

LA NUTRICION Y FERTILIZACION DE LA SOYA CULTIVADA EN CONDICIONES DE SUELO FERRALITICO ROJO COMPACTADO

L. PIJEIRA, EOLIA TRETO, J. D. MEDEROS, J. CORBERA, ANA VELAZCO, MIRTA CASTELLANOS Y N. MEDINA

RESUMEN

Para estudiar la nutrición y fertilización de la soya, se desarrollaron investigaciones durante 5 años en suelo Ferralítico Rojo, utilizando las variedades de soya recomendadas por época de siembra. La especificidad y eficiencia de las cepas de *Rhizobium japonicum* en la fijación del nitrógeno se estudió en solución nutritiva, macetas con suelo y en condiciones de campo. Los estudios de fósforo y potasio se realizaron en macetas y experimentos de campo con dosis crecientes de 0, 50, 100, 150 y 200 kg/ha de P_2O_5 y K_2O respectivamente. La cepa más específica y eficiente para las variedades de soya en estudio fue la 3412, la cual aseguró una buena nutrición de la planta y altos rendimientos. La turba y la cachaza mostraron ser buenos soportes para la preparación de inoculantes. Las dosis de 50 y 100 kg de P_2O_5 /ha fueron óptimas para primavera y verano e invierno respectivamente y no hubo respuesta al potasio. Para el diagnóstico de la nutrición de la planta se puede tomar el primer trifoliolo desarrollado y desarrollado en floración, considerándose plantas bien nutridas aquellas que contengan 4,4 - 5 % de N; 0,24 de P y 2,4; 2,9 y 1,5 de K en primavera, verano e invierno respectivamente.

INTRODUCCION

La nutrición y fertilización de la soya han sido estudiadas por diversos autores, los cuales han concluido que: la nutrición nitrogenada es garantizada por la fijación simbiótica (Doung et al., 1984); el fósforo es un nutrimento fundamental para la producción (Sharpe, 1986) y la respuesta a la fertilización potásica es poco frecuente.

Durante el quinquenio 1980-1985, se desarrolló un programa de investigaciones en Cuba para la introducción del cultivo de la soya. Como parte de este programa se estudió la nutrición y fertilización mineral del cultivo en suelos Ferralíticos Rojos, con el objetivo de hacer un uso más racional de los fertilizantes NPK en esta leguminosa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se realizaron en el Área Central del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas en Tapaste y en la Estación Experimental de Caña en Bainoa, ambas ubicadas en la provincia La Habana (Tabla I).

Tabla I. Características químicas de los suelos.

Suelo Ferralítico Rojo Compactado (Tapaste)

pH	M.O. %	P ppm	K ppm	Ca meq/100 g	Mg meq/100 g
6,5	3,08	128	490	14,0	1,15

Suelo Ferralítico Rojo Compactado desaturado (Bainoa)

pH (KCl)	M.O. %	P ppm	K ppm
4,4	2,85	3,9	69

Las variedades de soya en estudio por época fueron G7R315, Vavilov 6317, William (primavera) INIFAT 112 y Jupiter, (verano) e INIFAT 382 (invierno).

Para los estudios de la nutrición nitrogenada del cultivo, se desarrollaron 4 experimentos en soluciones nutritivas, según las técnicas descritas por Norris (1964), 4 en macetas con suelo y 4 en condiciones de campo. Los tratamientos en soluciones nutritivas fueron: inoculación con las cepas de *Rhizobium japonicum* BR-01, BR-03, BR-04, SPRJ-3, RPJ-6, SPRJ-4 y 3412, testigo sin nitrógeno y testigo equivalente a 75 kg de N/ha. Se midieron la masa seca de la planta y de los nódulos, y la extracción de N por la planta.

En macetas de 2,5 kg de suelos, se probaron los tratamientos que mostraron especificidad cepa-variedad y se incluyeron tratamientos con 0, 75 y 150 kg/ha sin inocular.

