

Efecto de la Diciandiamida y Urea en el Crecimiento y Nodulación de la Soja¹

Oscar Acuña*, Carlos Ramírez*

ABSTRACT

The effect of the nitrification inhibitor diciandiamide (DCD) was studied under greenhouse conditions in two soils of Guanacaste, Costa Rica: a Typic Ustropept (Liberia) and an Entic Chromustert (Guardia). The treatments consisted of application of urea in quantities of 0, 12, 24, and 35 mg · kg⁻¹ of N with 0 and 5 mg · kg⁻¹ of DCD and each also received 100 mg of P₂O₅ · kg⁻¹ of N. There were 16 treatments in 2 x 4 x 2 factorial, which corresponded respectively to the DCD dose, the levels of N, and the quantity of soils. A randomized block design was used, with four repetitions. At 7, 14 and 45 days, the concentrations of NH₄⁺ and NO₃⁻ were determined using Bremner's method. The type of sampling was destructive. It was seen that N fixation was negatively affected in the Guardia soil, due to the accumulation of NO₃⁻, deriving from available N and the urea that was not inhibited by DCD.

INTRODUCCION

El cultivo de la soja depende entre el 25% y el 75% de la asimilación del nitrógeno fijado, de acuerdo con las concentraciones del N disponible (1). Si bien, la soja responde adecuadamente a la fertilización nitrogenada (1), las plantas crecidas exclusivamente con nitrato (NO₃⁻) produjeron menos cosecha que con poca cantidad del mismo a pesar de estar bien noduladas (7), destacando el posible efecto positivo del N aportado por la fijación en la producción de este cultivo.

Se ha considerado aumentar la producción de grano de soja, complementando la fijación de N con la fertilización mencionada. En general, a mayores cantidades de N fijo (amonio y nitrato) en los fertilizantes,

COMPENDIO

Se estudió el efecto de la diciandiamida (DCD), inhibidor de la nitrificación, en dos suelos de Guanacaste, Costa Rica: Typic Ustropept (Liberia) y Entic Chromustert (Guardia) en invernadero. Se hicieron 16 tratamientos con aplicaciones de urea en dosis de 0, 12, 24 y 35 mg · kg⁻¹ de N; DCD, a razón de 0 y 5 mg · kg⁻¹ de N y, además, se proporcionaron a cada suelo 100 mg de P₂O₅ · kg⁻¹. Los tratamientos mostraban un arreglo factorial 2 x 4 x 2, correspondientes a la dosis del inhibidor, a los niveles de N y a la cantidad de suelos, respectivamente. Se utilizó el diseño estadístico de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. A los 7, 14 y 45 días se determinó la concentración de NH₄⁺ y NO₃⁻, según la metodología de Bremner. El muestreo fue de tipo destructivo. Las observaciones permitieron determinar que la fijación de N fue afectada negativamente en el suelo Guardia, debido a la acumulación de NO₃⁻, proveniente del N disponible y de la urea no inhibida por DCD.

se reduce su fijación, pues ambas formas inhiben desde el establecimiento de la simbiosis hasta el funcionamiento de los nódulos (6). Se señala al NO₃⁻ como más inhibidor que el (NH₄⁺) (10, 13, 20). Además, en cuanto a su sensibilidad al N disponible, se mencionan pequeñas diferencias entre aislamientos de *Bradyrhizobium* y mayores, entre cultivares (6).

El N aplicado como fertilizante predomina sobre su fijación como fuente del mismo para las plantas, y como complemento para el N disponible y no a la inversa. Pero la aplicación de pequeñas dosis de N (nitrógeno de arranque) que alivien el estrés de dicho elemento, por el agotamiento de las reservas cotiledonales de las plántulas y el atraso en el inicio de la fijación, puede beneficiar, eventualmente, este proceso, al desarrollarse mejor el follaje y, consecuentemente, al aumentar la capacidad de suministrar fotosintatos a los nódulos (16).

