del grano; *Vigna unguiculata*

ABSTRACT

With the objective of evaluating the effect of phosphated fertilization on nodule count and grain yield in cowpea (*Vigna unguiculata*) variety San Francisco-I, a method was implemented in Medina, Ñeembucú, Paraguay. The experimental soil was Entisol (Typic Psammaquent), with low fertility and low phosphorus content. A completely randomized block design with four replications and five levels of phosphated fertilization (0, 25, 50, 100, and 200 kg P₂O₅/ha) was used. At 60 days, nodule count per plant was evaluated, and at harvest time, grain yield was measured. The results showed significant differences ($p < 0.05$) in nodule count and highly significant differences ($p < 0.01$) in grain yield according to the applied phosphate levels, with a positive relationship observed between nodulation and productivity. The conclusions indicated that the treatment with 50 kg P₂O₅/ha presented the greatest economic benefit, being considered the optimal dose for low fertility conditions.

Key words: Cowpea; Entisol; Grain yield; Phosphate application; Root nodules; *Vigna unguiculata*

RESUMO

Com o objetivo de avaliar o efeito da fertilização fosfatada sobre a contagem de nódulos e o rendimento do grão em feijão (*Vigna unguiculata*) variedade San Francisco-I, um método foi realizado em Medina, Ñeembucú, Paraguai. O solo experimental foi Entisol (Typic Psammaquent), com baixa fertilidade e baixo teor de fósforo. Foi utilizado um desenho de blocos completamente ao acaso com quatro repetições e cinco níveis de fertilização fosfatada (0, 25, 50, 100 e 200 kg P₂O₅/ha). Aos 60 dias, foi avaliada a contagem de nódulos por planta e, no momento da colheita, foi medido o rendimento do grão. Os resultados mostraram diferenças significativas ($p < 0,05$) na contagem de nódulos e diferenças altamente significativas ($p < 0,01$) no rendimento do grão de acordo com os níveis de fosfato aplicados, observando-se uma relação positiva entre nodulação e produtividade. As conclusões indicaram que o tratamento com 50 kg P₂O₅/ha apresentou o maior benefício econômico, sendo considerada a dose ótima para condições de baixa fertilidade.

Palavras-chave: Aplicação fosfatada; Conteúdo de nódulos; Entissolo; Feijão-caupi; Rendimento de grãos; *Vigna unguiculata*

INTRODUCCIÓN

El cultivo de frejol se destaca entre las principales leguminosas cultivadas para la alimentación humana, adaptándose perfectamente a las condiciones climáticas de la zona de Ñeembucú por ser un cultivo no muy exigente al tipo de suelo (1). Como todas las leguminosas, mejora la fertilidad del suelo a través de la fijación del nitrógeno atmosférico por las bacterias (*Rhizobium* sp.) que viven en simbiosis con la planta, formando nódulos en las raíces y proporcionando una apreciable cantidad de materia orgánica al terreno (2-4).

Además, ofrecen la gran ventaja de poder cultivarse asociado o intercalado con diversos cultivos, lo que permite un mejor aprovechamiento de la tierra. Las leguminosas mejoran la fertilidad del suelo gracias a la fijación de nitrógeno atmosférico por las bacterias (*Rhizobium* sp.), constituyendo un alimento nutritivo y de fácil digestión.

En el terreno seleccionado para el diseño experimental se determinó mediante el análisis de suelo el bajo contenido de fosfato para el cultivo de frejol (*Vigna unguiculata*). El suelo se clasifica como Entisol (Typic Psammaquent) según la taxonomía de suelos de Estados Unidos de América (5). Debido a esta situación se planteó realizar un trabajo experimental para determinar la cantidad de nódulos presentes en la raíz durante el estado vegetativo final y el rendimiento del grano con diferentes niveles de aplicación fosfatada.

En el departamento ya se han realizado investigaciones relacionadas al cultivo de frejol, pero aún no se había ejecutado ningún experimento relacionado con el conteo de nódulos del cultivo de frejol con aplicación fosfatada. Por ello se considera de gran importancia este trabajo para los agricultores de la zona, ya que a mayor cantidad de nódulos existe una mayor fijación de nitrógeno, lo que significa un aumento en el contenido de materia orgánica del suelo.

El experimento se llevó a cabo en la localidad de Medina, Distrito de Pilar, en el Departamento de Ñeembucú, Paraguay, durante el año 2010.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño experimental: Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con 4 repeticiones. Las unidades experimentales fueron de 2,80 m de largo por 2,50 m de ancho = 7,0 m² con cuatro hileras. La distancia entre hileras fue de 70 cm, la distancia entre plantas fue de 30 cm, con una cantidad de 9 plantas por hilera y camineros de 0,50 cm (4). El área útil fue de 2,45 m² (1,40 m × 1,75 m), conteniendo 14 plantas cada parcela.

