

NOTA TÉCNICA

EFECTO DEL ENCALADO EN LA RESPUESTA VEGETAL Y FIJACIÓN SIMBIÓTICA DEL NITRÓGENO EN FRIJOL COMÚN¹

Aurelio García², Graciela Dueñas², Germán Hernández², Grisel Herrero³, Antonio Nuviola², Nancy Méndez², Felipe Zapata⁴

RESUMEN

Efecto del encalado en la respuesta vegetal y fijación simbiótica del nitrógeno en frijol común. En casa de cristales se evaluó mediante el método de valor A, utilizando el isótopo estable ¹⁵N, el efecto del encalado de un suelo Rhodic ferralsol sobre la fijación simbiótica de nitrógeno (FSN) de los genotipos de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) BAT 58, BAT 477, DOR 364, CC 25-9 (N). La aislínea NN 125, genotipo de frijol no nodulante, fue utilizado como cultivo de referencia. El efecto del encalado incrementó la fracción de nitrógeno en planta derivado del aire, principalmente en CC 25-9 (N) que posee muy poca capacidad de fijación de N atmosférico cuando no se encala el suelo. Además, se encontró un efecto beneficioso del encalado sobre las reservas de N del suelo, visto que los incrementos de las extracciones totales de N por las plantas provienen del N del aire, e incluso, la cantidad de N en planta derivado del suelo disminuyó para todos los genotipos, principalmente en DOR 364 y CC 25-9(N). Por otra parte, la relación %Nddf/%Ndds, por ciento de N en planta derivado del fertilizante y por ciento de N en planta derivado del suelo respectivamente, varió debido a la aplicación de cal. Por consiguiente, es necesario utilizar dos tratamientos con el cultivo de referencia para evaluar acertadamente la FSN: cultivo de referencia con y sin suelo encalado. Se discute la interpretación del parámetro Eficiencia de Uso del N.

ABSTRACT

Liming effect on the response and nitrogen symbiotic fixation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). A glasshouse experiment was conducted in order to evaluate, using the A value method, the liming effect on the efficiency of nitrogen symbiotic fixation (NSF) of the common bean genotypes BAT 58, BAT 477, DOR 364 and CC 25-9 (N) in a Rhodic Ferralsol soil. NN 125, a non nodulant common bean, was used as the control crop. All common bean genotypes increased the fraction of N in plant derived from soil due to liming, mainly CC 25-9(N), that show a very low capacity to fix N from air if the soil is not amended with lime. Moreover, a beneficial effect of liming on the soil N pool was found, because the increasing total N uptake by plants was due to the N coming from the air, and the quantity of N in plant coming from the soil diminished, mainly for DOR 364 and CC 25-9(N). In addition, the ratio %Nddf/%Ndfs, the N percentage in plant derived from the fertilizer and derived from the soil, respectively, vary due to the N percentage liming. Therefore, it is necessary to use two treatments for the control in order to evaluate accurately the NSF: with and without the lime application. The Nitrogen Use Efficiency parameter is discussed.



¹ Recibido para publicación el de agosto del 2003.

² Estación Experimental La Renée, Instituto de Suelos, Km 33 _ Carretera Bejucal-Quivicán, Quivicán, La Habana, Cuba. E-mail: larenée@ceniai.inf.cu.

³ Instituto de Ecología y Sistemática, Carretera de Varona Km. 3¹/₂, Capdevila, Boyeros, AP. 8029, C.P. 10800, Ciudad de La Habana, Cuba. E-mail: ecologia.ies@ama.cu.

⁴ Organismo Internacional de Energía Atómica, Wagramerstrasse 5, P.O. Box 100, A-1400, Viena, Austria. E. mail: F.Zapata@iaea.org

INTRODUCCIÓN

Las leguminosas en general, y el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en particular, son una fuente importante de proteínas para poblaciones de América Central y del Sur, el Caribe y África. Sin embargo, en muchos sistemas de producción los rendimientos que se obtienen son generalmente bajos, motivados fundamentalmente por deficiente suministro de agua, deficiencia de nitrógeno y fósforo y problemas asociados a la acidez de los suelos, entre otros (Fageria y Carvalho 1996).