Sin embargo, se debe tener cuidado al adicionar el fertilizante nitrogenado en relación con la forma (evitar el NO₃⁻), concentración y época de aplicación. Por ejemplo, un exceso de N puede inhibir la nodulación y su fijación de nitrógeno. Muy poco N en condiciones que favorezcan la nitrificación, podría no ser absorbido por las plantas al lixivarse el NO₃⁻. En el suelo, el efecto degradante sobre la nodulación y la fijación

1 Recibido para su publicación el 7 de diciembre de 1990. Este trabajo fue financiado por el Programa de Ciencia y Tecnología AID-CONICIT-UCR. Se agradece la colaboración del Laboratorio de Suelos del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, C R

* Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica.

posiblemente esté mediado por el NO_3^- , que es más móvil, pues el NH_4^+ es absorbido por coloides inorgánicos y orgánicos de carga negativa (15, 18). De este modo, los sitios de infección en la raíz pueden sufrir el efecto directo del NO_3^- que se mueve en el agua del suelo, mientras que el NH_4^+ influencia sólo en los puntos de contacto, raíz-suelo.

Aumentar el tiempo de residencia del NH_4^+ en el suelo mediante el uso de inhibidores de la nitrificación, puede minimizar el efecto negativo del N sobre la fijación y, al mismo tiempo, asegurar su beneficio; pues el NH_4^+ no se lixivia y puede ser absorbido por las raíces en contacto directo con los puntos de intercambio. El NO_3^- producido en cantidades limitadas por el efecto del inhibidor, es absorbido paulatinamente por el cultivo. Así, al inicio de la fijación de N en las plántulas y cuando se consolida su nodulación, las concentraciones de N en el suelo serán depletadas a un nivel no inhibitorio (16).

MATERIALES Y METODOS

El experimento se realizó en el invernadero del Laboratorio de Suelos, Programa de Mejoramiento de Cultivos Tropicales del CATIE, en Turrialba, Costa Rica.

Las semillas de soja (*G. max*) var. Júpiter fueron tratadas con un inoculante multicepa (*Bradyrhizobium japonicum*), suministrados por el Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica. Se sembraron en recipientes plásticos de 500 ml de capacidad (cuatro por recipiente, raleados a dos a la semana). El riego se efectuó por capilaridad a través de pajillas de filtro de celulosa desde un recipiente plástico de mayor volumen, sobre el cual se colocó un soporte de madera perforada. Este método, además de suministrar agua a las plantas de soja, mantiene la humedad del suelo, permite la nitrificación e impide la lixiviación de nitratos que podría asociarse al riego intermitente.

Los tratamientos se aplicaron a las muestras de los suelos en solución para asegurar una distribución óptima. A los dos suelos, cuyas características químicas se anotan en el Cuadro 1, uno del campo experimental adyacente al Centro Universitario de Liberia (Typic Ustropept) y el otro, de la serie Guardia (Entic Chromustert), cercano al poblado del mismo nombre, ambos de la provincia de Guanacaste, se les aplicó urea en cantidades de 0, 12, 24 y 35 mg N kg⁻¹ y el inhibidor de la nitrificación dicianidamida (DCD) en 0 y 5 mg N kg⁻¹. A todos los tratamientos se les proporcionó una fertilización base de 100 mg P₂O₅ kg M⁻¹, el mismo día de la siembra. A cada recipiente se le agregaron 400 g de la muestra de suelo con base seca.

Cuadro 1. Ubicación y caracterización química de los suelos estudiados (Liberia, Guanacaste, Costa Rica).