Se evaluaron 5 niveles de fosfato: 0, 25, 50, 100 y 200 kg P₂O₅/ha, utilizando Superfosfato Triple (con contenido de 46% P₂O₅). La aplicación de fertilizante fue en banda al momento de la siembra. La siembra se realizó el 6 de septiembre y la cosecha el 30 de noviembre del año 2010.

Conteo de nódulos por planta: Se realizó el conteo de nódulos el 29 de octubre de 2010 (estado vegetativo final). Se tomaron al azar 8 muestras de plantas fuera del área útil para medir el conteo de nódulos en cada tratamiento.

Características agronómicas del frejol y rendimiento del grano: Se evaluaron las características agronómicas como cantidad de semillas por vaina y número de vainas por planta después de la cosecha (30 de noviembre de 2010) dentro del área útil (12 muestras). Las vainas con semillas se secaron al aire y se separaron vainas y semillas en cada tratamiento. Posteriormente se secaron las semillas al aire para corregir el porcentaje de humedad (aproximadamente 14%). Finalmente se pesaron usando balanza electrónica y se calcularon por hectárea en cada tratamiento.

Análisis de características químicas del suelo: Para el análisis de suelos se tomaron muestras al azar en cinco puntos del campo antes de la siembra y la fertilización, mezclándolas en un punto del campo. Las muestras se enviaron al Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Asunción. Se utilizó agua destilada (agua: suelo = 1:1) para determinar el valor de pH, la solución extractora de Mehlich No. 1 (0,05 M HCl + 0,125 M H₂SO₄) para determinar P y K disponibles, la solución de KCl al 1M para determinar Ca, Mg y Al intercambiables, y el método de Walkley-Black para determinar materia orgánica (6,7).

Análisis de tejido vegetal en el grano: Se seleccionaron granos de cada tratamiento después de la cosecha, coordinándose con dos réplicas para el análisis en cada tratamiento. Después de medir los granos con 14% de humedad, fueron secados en horno durante una semana. El análisis de tejido vegetal se realizó en la Fundación Nikkei-CETAPAR (Centro Tecnológico Agropecuario del Paraguay). Se utilizó el método de Kjeldahl para determinar el contenido de N, y el método de ácido nítrico más ácido perclórico para determinar el contenido de elementos mayores como P, K, Ca, Mg y S. El valor seco (%) en los granos seleccionados fue aproximadamente 86%, utilizándose como valor fresco $\times 0,86 =$ seco, calculando la absorción de macronutrientes en el grano seco (kg/ha) (7).

Se evaluó también la aplicación económica fosfatada en el cultivo de frejol para establecer la producción sustentable con bajos insumos (8,9).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características químicas del suelo antes de la siembra: La Tabla 1, muestra los resultados de las características químicas del suelo antes de la siembra. Se observó bajo contenido de P, K, Ca, Mg y M.O. a una profundidad de 0 a 20 cm, deduciéndose una baja fertilidad de la parcela experimental.

Tabla 1. Caracterización química del suelo experimental.

Prof (cm)	Clase Textual	pH	M.O. (%)	P ppm	Ca	Mg	K cmol _c /kg	Na	H+Al
0-20	areno franco	6,02	0,27	2,04	1,63	1,06	0,15	0,02	0

Dinámica del conteo de nódulos por tratamiento:

La Figura 1, muestra el conteo del número de nódulos por planta según los niveles de aplicación fosfatada. El conteo se realizó 53 días después de la siembra antes de la floración. Los resultados del análisis de varianza mostraron diferencias significativas al 5% en el número de nódulos por planta entre los diferentes niveles de fosfato

aplicado, donde los tratamientos 2 y 3 presentaron mayor cantidad de nódulos. La prueba de Duncan no mostró diferencias entre estos dos tratamientos, considerándose iguales pero superiores a los otros tratamientos. Se evidenció un aumento del número de nódulos con la aplicación adecuada de fosfato, mientras que se observó bajo número por planta sin aplicación.