En condiciones de campo, durante tres años con suelo Ferralítico Rojo Compactado, se utilizó la cepa de *R. japonicum* 3412 combinada con dosis de nitrógeno (nitrato de amonio) de 20, 40 y 80 kg N/ha, así como se incluyeron 0, 75, 150 y 225 kg N/ha sin inocular, distribuidos en un diseño en bloques al azar con 4 replicas. Además, se estudió durante dos años el comportamiento de diferentes soportes sólidos (turba y cachaza) para la fabricación de biofertilizantes.

Para estudiar la respuesta a la nutrición y fertilización fosfórica y potásica, se realizó un experimento en macetas con suelo, utilizando un diseño totalmente aleatorizado, así como 6 experimentos de campo en suelo Ferralítico Rojo compactado, desaturado; 3 con dosis de potasio y 3 con fósforo, 1 en cada época, repitiéndose durante 3 años. Los tratamientos correspondieron a dosis de P₂O₅ o K₂O de 0, 50, 100, 150 y 200 kg/ha, distribuidas en un diseño en bloques al azar con 4 replicas. Se aplicó un fondo de 150 kg de K₂O (KCl) o de P₂O₅ (superfosfato simple), en los experimentos de fósforo y potasio respectivamente, recibiendo ambos una dosis de 150 kg/ha de N (nitrato de amonio). A los resultados experimentales se les realizó análisis de varianza y prueba de Duncan, para la comparación entre las medias. La relación entre el rendimiento relativo y la concentración de N se efectuó a través de la regresión lineal múltiple.

RESULTADOS Y DISCUSION

Estudios de inoculación con *Rhizobium japonicum*

En los experimentos en soluciones nutritivas, se encontró que la cepa de *Rhizobium japonicum* 3412 fue específica para todas las variedades de soya en estudio; la BR-03 para las variedades G7R315, William, Vavilov 6317, INIFAT 112 y Jupiter y la BR-04 lo fue para las dos últimas. El resto de las cepas no mostraron especificidad cepa x variedad, lo que corrobora los estudios de Pasiponov (1978) y Howle et al. (1987), los cuales han demostrado que entre la bacteria (microsimbionte) y la planta (hospedero), existe una alta afinidad a tal grado que ciertas combinaciones de genotipos de soya y cepas de *Rhizobium japonicum* no producen nódulos. Por los anteriores resultados se eligió la cepa 3412 para los experimentos en macetas, donde se comprobó que produjo una buena nodulación y garantizó la nutrición nitrogenada de la planta.

Acorde a este resultado, se trabajó con esta cepa en los experimentos de campo, donde se muestra (Tabla II) que para todas las variedades en estudio, el rendimiento en grano se vio afectado cuando la planta no recibió nitrógeno fertilizante o simbiótico y cuando solo se le aplicaron 75 kg de N/ha. La cepa fue capaz de suplir cantidades importantes de nitrógeno equivalentes a cantidades de fertilizante mineral, que oscilaron entre 150 y 225 kg N/ha. Para la variedad G7R315, los mayores resultados se obtuvieron en los tratamientos inoculados y que no recibieron nitrógeno, y en la combinación de la cepa con 20 kg de N/ha al momento de sembrar.

Tabla II. Influencia de los tratamientos sobre los rendimientos en grano.

Variedad/tratamiento	Rendimientos en t/ha			
	Primavera G7R315	Primavera Vavilov 6317	Verano INIFAT 112	Invierno INIFAT 382
R. japonicum 3412	2,32 ab	2,28 c	3,52 ab	2,68 a
20 kg N/ha + 3412	2,37 a	2,38 c	3,97 ab	2,63 a
40 kg N/ha + 3412	2,25 b	2,48 c	3,79 ab	2,66 a
80 kg N/ha + 3412	2,03 c	2,89 ab	4,58 a	2,85 a
0 kg N/ha	-	-	1,09 d	1,19 b
75 kg N/ha	1,46 d	1,46 d	2,49 c	1,72 b
150 kg N/ha	2,10 b	2,37 c	3,41 bc	2,58 a
225 kg N/ha	2,25 b	3,11 a	3,58 ab	2,62 a
E. S. \bar{x}	0,12 *	0,19 **	0,82 **	0,21 **

* $p < 0,05$ ** $p < 0,01$

Medias con letras en común en la misma columna no difieren significativamente, según prueba de rango múltiple de Duncan para $p < 0,05$.