Es conocida la capacidad de las leguminosas de fijar simbióticamente el nitrógeno atmosférico (FSN). Esta peculiaridad es muy ventajosa ya que con pequeñas cantidades de fertilizantes nitrogenados es posible obtener altos rendimientos, con el consiguiente impacto económico y ecológico (García *et al.* 1996). Sin embargo, para que ocurra una eficiente FSN, las raíces deben interactuar en el suelo con cepas compatibles de *Rhizobium*, por lo que factores que afecten el crecimiento de las raíces o la actividad de la planta hospedera, como es la acidez del suelo, deben afectar la nodulación, y por tanto, la FSN (Aurag y Brhada, 1995). La formación de nódulos, el crecimiento de las bacterias, y la propia FSN, son procesos que dependen de la energía suministrada por los azúcares, la cual depende de compuestos fosforados (Chien *et al.* 1993).

Según afirman Boddey *et al.* (1996), las únicas técnicas capaces de proporcionar un estimado directo de las cantidades de N fijadas biológicamente e incorporadas al tejido vegetal son aquellas que utilizan el isótopo estable ^{15}N .

Un manejo sostenible para la producción de frijol común puede incluir, entre muchas prácticas de manejo, la selección de genotipos con alta eficiencia de FSN así como la corrección de la acidez del suelo, cuestiones que fueron los objetivos del presente trabajo, empleando para ello el auxilio de la técnica isotópica con ^{15}N .

MATERIALES Y MÉTODOS

El suelo utilizado se clasifica como Rhodic Ferral-sol. Algunas de sus características son: pH KCl, 4,70 (relación suelo/solución 1/2,5, método potenciométrico), materia orgánica, 2,82 % (método Walkley – Black); N total, 0,159 % (método Kjeldhal); fósforo disponible, 7,2 mg/kg (método Bray – Kurtz I); cationes canjeables, Ca, 6,77 cmol(+)/kg; Mg, 0,36 cmol(+)/kg; K, 0,57 cmol(+)/kg; Na, cmol(+)/kg (método Schachtschabel).

El diseño experimental utilizado fue bloques al azar con cuatro réplicas por tratamiento. Los tratamientos, diez en total, se debieron a un arreglo factorial 5 x 2 (cuatro genotipos de frijol nodulantes y la isolínea no nodulante de frijol común NN 125, esta última utilizada exclusivamente como cultivo de referencia para evaluar la fijación simbiótica del nitrógeno atmosférico (FSN) de los genotipos de frijol nodulantes, y dos dosis de carbonato de calcio, grado reactivo). Los genotipos de frijol común nodulantes evaluados fueron BAT 58, BAT 477, DOR 364 y CC 25-9(N) los que en el momento de la siembra fueron inoculados con la cepa de *Rhizobium* CIAT 899. Se utilizaron macetas cargadas con 1,2 kg de suelo que en el momento de la siembra recibieron 20 ml de solución nutritiva con aporte de 100 mg de P/kg y 60 mg K/kg, con superfosfato triple y KCl como portadores, respectivamente.

La cantidad de carbonato aplicado correspondió a la neutralización de 0,5 unidades de acidez hidrolítica (Y_1). Para el cálculo del requerimiento de cal se emplearon las siguientes fórmulas, recomendadas por DGSF (1984):

$$Y_1 = 7,01 - 0,85 \text{ pH KCl} \quad (1)$$

$$\text{mg de Ca}^{2+} / 100 \text{ g} = 40/2 \cdot Y_1 \cdot 2,5 \cdot 0,5 \quad (2)$$

donde 2,5 y 0,5 son factores para este tipo de suelo y carbonato de calcio, respectivamente. Así, de acuerdo al valor de pH del suelo y la aplicación de las fórmulas (1) y (2), la cantidad de carbonato de calcio (98 % de pureza) añadido en las macetas correspondientes a los tratamientos con carbonato de calcio fue de 0,9230 g.

La técnica isotópica utilizada fue el método de valor A. Es recomendable utilizar el método de valor A - dosis diferentes de nitrógeno en el cultivo de referencia y en los cultivos fijadores de N- en aquellos casos en que exista la posibilidad de que el aporte de nitrógeno del suelo pueda resultar insuficiente para suplir los requerimientos del elemento del cultivo de referencia, y por tanto, evitar así la posibilidad de pobre desarrollo del mismo lo que indudablemente afectaría la evaluación de la FSN de los genotipos de frijol común fijadores de N atmosférico. No hay que olvidar que al no ser nodulante el cultivo de referencia el mismo está incapacitado de fijar el nitrógeno atmosférico, de ahí su gran utilidad para evaluar la FSN, más aún al tratarse de la misma especie de planta, lo que además garantiza la coincidencia de sus ciclos desarrollo, requisito que debe cumplir un buen cultivo de referencia. Las dosis y enriquecimientos de N en el fertilizante marcado con ^{15}N fueron 15 mg ^{15}N -urea/kg y 5 % átomo exceso (a. e.) y 80 mg ^{15}N -urea/kg y 1,5 % a. e. para las leguminosas y el cultivo de referencia, respectivamente. El

término átomo exceso se refiere a la cantidad de ^{15}N presente en el fertilizante enriquecido de este isótopo respecto a la abundancia natural (abundancia natural = 0,3663 % ^{15}N).