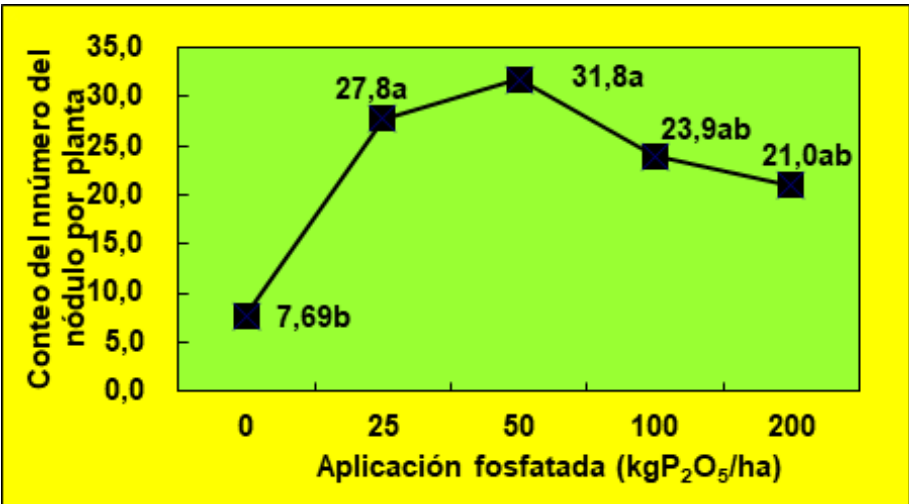


Figura 1. Respuesta de nodulación a la fertilización fosfatada.

Dinámica de rendimiento del grano de frejol:

La Figura 2, muestra el rendimiento del grano según los diferentes niveles de fosfato aplicado. Los análisis de varianza revelaron diferencias significativas al 1%, donde el tratamiento 4 registró

el mayor rendimiento comparado con los demás tratamientos. La prueba de Duncan mostró que no hubo diferencias entre los tratamientos 2, 3, 4 y 5, siendo registrados como nivel “a”.

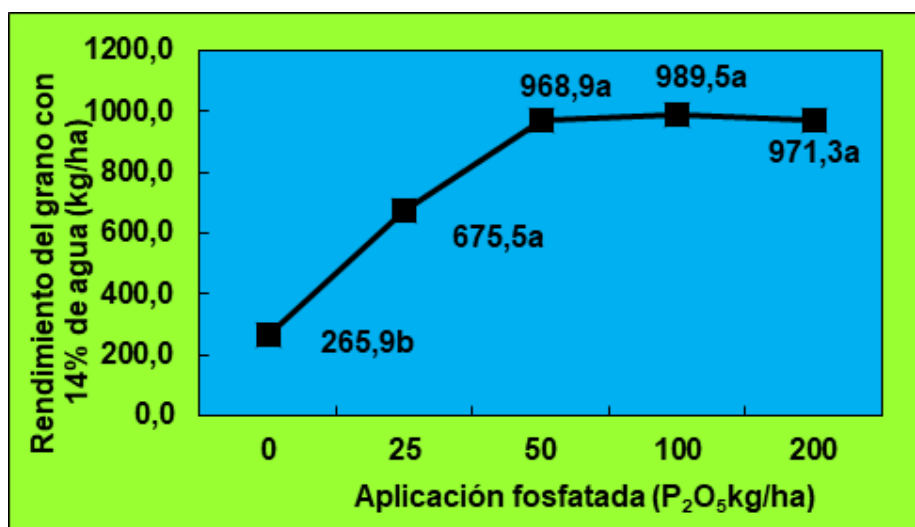


Figura 2. Respuesta del rendimiento a la fertilización fosfatada.

Relación entre rendimiento y conteo de nódulos

por planta: La Figura 3, muestra el rendimiento de grano observado con 14% de agua (símbolos) y predicho (líneas) según el conteo de número de nódulos en cada tratamiento. La ecuación cuadrática fue $y = -2,0529x^2 + 104,61x - 400,77$, con coeficiente de determinación de 0,7831. El

resultado sugiere que bajo conteo de nódulos no pudo aumentar el rendimiento por falta de actividad biológica en el tratamiento testigo, mientras que el aumento del rendimiento por alto conteo de nódulos se asoció con alta actividad biológica de *Rhizobium* en los tratamientos con fosfato aplicado.