La variedad Vavilov 6317 brindo sus mayores rendimientos con la aplicación de 225 kg de N/ha, sin diferencias significativas con el tratamiento, donde se aplicaron 80 kg de N/ha combinado con la cepa de *Rhizobium japonicum*.

Esta variedad mostro alta precocidad para florecer, por lo que sus exigencias en nitrógeno, en los primeros estadios del crecimiento vegetativo hasta la floración, al parecer no pudieron ser satisfechos por la bacteria solamente, ya que primero tiene que instaurarse en la raíz y formar los nódulos, para alcanzar posteriormente su máxima capacidad fijadora. Miyasaka y Medina (1981) informaren que la extracción de nitrógeno por la soya aumento gradualmente hasta el momento de la floración y en el ciclo reproductivo disminuyo, intensificandose la traslocación del elemento hacia el grano en formación.

Las variedades I-112 e I-382 tuvieron un comportamiento similar, tanto para los tratamientos inoculados como los combinados con pequeñas dosis de nitrógeno y los fertilizantes con 150 y 225 kg de N/ha.

La inoculación con inoculantes sólidos, utilizando turba y cachaza como soportes, mostro resultados superiores en el número de nódulos, la nutrición nitrogenada y los rendimientos de la planta a los obtenidos con el inoculante líquido o la fertilización con 225 kg N/ha, resultando una alternativa novedosa el uso de la cachaza para este fin.

En estos suelos con bajos contenidos de fósforo disponible (3,9 ppm), con la aplicación de dosis crecientes de fósforo (Tabla III) hasta 100 kg de P₂O₅/ha se incrementaron los rendimientos en grano para todas las épocas de siembra, sin diferencias con la de 50 en primavera

Tabla III. Efecto de los tratamientos sobre los rendimientos en grano.

Dosis kg P ₂ O ₅ por ha	Rendimiento en t/ha		
	Primavera	Verano	Invierno
0	1,58 b	0,68 b	1,25 c
50	2,61 a	0,92 b	1,85 bc
100	3,49 a	1,29 a	2,10 ab
150	3,08 a	1,24 a	2,55 a
200	3,26 a	1,50 a	2,28 ab
E. S. \bar{x}	0,32 **	0,10 **	0,20 **

** p < 0,01

Medias con letras en común en la misma columna no difieren significativamente, según prueba de Duncan para p < 0,05.

Por otra parte Bataglia y Mascarenhas (1977) encontraron que para los suelos arcillosos con 8 ppm, donde se cultivó soya, se deben aplicar 40 kg de P₂O₅ y en un suelo con 1,9 ppm de P₂O₅ se aplican hasta 120 kg/ha del elemento.

Milanes et al (1978) corroboraron que el fósforo es el elemento fundamental para la producción de granos de soya.

La aplicación de dosis crecientes de potasio desde 0 hasta 200 kg de K₂O/ha en el suelo, con contenido inicial de 89 ppm de K (Ac NH₄), no provocaron incrementos de los rendimientos (Tabla IV), independientemente de la época de siembra o variedad de soya estudiada, lo cual confirma la pobre respuesta obtenida por Macarenhas (1976) y Milanes et al. (1978), con la aplicación de dosis ascendentes de potasio a la soya.

Tabla IV. Efecto de los tratamientos sobre el rendimiento en grano (t/ha).