En cada maceta se sembraron seis granos del genotipo de frijol correspondiente y pasados cuatro días de la germinación se raleó a tres plantas por maceta. Durante todo el periodo vegetativo el suelo se mantuvo a 60% de la capacidad máxima de retención de agua. Pasadas seis semanas de la siembra se cosechó la parte aérea de las plantas, la cual se secó en estufa a 65 °C hasta peso constante. Se determinó la materia seca producida y por análisis químico, las concentraciones de N y P en el tejido vegetal. Se utilizaron las siguientes fórmulas, según recomienda IAEA (2001):

$$\% \text{ Nddf} = ({}^{15}\text{N}\% \text{ a. e. en planta} / {}^{15}\text{N}\% \text{ a. e. en el fertilizante marcado}) \times 100 \quad (3)$$

$$\text{n} (\% \text{ Nddf NF} / \% \text{ Ndds NF}) = \% \text{ Nddf F} / \% \text{ Ndds F} \quad (4)$$

$$\% \text{ Nddf} + \% \text{ Ndds} + \% \text{ Ndda} = 100 \quad (5)$$

$$\text{N}_2 \text{ fijado} = (\% \text{ Ndda} \times \text{Extracción de N en cultivo fijador}) / 100$$

$$\text{Valor A} = ((100 - \% \text{ Nddf}) / \% \text{ Nddf}) \cdot \text{Cantidad de N aplicado con el fertilizante} \quad (6)$$

$$\% \text{ EUF} = (\text{Cantidad de N derivado del fertilizante marcado} / \text{Dosis de N}) \times 100 \quad (7)$$

donde:

% Nddf: porcentaje de N derivado del fertilizante marcado

% Ndds: porcentaje de N derivado del suelo

% Ndda: porcentaje de N derivado del aire

F y NF: cultivo fijador y no fijador, respectivamente

N = 15mg N/80 mg N = 0,1875

Valor A: se expresa como cantidad de N disponible en el suelo en unidades equivalentes del fertilizante aplicado

% EUF: eficiencia de utilización del fertilizante marcado expresado en por ciento.

EU-N: Eficiencia de Uso del N. Se calculó mediante la siguiente expresión: $\text{EU-N} = \text{MS} / \% \text{N}_T$, donde N_T es concentración de N en la planta, según recomiendan Siddiqui y Glass (1981).

EU-N_F, EU-N_S, EU-N_A: Eficiencia de Uso del N derivado del fertilizante, el suelo y el aire respectivamente. La concentración de N en planta correspondiente a las cantidades de N en planta derivadas del fertilizante, suelo y aire se calcularon a partir de la fracción de N en planta derivado del fertilizante (%Nddf), suelo (%Ndds) y aire (%Ndda) y las correspondientes producciones de materia seca, y se expresaron como sigue, respectivamente: $\% \text{N}_F$, $\% \text{N}_S$ y $\% \text{N}_A$.

Para los cálculos de EU-N_F , EU-N_S , EU-N_A se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$\text{EU-N}_F = \text{MS} / \% \text{N}_F \quad (8)$$

$$\text{EU-N}_S = \text{MS} / \% \text{N}_S \quad (9)$$

$$\text{EU-N}_A = \text{MS} / \% \text{N}_A \quad (10)$$

Los resultados experimentales obtenidos fueron evaluados mediante análisis de varianza acorde al diseño experimental empleado, las medias de tratamientos se compararon mediante prueba de Newman – Keuls. En todos los casos se trabajó al 5% de probabilidad máxima de error.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El encalado del suelo solo tuvo influencia en la producción de materia seca cuando se compararon las medias de los genotipos de frijol común para los dos niveles de carbonato de calcio utilizados (Cuadro 1). CC 25-9(N) fue el que menor cantidad de materia seca produjo en el suelo sin encalar, aunque presentó el mayor incremento en los valores de esta variable, sin significación estadística, por la aplicación de carbonato de calcio, que el resto de los genotipos de frijol. El suelo se caracterizó por baja disponibilidad de fósforo. García *et al.* (1997) reportan que CC 25-9(N), cultivado en suelos con valores de pH cercanos a la neutralidad, requiere de abastecimiento adecuado de fósforo disponible en el suelo para expresar su potencial de crecimiento y de fijación simbiótica del nitrógeno atmosférico (FSN).