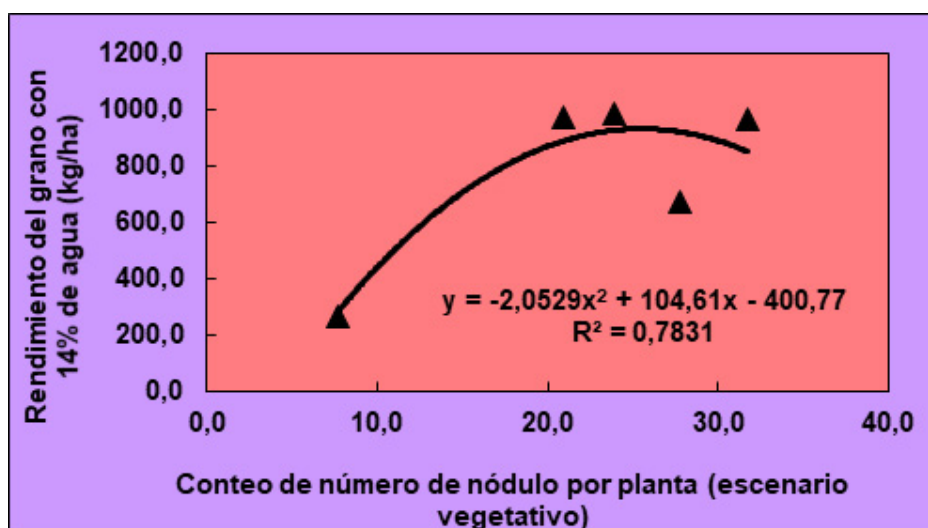


Figura 3. Relación entre nodulación y rendimiento del grano

Absorción de macronutrientes en el grano seco

Absorción del N en el grano seco

La Figura 4, muestra la dinámica de absorción del N en el grano seco según los diferentes niveles de fosfato aplicado. Los análisis de varianza

mostraron diferencias significativas al 1%, donde los tratamientos 3 y 4 absorbieron la mayor cantidad de N. No se aplicó abono nitrogenado ya que la planta tiene habilidad de fijación biológica de N del aire. La prueba de Duncan no mostró diferencias entre los tratamientos 3, 4 y 5, registrados como nivel "a".

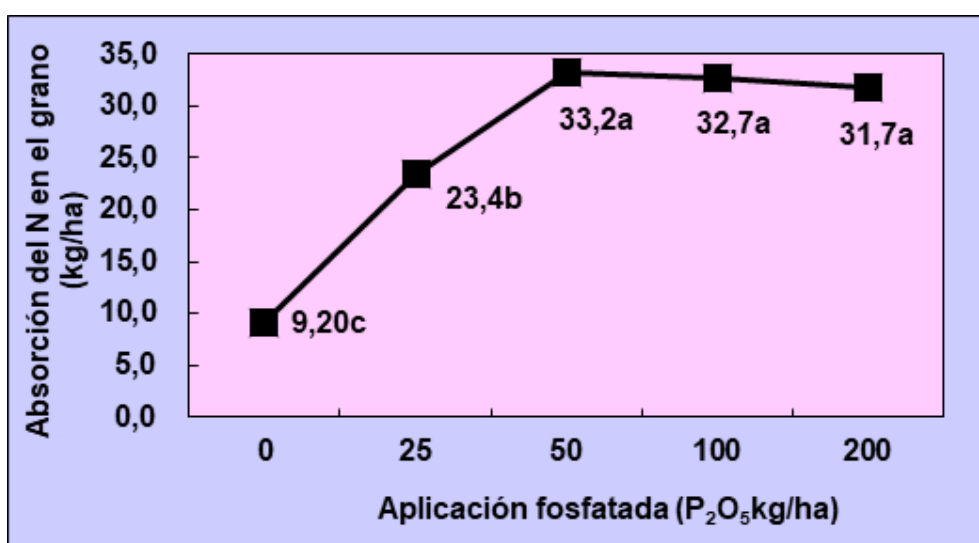


Figura 4. Absorción de nitrógeno en el grano por tratamiento.

Evaluación económica del P_2O_5 en el cultivo de frejol: Los análisis económicos mostraron que el tratamiento con 50 kg P_2O_5 /ha obtuvo el mayor beneficio neto, representando el precio más alto entre todos los tratamientos evaluados. La aplicación fosfatada de 50 kg/ha permitió aumentar significativamente la rentabilidad considerando el rendimiento del grano obtenido y el costo variable de la fertilización. Este resultado confirma que dosis moderadas de fertilización

fosfatada resultan más eficientes económicamente que aplicaciones excesivas, proporcionando una guía práctica para los productores de la región.

Discusión

Los resultados obtenidos demuestran la importancia de la fertilización fosfatada en el cultivo de frejol, particularmente en suelos con deficiencia de este nutriente. La relación positiva encontrada entre el conteo de nódulos y el rendimiento del

grano confirma la importancia de la simbiosis *Rhizobium*-leguminosa en la productividad del cultivo.