Dosis de K ₂ O kg/ha	Primavera	Verano	Invierno
0 kg	2,48	2,51	2,21
50	2,43	2,53	2,12
100	2,42	2,62	2,22
150	2,41	2,70	2,21
200	2,45	2,81	2,20
E. S. \bar{x}	0,13 NS	0,23 NS	0,03 NS

Diagnóstico foliar

Una evidencia de las posibilidades del diagnóstico foliar aparece en la Tabla V, donde los resultados corroboraron que el trifoliolo desarrollado y desarrollado en la floración fue un buen indicador de los cambios en la nutrición con NPK, ya que las variaciones en la concentración de los elementos concordaron con los cambios en el rendimiento de las plantas y confirmaron los criterios de Jones (1986), para definir la nutrición de la soya a través de este órgano indicador. Las plantas de mayor rendimiento presentaron concentraciones de 4,7 % de N; 0,26 de P y 2,6 de K, mientras que aquellas afectadas por las deficiencias de nitrógeno o fósforo, tuvieron concentraciones de 3,1 y 0,16 % de N y P respectivamente. Para el caso del potasio se observó en los experimentos de campo en plantas bien nutridas en tres épocas, donde no hubo respuesta a la aplicación de fertilizantes potásicos, que las concentraciones para las épocas de primavera, verano e invierno fueron de 2,4; 2,9 y 1,5 % respectivamente.

Tabla V. Efecto de los tratamientos sobre la concentración de NPK en el primer trifoliolo desarrollado en la floración (% M.S.) y el rendimiento.

Tratamiento	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Rendimiento en grano (g/planta)
N P K	4,58 a	0,15 c	1,36 c	1,06 b
PK	3,10 b	0,24 b	2,29 ab	1,12 b
NK	4,81 a	0,16 c	1,46 c	1,00 b
NP	4,72 a	0,25 ab	2,04 b	4,69 a
N P K	4,78 a	0,26 a	2,58 a	5,06 a
E. S. \bar{x}	0,16 ***	0,05 **	0,11 **	0,13 *

** p < 0,01

Medias con letras en común en la misma columna no difieren significativamente, según prueba de rango múltiple de Duncan para $\alpha < 0,05$.

Para el diagnóstico de la nutrición nitrogenada se relacionaron, además, los análisis foliares con los rendimientos logrados en los experimentos de campo de fertilización nitrogenada-inoculación (Figura 1), obteniéndose un alto coeficiente de correlación (0,84 *) y de determinación (0,70 *). Por la curva obtenida se pudo deducir que, para alcanzar un 90 % o más del rendimiento máximo, la concentración de nitrógeno, en el primer trifoliolo, que se encuentra desarrollado y desarrollado al momento de la floración, debe estar entre 4,4 - 5 % ; por debajo de 4,4 % es deficiente y cuando es mayor de 5 % excesiva.