Se encontró evidencia de que CC 25-9(N) resultó más sensible a la acidez del suelo que el resto de los genotipos de frijol común evaluados para expresar su potencial de crecimiento y FSN (Cuadros 1 y 4).

Cuadro 1. Efecto del encalado del suelo sobre la producción de materia seca (g/maceta) de genotipos de frijol común. La Habana, Cuba. 2001.

Genotipo/ CaCO ₃	Sin Ca CO ₃	Con CaCO ₃	Media
NN 125*	2,65	2, 61	2,63
BAT 58	2,50	2,67	2, 58 a
BAT 477	2,53	2,61	2,57 a
DOR 364	2,29	2,33	2,31 ab
CC 25-9(N)	2,05	2,34	2,22 b
Media	2,34	2,49	-
DE	0,18	-	-

a, b: Medias con igual letra no difieren a $P \leq 0,05$, prueba de Newman – Keuls

* NN125 no se incluyó en el análisis de varianza

El cultivo de referencia utilizado para evaluar la FSN, la isolínea no nodulante de frijol común NN 125, presentó la mayor concentración y extracción de N en el tejido vegetal, que se favorecieron con el encalado (Cuadro 2) como era de esperar por la relativa elevada dosis de fertilizante nitrogenado aplicada. Semejante comportamiento tienen BAT 58 y BAT 477. Este resultado indica, de manera preliminar, que BAT 58 y BAT 477, a pesar de haber sido desarrollados para suelos tropicales (adaptabilidad a acidez, elevado contenido de aluminio cambiante, baja disponibilidad de P disponible, sequía), al responder a la aplicación de cal demuestran que la adaptabilidad a la acidez debe corresponder a un pH superior al del suelo empleado o que el carácter de adaptabilidad a acidez no es predominante o ha disminuido.

Contrariamente, el efecto del encalado en DOR 364 y CC 25-9(N) fue disminuir la concentración de N en el tejido vegetal y disminuir la extracción de N en DOR 364, mientras que para CC 25-9(N) la extracción de N no se afectó por la adición de carbonato de calcio. Hernández (1984) afirma que en suelo Ferric Luvisol ácido cubano el efecto del encalado está asociado en gran medida a que el calcio aportado participa activamente como nutriente en el sistema suelo-planta. Así, es posible también que este mismo efecto, participación del Ca proveniente del carbonato de calcio aplicado como nutriente, se manifieste en el presente experimento al considerar la baja concentración del elemento en el suelo.

Los resultados obtenidos inducen a pensar que la concentración y extracción de N pudieran ser parámetros útiles para discriminar genotipos de frijol común con adaptación o no a acidez del suelo o en su respuesta a la adición de cal.

En relación con la concentración y extracción de P, no se encontró influencia del encalado del suelo sobre estos parámetros (Cuadro 3). Así, se puede plantear la hipótesis de que el efecto principal del encalado del suelo fue elevar el pH del suelo, con menor influencia en el incremento de las disponibilidades de P.

La fracción de N en planta derivado del aire se elevó hasta alrededor de 30% por la aplicación de cal. Este resultado indica que en frijol común es posible acercarse al potencial de FSN si se consideran adecuadas prácticas de manejo.

CC 25-9(N) mostró muy baja capacidad de fijar N atmosférico, cercana a 0 %, en el suelo sin enmienda calcárea. La adición de cal posibilitó incrementar su %N_{da} hasta el valor de 31,9 %, valor semejante al que presentaron el resto de los genotipos en condiciones de suelo enmendado. García *et al.* (1996) reportan que CC 25-9(N) requiere de un buen abastecimiento de P en el suelo para expresar su potencial de crecimiento y de extracción de N y P. No hay que olvidar entonces que una adecuada concentración de P en la planta se relaciona directamente con la eficiencia de la FSN sabido el gasto energético que demanda este proceso. Mourabit *et al.* (1995) reportaron que la fertilización fosfórica permite incrementar la cantidad de N fijado de la atmósfera y que existen diferencias genotípicas en esta respuesta al P.