Caracterización	Suelos	
	Centro Regional Universitario	Guardia
M.O. (%)	2.5	4.0
pH (H ₂ O)	5.9	5.9
p (mg kg ⁻¹)	39.0	9.5
Ca (cmol (p+) kg ⁻¹)	4.88	8.94
Mg (cmol (p+) kg ⁻¹)	1.84	4.69
K (cmol (p+) kg ⁻¹)	0.51	1.54
Al (cmol (p+) kg ⁻¹)	0.18	0.18
Zn (mg kg ⁻¹)	1.0	3.0
Mn (mg kg ⁻¹)	24.0	52.0
Clasificación	Andic Ustic Humitropept	Entic Chromustert

El diseño estadístico empleado fue el de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos mostraban el arreglo factorial 2 x 4 x 2, con un total de 16 tratamientos.

Las concentraciones de NH_4^+ y NO_3^- se determinaron en los suelos a los 7, 14 y 45 días de aplicados los tratamientos, según la metodología de Bremner (2). En cada muestreo se utilizó la totalidad del volumen de suelo en los recipientes para cada tratamiento y repetición, es decir, fue destructivo. Por el volumen pequeño de suelo, el peso seco de las plántulas y la nodulación se determinaron 22 días después de la siembra. El suelo se dejó incubando sin las raíces, hasta el día 45, para el muestreo final.

RESULTADOS Y DISCUSION

Para evaluar el efecto del DCD se escogieron dos suelos contrastantes en los contenidos de arcilla, materia orgánica y capacidad de suministro de N: características determinantes en la actividad del inhibidor (3, 11). Además, la interacción del fertilizante y el nitrógeno nativo disponible en forma de amonio y nitrato puede afectar la simbiosis.

El suelo Guardia tiene un mayor contenido de materia orgánica, así como de arcillas del tipo 2:1. En cuanto al PH se refiere, no favorece las posibles pérdidas que pueden ocurrir en suelos ligeros y calcáreos, al aplicar el inhibidor en la superficie (19).

Se midió el efecto del DCD, inhibidor de la oxidasa del citocromo (9) en *Nitrosomonas europaea* (bacterias

autótrofas que llevan a cabo el paso de NH_4^+ a NO_3^- tomando en cuenta la acumulación del NH_4^+ y NO_3^- en el suelo. Para evaluar el resultado sobre la simbiosis se cuantificó el peso seco de las plántulas a los 22 días de edad, así como el contenido de N y el peso seco de los nódulos.

En el suelo, la urea es hidrolizada rápidamente a NH_4^+ por la ureasa, enzima común en los organismos del suelo. Así, la adición de urea es casi equivalente a la agregación de NH_4^+ . Por otro lado, el DCD no inhibe la hidrólisis de la urea (19).

En el Cuadro 2 se presentan los datos sobre las concentraciones de NO_3^- y el de NH_4^+ para las diferentes fechas de muestreo. A los siete días, las concentraciones de NO_3^- en el suelo Guardia (6.0 mg l^{-1})

fueron mayores que en el Liberia por un factor de 2.5. Estas concentraciones indican que el potencial de nitrificación de ambos suelos fue suficiente.

Una mayor concentración de NH_4^+ en el suelo Guardia (Cuadro 2), sugiere su mayor capacidad para proporcionar N, debido, posiblemente, a su mayor contenido de materia orgánica.

La adición de DCD en todos los niveles de urea, redujo las concentraciones del NO_3^- en el suelo Liberia, no así en el Guardia. Si estas diferencias fueran el resultado de la acción del inhibidor, se esperaría un aumento concomitante del NH_4^+ en los niveles altos de fertilización con urea al aplicarse el inhibidor. Precisamente eso fue lo que se encontró en el suelo Liberia, pero no en el Guardia, donde el NO_3^- sí aumentó

Cuadro 2. Efecto de la diciandiamida y niveles de urea sobre el nitrato y amonio extraído de dos suelos* (Liberia, Guanacaste, Costa Rica).