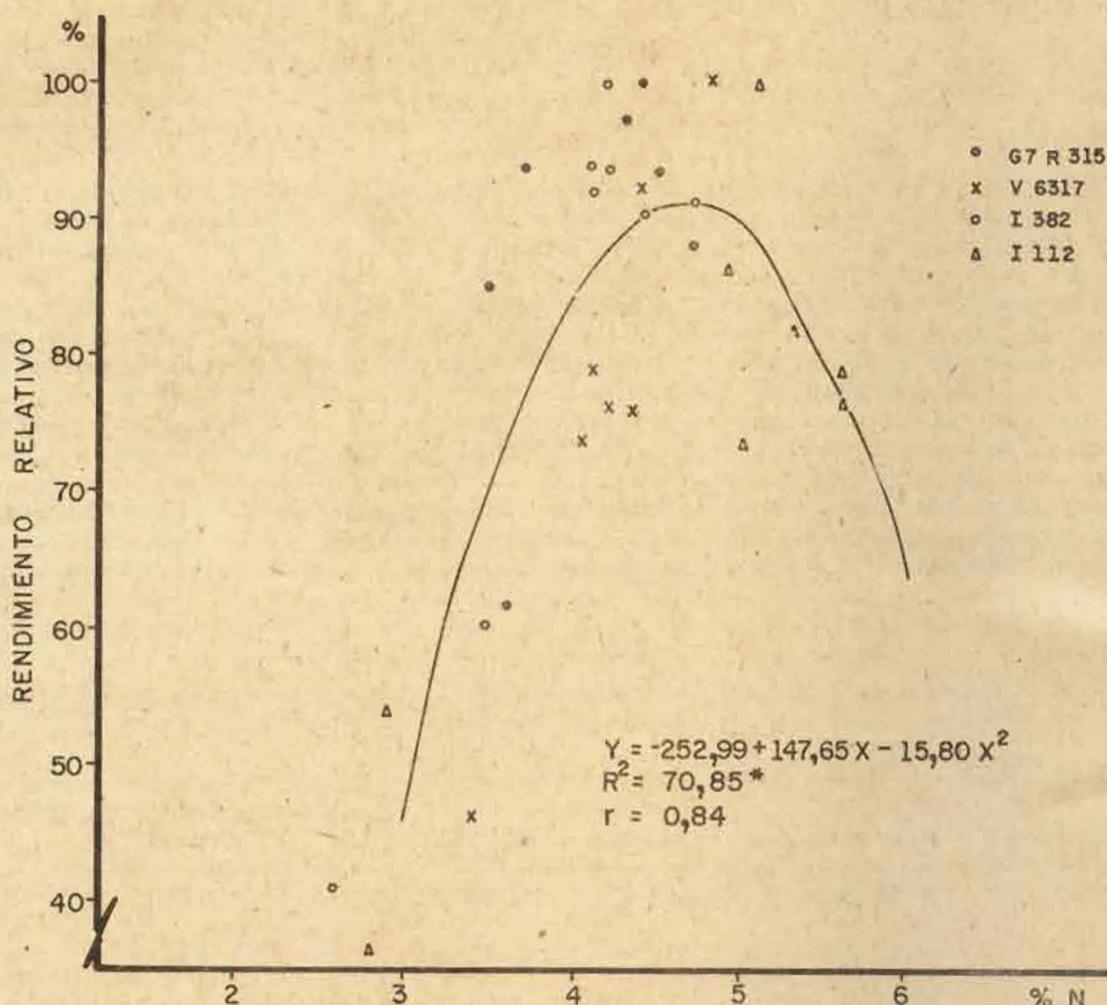


Figura 1. Relación de la concentración de nitrógeno en el primer trifoliolo desarrollado y desarrollado al momento de la floración con el rendimiento relativo.

Todos estos resultados confirman que el primer trifoliolo desarrollado y desarrollo en el momento de la floración puede servir de diagnóstico, para decidir la necesidad o no de suministrar nutrientes adicionales al cultivo.

Los síntomas visuales de deficiencias minerales provocadas en solución nutritiva se describen de la siguiente forma.

Nitrógeno: Se retarda el crecimiento y desarrollo de la planta; las hojas son pequeñas de color verde pálido; aparece primero en las hojas de la base hasta que se generaliza por toda la planta.

- Fósforo:** Retardo en el crecimiento y hojas son muy pequeñas, pero de color verde oscuro mate; las plantas rectas y delgadas; los síntomas se mantuvieron durante todo el ciclo.
- Potasio:** Aparece en estado temprano: clorosis y moteado irregular en los márgenes de hojas más cercanas a la base, la clorosis avanza hacia el interior de la hoja, formando un borde ancho desde la punta y por los lados hacia la base de la hoja, que permaneció verde en su centro. En estados avanzados los bordes se necrotizan, las puntas se enrollan hacia abajo y las partes verdes se ponen blancas. Hojas de tamaño más pequeño.

CONCLUSIONES

1. Para suelos Ferralíticos Rojos similares a los probados, se garantiza la nutrición nitrogenada con buenos rendimientos y calidad del grano de las variedades de soja G7R45, Vavilov 6317, INIFAT 112, con la inoculación de la cepa de *R. japonicum* 3412, utilizando como soporte sólido la cachaza o la turba, siendo necesario, en variedades precoces como la Vavilov 6317, realizar aplicaciones de 80 kg N/ha adicionales en la siembra.
2. En suelos Ferralíticos Rojos, con contenidos iguales o menores a 4 ppm Bray-Kurz 1, con aplicación de 100 kg de P_2O_5 /ha para verano e invierno y en primavera con dosis de 50 kg, se logran rendimientos adecuados en la producción de grano.
3. No hubo respuesta del cultivo a la fertilización potásica en el suelo Ferralítico Rojo, con contenidos iniciales de 89 ppm ($AcNH_4$) de K.
4. El trifoliolo desenrollado y desarrollado en floración es buen indicador para el diagnóstico de la nutrición nitrogenada, fosfórica y potásica de la soja, considerando como plantas bien nutridas aquellas que presentan una concentración, en la materia seca, entre 4,4 y 5 % de N; 0,24 % de P y 2,4; 2,9 y 1,5 % de potasio, en primavera, verano e invierno respectivamente.