Los valores de las variables isotópicas indican que, para todos los genotipos de frijol evaluados, la adición de cal provocó una disminución de la fracción de N derivado del suelo (%N_{dds}), alrededor de un 10% para BAT 58, BAT 477 y DOR 364, mientras que para CC 25-9(N) la disminución fue mucho mayor, 25,8%, y un incremento de la fracción de N derivado del aire en planta (Cuadro 4).

Cuadro 2. Efecto del encalado del suelo sobre la concentración y extracción de N en el tejido vegetal de cuatro genotipos de frijol común. La Habana, Cuba. 2001.

Genotipo/CaCO ₃	N, %		Media	Extracción de N, mg/maceta		
	Sin CaCO ₃	Con CaCO ₃		Sin CaCO ₃	Con CaCO ₃	Media
NN 125*	4,36	4,63	4,50	115,59	120,85	118,22
BAT 58	3,12	3,46	3,29	78,04	92,48	85,26 a
BAT 477	3,01	3,15	3,08	76,06	82,31	79,20 ab
DOR 364	3,29	2,90	3,10	75,35	67,64	71,50 bc
CC 25-9(N)	3,06	2,71	2,89	63,96	63,31	63,64 bc
Media	3,12	3,06	-	73,36	76,43	-
DE		0,32	-		8,12	-

a, b, c: Medias con igual letra no difieren a $P \leq 0,05$, prueba de Newman - Keuls.

* NN125 no se incluyó en el análisis de varianza

Cuadro 3. Efecto del encalado del suelo sobre la concentración y extracción de P en cuatro genotipos de frijol común. La Habana, Cuba. 2001.

Genotipo/CaCO ₃	P, %		Media	Extracción de P, mg maceta ⁻¹		
	Sin CaCO ₃	Con CaCO ₃		Sin CaCO ₃	Con CaCO ₃	Media
NN 125*	0,23	0,31	0,27	6,14	8,00	7,07
BAT 58	0,34	0,32	0,33	8,43	8,47	8,45
BAT 477	0,34	0,33	0,34	8,60	8,71	8,66
DOR 364	0,34	0,35	0,35	7,82	8,09	7,96
CC 25-9(N)	0,33	0,29	0,31	6,81	6,78	6,80
Media	0,33	0,32	-	7,92	8,01	-
DE		0,03	-		1,0	-

Así, se evidencia que la adición de cal también se manifiesta en una protección de las reservas de N del suelo, lo cual es sinónimo de que esta práctica de manejo potencia una menor degradación del suelo, a la par que permita incrementar la proporción de N en planta derivado del aire.

Por otra parte, la relación %Ndff/%Ndfs, por ciento de N en planta derivado del fertilizante y por ciento de N en planta derivado del suelo respectivamente, varía debido a la aplicación de cal. Este resultado indica que es necesario utilizar dos tratamientos con el cultivo de referencia para evaluar acertadamente la FSN: cultivo de referencia con y sin suelo encalado.

En cuanto a los valores A obtenidos, cantidades disponibles de N en el suelo en unidades equivalentes del fertilizante aplicado, se señala que la aplicación de cal

disminuyó este valor, respecto a la no adición. La relación de valores A de suelo sin encalar y encalado es 1,20. Esto significa, acorde a la definición de valor A, que 1,0 kg de N disponible en el suelo sin encalar es equivalente a 0,8 kg de N disponible en el suelo encalado. O lo que es semejante, la aplicación de cal incrementó en un 20% la eficiencia de uso del N disponible del suelo.

Así, visto que la enmienda calcárea incrementó la fracción de N en planta a expensas del N atmosférico, además de que la fracción de N en planta derivada del suelo decreció, la disminución del valor A por el encalado debe interpretarse como una protección de las reservas del suelo y no como un decrecimiento de la misma.

Esta afirmación se corrobora con los resultados del Cuadro 5 en que se observa que en los tratamientos con

Cuadro 4. Valores de parámetros isotópicos y valor A. La Habana, Cuba. 2001.

Tratamiento	mg N aplicado	¹⁵ N% a.e. pl.	%Nddf	%Ndds*	%Ndda	%Nddf/ mg N/kg	Valor A
NN 125	96	0,933	62,2	37,8	-	0,3085	58,3
NN 125 + cal	96	0,996	66,4	33,6	-	0,3705	48,6
BAT 58	18	0,947	18,9	61,3	19,8	0,3083	58,4
BAT 58 + cal	18	0,935	18,7	50,5	30,8	0,3703	48,6
BAT 477	18	0,915	18,3	59,3	22,4	0,3086	58,3
BAT 477+ cal	18	0,928	18,5	49,9	31,6	0,3707	48,6
DOR 364	18	0,966	19,3	62,6	18,1	0,3083	58,4
DOR 364 + cal	18	0,970	19,4	52,4	28,2	0,3702	48,6
CC 25-9(N)	18	1,165	23,3	75,5	1,2	0,3086	58,3
CC 25-9(N)+ cal	18	0,919	18,4	49,7	31,9	0,3702	48,6

* En el caso de los dos tratamientos del cultivo de referencia se multiplica por $n = 0,1875$.

a.e. pl.: átomo exceso en planta.