Tratamiento mg kg ⁻¹ N	Días después de la siembra														
	7				14				45						
	Suelo		Suelo		Suelo		Suelo		Suelo		Suelo				
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2			
NO ₃ ⁻		NH ₄ ⁺		NO ₃ ⁻		NH ₄ ⁺		NO ₃ ⁻		NH ₄ ⁺		NO ₃ ⁻		NH ₄ ⁺	
(mg/kg)															
Testigo	2.6 _{bc}	30.1 _c	6.0 _{bc}	41.5 _{ab}	3.2 _b	34.6 _b	4.6 _b	37.0 _a	1.5 _a	8.8 _a	2.8 _b	10.5 _{bc}			
5 DCD	1.7 _{bc}	32.5 _{bc}	5.5 _{cd}	45.5 _a	2.1 _b	34.6 _b	4.2 _b	33.3 _a	1.9 _{ab}	6.8 _a	1.8 _b	16.0 _{ab}			
12 urea	2.8 _{abc}	32.8 _{bc}	3.6 _d	33.2 _c	2.7 _b	33.5 _b	6.1 _{ab}	26.9 _a	1.2 _{ab}	5.7 _a	4.3 _b	17.0 _{ab}			
5 DCD+ 12 urea	1.4 _c	32.4 _{bc}	3.4 _d	46.8 _a	3.0 _b	32.4 _b	3.0 _b	38.9 _a	1.2 _b	2.7 _b	7.5 _a	16.4 _{ab}			
22 urea	4.6 _a	32.2 _{bc}	6.6 _{bc}	41.6 _{ab}	2.5 _b	28.9 _b	6.9 _{ab}	38.7 _a	2.5	8.7 _a	3.2 _b	18.3 _a			
22 urea 5 DCD	2.4 _{bc}	38.4 _a	8.1 _{ab}	40.4 _{ab}	2.3 _b	42.9 _a	5.1 _b	36.3 _a	3.5 _a	7.7 _a	2.2 _b	13.9 _{bc}			
35 urea	3.1 _{abc}	31.7 _c	9.0 _a	38.1 _{bc}	5.1 _a	30.6 _b	7.5 _a	32.2 _a	3.4 _a	7.7 _a	3.5 _b	9.4 _c			
35 urea 5 DCD	3.6 _{ab}	36.5 _{ab}	8.2 _{ab}	37.6 _{bc}	2.7 _b	33.3 _b	5.1 _b	33.9 _a	1.6 _b	7.1 _a	2.9 _b	17.5 _a			

* Suelo Liberia Typic Ustropept, Suelo 2 Guardia Entic Chromustert.

** Valores con la misma letra en una misma columna similares al 0.05 según la Prueba de Duncan

respecto del testigo. Además, el NH_4^+ fue menor en el suelo Guardia, lo cual muestra su nitrificación. Esto sugiere que el inhibidor sí actuó en el suelo Liberia, quizá por su mayor contenido de materia orgánica y arcillas —factores que inactivan el compuesto por absorción (11). Las plántulas de soja estaban muy poco desarrolladas a los siete días como para influir en las concentraciones de NH_4^+ y NO_3^- , lo que evidencia un posible sumidero de esos radicales.

Después de 14 días de siembra, no se notó un aumento en el contenido de NO_3^- en relación con el primer muestreo, de esa manera se evidencia la absorción por las plantas. Sin embargo se mantuvo una mayor concentración en el suelo Guardia respecto del Liberia. También, las concentraciones fueron, en general, más altas conforme se aumentó la dosis de N en presencia o no del inhibidor. Estas observaciones corroboran que aparentemente el DCD, en las dosis empleadas, no actuó en el suelo Guardia. En esta fecha, las diferencias en el contenido de NH_4^+ entre los suelos, no fueron tan palpables como en el primer muestreo. A este punto era esperable una disminución de la actividad del DCD debido a su degradación microbiana.

A los 45 días, no se observó un patrón definido distinto en los tratamientos, con o sin DCD en los suelos. Llamó la atención el mayor contenido de NO_3^- y de NH_4^+ en el suelo Guardia, hecho que corresponde con su alto contenido de materia orgánica. Además hubo una disminución drástica en la cantidad de NO_3^- en el suelo Guardia y de NH_4^+ en ambos suelos, compatible con la absorción de las plántulas y con los mecanismos de pérdida de N.