REFERENCIAS

- BATAGLIA, V.C. Y H.M. MASCARENHAS. Absorção de nutrientes pela soja em Latossolicos roxo solo vegetação de cerrado. *Ciencia e Cultura* 29 (7) :4, 1977. (Suplemento).
- DOUNG, E.; P. TOZDEMI AND F.D. HANCK. Rhizobium Inoculant for Mekong Delta; Response of Soybean technical Nitrogen Fertilizer on PH inoculation. *Agronomy Journal* 67 (5) :145-147, 1984.
- HOWLE, P.K.W.; E.R. SHIPE AND D.H. SHIPPER. Soybean Specificity for Bradyrhizobium Japonicum Strain 110. *Agronomy Journal* 79 (4) :595-597, 1987.
- JONES, J.B. Documento interno de la Estación Experimental Agrícola de Ohio. Wooster, 1966.
- MASCARENHAS, H.A.A.; R. HIROCE Y N.R. BRAGA. O potássio para soja. *Ciencia e Cultura* 28 (7) :770, 1978. (Suplemento).
- MILANES, D.; R.F. NOVAIS; J.A.P. GABETTO; W.F. FONSECA Y T. SEDIYAMA. Efectos da adubação nitrogenada, fosfatada e potássica na produção de grãos, altura da planta e da ira. vagen. Soja. Resumos informativos 3 :163, 1978.

- MIYASAKA, E. Y A. MEDINA. Resposta de Soja a fertilização nitrogenada em tres localidades de Minas de Cerrado. Minas Gerais: EMBRAPA, 1981. p. 150-156.
- NORRIS, D. Techniques Used in Works Rhizobium. Brisbane: CSIRO, 1964.
- PASIPANOV, G.S. Métodos para incrementar la productividad de algunas leguminosas de grano. Sietkois Joziaistva za Rubezhaní 1 (2) :6, 1978.
- SAUMELL, H. Soja; información técnica para su mejor conocimiento y cultivo. Ed. Buenos Aires. Hemisferio Sur, 1977.
- SHARPE, R.R. Phosphorus Fertilization and Tillage Effect on Nitrogen Fixation in Soybeans. Plant and Soil 96 (1) :31-44, 1986.

ABSTRACT

NUTRITION AND FERTILIZATION OF SOYBEAN GROWING IN A RED FERRALITIC SOIL

Several investigations were carried out in a Red Ferralitic soil for 5 years, in order to study nutrition and fertilization of soybean, using its varieties recommended for sowing time. Both specificity and effectiveness of *R. japonicum* strains on N fixation were studied in nutrient solution, soil pots and field conditions. Studies of P and K were performed in pots and the field, with increasing rates of 0, 50, 100, 150 and 200 kg/ha P_2O_5 and K_2O , respectively. The most specific and efficient strain for soybean varieties was 3412, assuring a nice plant nutrition and high yield. Either peat or filter cake proved to be excellent supports for inoculant preparation. Rates of 50 and 100 kg P_2O_5 /ha were considered optimal for Summer and Winter, respectively. There was no response to K. For plant nutrition diagnosis, the first unfurled developed trifoliolate should be chosen at flowering time, well-fed plants being considered those having 4.4 - 5 % N, 0.24 P and 2.4; 2.9 and 1.5 K in Spring, Summer and Winter, respectively.

Manuscrito recibido el 14/IX/88.