%Ndds: porcentaje de N derivado del suelo.

%Nddf: porcentaje de N derivado del fertilizante marcado.

%Ndda: porcentaje de N derivado del aire.

Cuadro 5. Efecto del encalado en las cantidades de N extraídas por los genotipos de frijol común y Eficiencia de Utilización del Fertilizante (EUF) nitrogenado. La Habana, Cuba. 2001.

Tratamiento	N extraído mg/maceta	mg de N derivados de:			EUF-N %
		Fertilizante	Suelo	Aire	
NN 125	115,59	71,90	43,69	-	74,9
NN 125 + cal	120,85	80,24	40,51	-	83,6
BAT 58	78,04	14,75	47,84	15,45	81,9
BAT 58 + cal	92,48	17,29	46,70	28,49	96,1
BAT 477	76,06	13,92	45,10	17,04	77,3
BAT 477+ cal	82,31	15,23	41,07	26,01	84,6
DOR 364	75,35	14,54	47,17	13,64	80,8
DOR 364 + cal	67,64	13,12	35,44	19,08	72,9
CC 25-9(N)	63,96	14,90	48,29	0,77	82,8
CC 25-9(N)+ cal	63,61	11,70	31,61	20,30	65,0

% EUF-N: Eficiencia uso nitrógeno.

enmienda calcárea las cantidades netas de N derivado del suelo decrecen, principalmente para CC 25-9(N), que resultó el genotipo que exhibió, por demás, un mayor efecto beneficioso del encalado en cuanto a incremento en la fracción de N derivado del aire en la planta.

La relativa semejanza entre los valores de la relación $\%N_{ddf}/\%N_{dds}$ y de los valores de EUF para los tratamientos con o sin cal, comparados con su correspondiente tratamiento de referencia para evaluar la FSN, demuestra que el cultivo de referencia utilizado, con y sin suelo encalado, resultó adecuado para la evaluación de esta importante característica.

En algunos trabajos de investigaciones se ha reportado la adaptabilidad, así como diferencias genotípicas de cultivares de frijol a baja disponibilidad de P, mediante la determinación del parámetro Eficiencia de Uso del N o del P y en relación con la FSN (Araújo *et al.* 1998, Araújo y Teixeira 2000, Vadez y Drevon 2001). La conclusión generalizada es que este parámetro puede ser útil para seleccionar genotipos para condiciones de alto o bajo P. Por otra parte, Siddiqui y Glass (1981) propusieron un nuevo índice para evaluar la Eficiencia de Utilización de nutrientes en plantas en el que consideran la concentración del elemento en lugar de la cantidad absorbida del mismo. El significado físico de Eficiencia de uso de N o P es simplemente la cantidad de materia seca producida, u otra variable de respuesta de rendimiento, por unidad de elemento absorbido. Así, a mayores valores absolutos de este índice, solo resta interpretar que el elemento en cuestión resultó más eficiente en la formación de materia seca o en otra variable de respuesta de rendimiento.