En el Cuadro 3 se presentan los datos de nodulación, peso seco de plantas y absorción de N. En el suelo Liberia, el peso seco de nódulos no varió significativamente a ninguna de las dosis de N de urea con o sin inhibidor. Tampoco hubo diferencias en el peso seco de las plantas y en el N total, probablemente por la cosecha temprana de las plántulas debido a limitaciones en el tamaño del pote y, por eso, la fijación no fue reflejo de la nodulación.

En el suelo Guardia, por el contrario, el peso de los nódulos fue menor en los niveles altos de N ($35 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$), así como el peso seco de las plantas y la absorción de N. Estas observaciones indican que la fijación de N fue afectada negativamente en este suelo, por el N disponible más el de la urea, unidos a la falta de eficacia del DCD, lo que permitió una mayor acumulación de NO_3^- . El NO_3^- en solución nutritiva o en cultivo de arena, es mejor inhibidor de la fijación de N que el amonio (13). No obstante, en el suelo, el comportamiento de ambas formas de N son drásticamente diferentes. El NH_4^+ es retenido mediante el intercambio catiónico por los coloides cargados negativamente (15, 18, 21). De esa manera, el NH_4^+ no migrará con los movimientos de masa del agua del suelo, desencadenados por la corriente evapotranspiradora que crea la planta, lo que si ocurre con el NO_3^- . En términos prácticos, la diferencia de las dos formas de N se acentuaría en el suelo pues el NO_3^- estaría más en contacto con el sistema radical que el NH_4^+ , lo que tiene implicaciones muy importantes por su efecto potencial sobre la fijación de N.

Cuadro 3. Efecto del inhibidor dicianidamida y de varios niveles de urea sobre el peso seco de nódulos, peso seco y nitrógeno total de la parte aérea de plantas de soja (*Glycine max* L. Merr.) sembrada en dos suelos de la provincia de Guanacaste, Costa Rica.

Tratamientos (N mg/kg)	Suelo 1*			Suelo 2*		
	Peso de nódulos (mg/planta)	Peso seco (g/planta)	N total (mg N)	Peso de nódulos (mg/planta)	Peso seco (g/planta)	N total (mg N)
Testigo	29a**	0.39bc	17bc	16b	0.41	22a
5 DCD	29a	0.37bc	18abc	22a	0.35bc	19a
12 urea	32a	0.37bc	20ab	13bc	0.36ab	20a
5 DCD+12 urea	31a	0.36bc	17bc	14b	0.37ab	17a
24 urea	31a	0.45a	21ab	08d	0.31cd	17a
5 DCD+24 urea	30a	0.40b	17bc	15b	0.36ab	18a
35 urea	30a	0.35bc	19ab	12bc	0.20d	11a
5 DCD+35 urea	23a	0.33a	16bc	09cd	0.27cd	13a

* Suelo 1: Centro Universitario de Liberia: Typic Ustropept.
Suelo 2: Guardia, Liberia: Entic Chromustert.

** Valores con las mismas letras en una misma columna son estadísticamente iguales según la Prueba de Duncan.

Se acepta que el NO_3^- tiene consecuencias negativas en todas las fases de la fijación, desde la infección hasta la formación de nódulos y su funcionamiento (5). En las primeras fases del establecimiento de la simbiosis, el NO_3^- tiene un resultado directo sobre la infección de los pelos radicales, la excreción de lectinas y el número de sitios de anclaje de la lectina en el hospedero, que es más inhibitorio que el NH_4^+ . Harper y Cooper (7) señalan que este aspecto se da en el campo, donde la aplicación de NH_4^+ NO_3^- en el suelo cercano a la principal zona de nodulación de la raíz, tuvo un efecto inhibitorio mayor que con una aplicación más profunda en el suelo.