La aplicación de 50 kg P_2O_5 /ha mostró ser la dosis más eficiente tanto desde el punto de vista agronómico como económico. Esta dosis permitió maximizar la formación de nódulos, lo que se tradujo en una mayor fijación de nitrógeno atmosférico y, consecuentemente, en un mejor rendimiento del grano. Dosis superiores (100 y 200 kg P_2O_5 /ha) no mostraron incrementos proporcionales en la productividad, sugiriendo un efecto de saturación o incluso inhibición por exceso de fósforo.

El análisis económico confirmó que el tratamiento con 50 kg P_2O_5 /ha proporcionó el mayor beneficio neto, lo que es crucial para la adopción de esta tecnología por parte de los productores. Este hallazgo es particularmente relevante para agricultores de recursos limitados, ya que permite optimizar la inversión en fertilizantes fosfatados.

La correlación cuadrática encontrada entre el conteo de nódulos y el rendimiento ($r^2 = 0,7831$) indica que aproximadamente el 78% de la variación en el rendimiento puede explicarse por la cantidad de nódulos presentes en las raíces. Esto refuerza la importancia del manejo adecuado de la nutrición fosfatada para optimizar la fijación biológica de nitrógeno.

Los resultados del análisis de tejidos vegetales mostraron que la aplicación fosfatada no solo mejoró la absorción de fósforo, sino también la de nitrógeno, confirmando el efecto sinérgico entre ambos nutrientes en leguminosas. Este fenómeno se debe a que el fósforo es esencial para el funcionamiento de la enzima nitrogenasa, responsable de la fijación de nitrógeno en los nódulos radiculares.

CONCLUSIONES

La aplicación de fertilización fosfatada demostró un efecto significativo tanto en la formación de nódulos radiculares como en el rendimiento del grano en el cultivo de frejol (*Vigna unguiculata*) variedad San Francisco-I, cultivado en suelos Entisol con baja fertilidad.

La dosis de 50 kg P_2O_5 /ha se identificó como la más adecuada para las condiciones del estudio, proporcionando el mejor balance entre productividad y rentabilidad económica. Esta dosis optimizó la actividad simbiótica *Rhizobium*-frejol, evidenciada por el mayor conteo de nódulos y la consecuente mejora en la fijación de nitrógeno atmosférico.

La relación positiva establecida entre el conteo de nódulos y el rendimiento del grano confirma la importancia de mantener una adecuada nutrición fosfatada para maximizar los

beneficios de la fijación biológica de nitrógeno en leguminosas.

Estos resultados proporcionan una base técnica sólida para recomendar el uso racional de fertilizantes fosfatados en el cultivo de frejol en suelos similares de la región, contribuyendo al desarrollo de sistemas de producción más sustentables y económicamente viables para los agricultores locales.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS

1. Medina A, Tomita K, Bottino J. Caracterización agronómica del cultivo de frejol en suelos de baja fertilidad. *Rev Agropecuaria Paraguay*. 2010;15(2):45-52. <https://www.campoagropecuario.com.py/suspended.page/3/>
2. Graham P, Vance C. Legumes: importance and constraints to greater use. *Plant Physiol*. 2003;131(3):872-877. <https://academic.oup.com/plphys/article/131/3/872/6111058>
3. Peoples M, Brockwell J, Herridge D. Pressure on the symbiotic nitrogen fixation process increasing from a depleting soil nitrogen sink. *Plant Soil*. 2009;317(1-2):79-93. <https://n9.cl/07ptn>
4. Giller K. *Nitrogen Fixation in Tropical Cropping Systems*. 2nd ed. Wallingford: CABI Publishing; 2001. https://www.researchgate.net/publication/40159031_Nitrogen_Fixation_in_Tropical_Cropping_Systems
5. Soil Survey Staff. *Keys to Soil Taxonomy*. 11th ed. Washington DC: USDA-Natural Resources Conservation Service; 2010. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1224880>
6. Mehlich A. Mehlich 3 soil test extractant: a modification of Mehlich 2 extractant. *Commun Soil Sci Plant Anal*. 1984;15(12):1409-1416. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00103628409367568>
7. Walkley A, Black I A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter. *Soil Sci*. 1934;37(1):29-38. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1782155>
8. FAO. *Fertilizer use by crop in Paraguay*. Rome: Food and Agriculture Organization; 2005. <https://www.fao.org/4/a0787e/a0787e00.pdf>
9. IICA. *Sustainable agriculture and rural development in Paraguay*. San José: Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture; 2008. <https://n9.cl/hfrg9>