La evaluación de la Eficiencia de Uso del N, realizado empleando el índice propuesto por Siddiqui y Glass (1981), muestra que para la EU- N_T el encalado del suelo no tuvo efecto en BAT 58 y BAT 477, con valores de 0,80 y 0,77 y 0,84 y 0,83, respectivamente, mientras que para DOR 364 y CC 25-9(N) el efecto del encalado fue incrementar la EU (Cuadro 6). Sin embargo, los cuatro genotipos de frijol incrementaron la cantidad de N en planta derivado del aire por efecto del encalado, así como realizaron, en general, una menor utilización de las reservas de N del suelo (Cuadro 5), lo cual evidencia que la variable EU- N_T no es capaz de reflejar el beneficio del encalado sobre la absorción diferenciada de N así como tampoco discriminar acertadamente entre las respuestas de los diferentes genotipos evaluados. Por tal razón, se aprovechó la data disponible, obtenida por el empleo de la técnica isotópica, con el objetivo de investigar si la evaluación de la Eficiencia de Uso del Nitrógeno, calculada de manera diferenciada para cada fuente de N que dispuso la planta, a saber, fertilizante, suelo y aire, pudiesen reflejar más acertadamente la respuesta vegetal obtenida. Así, los resultados del Cuadro 5 muestran que la EU- N calculada con la cantidad, y expresada como concentración, de N en planta proveniente exclusivamente del fertilizante (EU- N_F), siguió idéntico comportamiento que EU- N_T , por tanto, son válidas para este parámetro las que se realizaron para EU- N_T . Sin embargo, en el caso de la EU-N calculada a partir de la concentración de N en planta debida solo al N absorbido del suelo (EU- N_S), en los cuatro genotipos de frijol el valor de EU- N_S se incrementa por efecto del encalado. O sea, en condiciones de suelo encalado, la planta utilizó más eficientemente el N del suelo para la formación de la masa seca aérea. Este resultado guarda estrecha relación con lo discutido anteriormente relativo al efecto del encalado en la protección de las reservas de N del suelo así como también con los correspondientes valores A obtenidos para las condiciones de suelo enmendado y sin enmendar. En la evaluación de la variable EU-N, calculada a partir de la concentración de N en planta debida solo al N absorbido del aire (EU- N_A), en todos los casos el valor del mismo disminuyó por efecto del encalado. En este caso, el encalado promovió una mayor utilización del N atmosférico en los cuatro genotipos estudiados. Por tanto, la variable EU- N_A logra reflejar el comportamiento de los genotipos evaluados en cuanto a la respuesta vegetal obtenida de incrementar la fijación del N del aire, el cual representa el objetivo primordial de la utilización de leguminosas para hacer más sostenible la producción agrícola.

Por tanto, se obtuvo evidencia experimental que la variable EU- N_T debe ser utilizado e interpretado con cautela, sobre todo en los casos en que se trate de leguminosas en los que la planta dispone de tres fuentes de N para su nutrición.

Cuadro 6. Efecto del encalado en la concentración de N en planta y de la Eficiencia de Uso del N debida a las diferentes fuentes de N en cuatro genotipos de frijol común. La Habana, Cuba. 2001.

Tratamiento	Concentración de N (%)				EU-N			
	%N _T *	%N _F **	%N _S ***	%N _A ****	EU-N _T 1	EU-N _F 2	EU-N _S 3	EU-N _A 4
BAT 58	3,12	0,59	1,91	0,62	0,80	4,24	1,31	4,03
BAT 58 + cal	3,46	0,65	1,75	1,07	0,77	4,11	1,53	2,50
BAT 477	3,01	0,55	1,78	0,67	0,84	4,60	1,42	3,78
BAT 477+ cal	3,15	0,58	1,57	1,00	0,83	4,50	1,66	2,61
DOR 364	3,29	0,64	2,06	0,62	0,70	3,58	1,11	3,82
DOR 364 + cal	2,90	0,56	1,52	0,82	0,80	4,16	1,53	2,84
CC 25-9(N)	3,06	0,73	2,36	0,04	0,67	2,81	0,87	51,25
CC 25-9(N)+ cal	2,71	0,50	1,35	0,87	0,86	4,68	1,73	2,69

* Concentración de N en planta.

** Concentración de N en fertilizante.

*** Concentración de N en suelo.

**** Concentración de N en aire.

¹ Uso eficiente de N concentración recomendada.

² Uso eficiente de N en fertilizante.

³ Uso eficiente de N en suelo.

⁴ Uso eficiente de N en aire.

CONCLUSIONES

La adición de cal incrementó la fracción de N derivado del aire en todos los genotipos de frijol común, especialmente para CC 25-9(N). Este efecto está más asociado a corrección de la acidez del suelo que a un aumento de las disponibilidades de P en el suelo. Sin embargo, cuando se trata de genotipos de frijol común con alta exigencia de formas disponibles de P en el suelo, como es el caso de CC 25-9(N), el efecto del encalado sobre esta característica no resulta despreciable. El encalado del suelo protege sus reservas de N, toda vez que el incremento en las extracciones de N por la planta se realizó a expensas de una mayor fijación de N atmosférico. Es necesario la utilización de dos tratamientos con el cultivo de referencia para evaluar acertadamente la FSN: cultivo de referencia con y sin suelo encalado. El parámetro Eficiencia de Uso de N debe ser evaluado conjuntamente con la respuesta en la fijación simbiótica del nitrógeno atmosférico.