En las leguminosas de grano existe un desfase entre el establecimiento de la simbiosis y el agotamiento de las reservas cotiledóneas de N (17). El estrés resultante restringe el crecimiento de la plántula. La aplicación de pequeñas dosis de N en ese momento pueden mejorar el crecimiento sin inhibir la simbiosis (14, 16, 17). Más aún, el mayor desarrollo del tejido fotosintético favorecería, en etapas tardías del cultivo, una mayor fijación de nitrógeno mediante el concomitante aumento de los fotosintatos disponibles en los nódulos. Así hay un retorno positivo de N para la planta, por medio de la fijación, como resultado del N de arranque. No obstante, en condiciones de campo, el manejo de las concentraciones de N con esta finalidad sería difícil, pues, por un lado, las condiciones que favorecen la nitrificación (NH_4^+ de fertilizantes) podrían facilitar la lixiviación (12), y prevenir el beneficio para las plantas. Por el contrario, dosis altas de N de arranque podrían inhibir la nodulación, el desarrollo y la producción del cultivo de soja.

En el suelo, el efecto detrimental sobre la nodulación y la fijación, posiblemente esté mediado por el NO_3^- y no por el NH_4^+ . Mantener el NH_4^+ por más tiempo en el suelo, mediante el uso de inhibidores de la nitrificación, permitiría minimizar el efecto negativo del N sobre la fijación, al mismo tiempo que aseguraría el resultado benéfico apuntado arriba.

El hecho de que las concentraciones relativamente altas de NH_4^+ no hayan inhibido la nodulación en el suelo Liberia, y aún en el Guardia, indican que en el suelo esta forma no es tan activa como el NO_3^- , pues las concentraciones mucho más bajas son capaces de hacerlo en hidroponía, donde el contacto del NH_4^+ con las raíces es directo (10).

En este experimento se evidencia la efectividad del DCD para evitar la inhibición de la nodulación en los niveles más altos de urea, por lo menos en un suelo. Lo que justifica la necesidad de realizar experimentos *in situ*, para evaluar la bondad de esta estrategia en el manejo de la fertilización nitrogenada de leguminosas de grano.

LITERATURA CITADA

1. ALLOS, H.R.; BARTHOLOMEW, W.V. 1959 Replacement of symbiotic fixation by available nitrogen. *Soil Science* 87:61-66.
2. BREMNER, J.M. 1965. Inorganic forms of Nitrogen. In *Methods of soil analysis*. C.A. Black (Ed.) Madison, ASA. v.2, p. 1179-1237.
3. BUNDY, L.G.; BREMNER, J.M. 1973. Effect of nitrification inhibitors in soils. *Soil Science Society of America. Proceedings* 37:396-398.
4. DEIBERT, F.J.; BEIRERIEGO, M.; OLSON, R.A. 1979 Utilization of N^{15} fertilizer by nodulating and non-nodulating soybean isolines. *Agronomy Journal* 71:713-723.
5. GIBSON, A.H.; JORDAN, D.C. 1983. Ecophysiology of nitrogen-fixing systems. In *Encyclopedia of plant physiology*. O.L. Lange, P.S. Nobel, H. Ziegler (Eds.). Berlin, Springer Verlag. New Series v 12c. p. 302-390.
6. GIBSON, A.H.; HARPER, J.E. 1985. Nitrate effect on nodulation of soybeans by *Bradyrhizobium japonicum*. *Crop Science* 25:497-501.
7. HARPER, J.E.; COOPER, R.I. 1971. Nodulation response of soybeans (*Glycine max* L. Merr.) to application rate and placement of combined nitrogen. *Crop Science* 11:438-440.
8. HARPER, J.E. 1974. Soil and symbiotic nitrogen requirements for optimum soybean production. *Crop Science* 14:255-260.
9. HAUCK, R.D. 1980. Mode of action of nitrification inhibitors. In *Nitrification inhibitors, potentials and limitations*. J.J. Meisinger, G.W. Randall, M.L. Vitosh (Eds.) Madison, ASA. ASA Special Publication no. 38. p. 19-32.
10. IMSANDE, J. 1986. Inhibition of nodule development in soybeans by nitrate or reduced nitrogen. *Journal of Experimental Botany* 37:348-355.
11. KEENEY, D.R. 1980. Factors affecting the persistence and bioactivity of nitrification inhibitors. In *Nitrification inhibitors, potentials and limitations*. J.J. Meisinger, G.W. Randall, M.L. Vitosh (Eds.). Madison, ASA. ASA Special Publication no. 38. p. 33-46.
12. KURITZ, L.I. 1980. Potential for nitrogen loss. In *Nitrification inhibitors, potentials and limitations*. J.J. Meisinger, G.W. Randall, M.L. Vitosh (Eds.). Madison, ASA. ASA Special Publication no. 38. p. 1-17.
13. LATIMORE, M.; GIDDENS, J.; ASHLEY, D.A. 1977. Effect of ammonium and nitrate nitrogen upon photosynthate supply and nitrogen fixation by soybeans. *Crop Science* 17:399-404.
14. MUNNS, D.N. 1977. Mineral nutrition and the legume symbiosis. In *A treatise on nitrogen fixation. IV. Agronomy and ecology*. R.W.F. Hardy, A.H. Gibson (Eds.). New York, Wiley. p. 353-391.