AGRADECIMIENTOS

Al Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) por el financiamiento otorgado mediante el Contrato de Investigación CUB/10956, perteneciente al CRP "Desarrollo de prácticas de manejo para una producción

sostenible en sistemas de cultivos en suelos ácidos tropicales mediante el uso de técnicas nucleares y conexas", que posibilitó la realización del presente trabajo.

LITERATURA CITADA

- ARAÚJO, A. P.; TEIXEIRA, M. G.; de ALMEIDA, D. L. 1998. Variability of traits associated with phosphorus efficiency in wild and cultivated genotypes of common bean. *Plant and Soil*, 203:173-182.
- ARAÚJO, A. P.; TEIXEIRA, M. G. 2000. Ontogenic variations on absorption and utilization of phosphorus in common bean cultivars under biological nitrogen fixation. *Plant and Soil*, 225:1-10.
- AURAG, J.; BRHADA, F. 1995. Dynamique des populations de *Rhizobium* introduites dans le sol: influence du stress hydrique, de l'acidité et de la texture du sol. *In*: J. J. Drevon (ed.). Facturs limitant la fixation symbiotique de l'azote dans le Bassin méditerranéen. Les Colloques 77, INRA-Montpellier, France, 149-158.
- BODDEY, R. M.; MÜLLER, S. H.; ALVES, B. J. R. 1996. Estimation of the contribution of biological N₂ fixation to two *Phaseolus vulgaris* genotypes using simulation of plant nitrogen uptake from ¹⁵N - labelled soil. *Fertilizer Research*. 45: 169 – 185.

- DGSF. 1984. Manual de Interpretación de Suelos. Ed. Científico-Técnica, Ciudad de la Habana, Cuba. 136 p.
- CHIEN, S. H.; CARMONA, G.; MENON R. G.; HELLUMS, D. T. 1993. Effect of phosphate rock sources on biological nitrogen fixation by soybean. *Fertilizer Research*. 34:153-159.
- EL MOURABIT, N.; R KIEK, C.; ISMAILI, M. 1995. Effets des doses d'inoculation et de phosphore sur la production et la fixation biologique de l'azote atmosphérique sur deux variétés de fève. *In: J. J. Drevon (ed.). Facturs limitant la fixation symbiotique de l'azote dans le Bassin méditerranéen. Les Colloques 77, INRA-Montpellier, France 285-289.*
- FAGERIA, N. K.; de CARVALHO, A. M. 1996. Response of common bean to phosphorus on acid soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 27(5-8):1447-1458
- GARCÍA, A.; HERNÁNDEZ, G.; NUVIOLA, A.; TOSCANO, V. 1996. Efecto del P sobre el rendimiento y extracción del NP de frijol cultivado en tres suelos. *Agronomía Mesoamericana*. 7(1): 99 – 102.
- GARCÍA, A.; NUVIOLA, A.; AGUILERA, M. 1997. Evaluación de roca fosfórica natural y modificad del yacimiento Trinidad de Guedes. *Agrotecnia de Cuba*. 27(1): 50-54.
- HARDARSON, G; BLISS, F. A.; y colectivo de autores. 1999. Variación genotípica en la fijación biológica de nitrógeno en frijol común. *In: Aumento de la fijación biológica del nitrógeno en el frijol común en América Latina. J. J. Peña-Cabriales y F. Zapata (Eds., versión español). ARCAL/OIEA-FAO, 67-78.*
- HENSON, R. A. 1999. Mediciones de la fijación de N₂ en frijol común en el Brasil Central empleando diferentes cultivos de referencia. *In: J. J. Peña; F. Zapata (eds.). Aumento de la fijación biológica del nitrógeno en el frijol común en América Latina. ARCAL/OIEA-FAO, 59-65.*
- HERNÁNDEZ, G. 1984. Efecto de la neutralización de diferentes niveles de acidez hidrolítica de primera extracción sobre la actividad biológica y la producción de tabaco negro en suelo Ferralítico Cuarácico Amarillo Lixivido. Tesis para optar por el Grado Científico de Doctor en Ciencias Biológicas. La Habana, Cuba. 144 p.
- IAEA. 2001. Use of isotope and radiation methods in soil and water management and crop nutrition. Training Course Series 14. International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, Austria. 247 p.
- SIDDIQUI, Y.; GLASS, A. 1981. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *Journal of Plant Nutrition*, 4:289-302.
- VADEZ, V.; DREVON, J. J. 2001. Genotypic variability in phosphorus use efficiency for symbiotic N₂ fixation in common bean (*Phaseolus vulgaris*). *Agronomie*, 21:691-699.