15. NOMMICK, H.; VAHTRAS, K. 1982. Retention and fixation of ammonium and ammonia in soils. In Nitrogen in agricultural soils. F.J. Stevenson (Ed.) Madison, ASA. Agronomy Series no. 22. p. 123-171.
16. PATE, P.S.; DART, P.J. 1961. Nodulation studies in legumes. IV. The influence of inoculum strain and time of application of ammonium nitrate on symbiotic response. Plant and Soil 15:329-346.
17. PATE, J.S. 1976. Functional biology of dinitrogen fixation by legumes. In A treatise on dinitrogen fixation. II Biology. R.W. F. Hardy, W.S. Silver (Eds.) New York, Wiley. p. 473-517.
18. POWLSON, D.S. 1988. Measuring and minimizing losses of fertilizer nitrogen in arable agriculture. In Nitrogen efficiency in agricultural soils. D.S. Jenkinson, K.A. Smith (Eds.). London, Elsevier. p. 231-241.
19. SAHRAWAT, K.L. 1989. Effects of nitrification inhibitors on nitrogen transformations other than nitrification in soils. Advances in Agronomy 42:279-309.
20. STREETER, J.G. 1985. Nitrate inhibition of legume nodule growth and activity. I. Longterm studies with a continuous supply of nitrate. Plant Physiology 77:321-324.
21. YOUNG, J.L.; ALDA, R.W. 1982. Inorganic forms of nitrogen in agricultural soils. In Nitrogen in agricultural soils. F.J. Stevenson (Ed.) Madison, ASA. Agronomy Series no. 22. p. 43-66.

RESEÑA DE LIBROS

SOIL ACIDITY (ACIDEZ DE SUELOS). 1991.
Ulrich, B., M.E. Sumner (Eds.). Berlin,
Alemania, Springer. 224 p.

Este volumen presenta un excelente análisis de los procesos de acidificación y alcalinización de suelos. Examina con detalle los procesos de combinación de elementos motores con los diferentes materiales formadores de suelos y su efecto sobre el desarrollo de la acidificación.

El novedoso aspecto de la acidificación de suelos de los ecosistemas es el tema del capítulo más largo, que abarca más de la quinta parte del libro.

En un breve capítulo, se examina el efecto de la acidez y la alcalinidad, así como su interacción y formación de ácidos y bases en los suelos.

Los dos capítulos subsiguientes presentan información actualizada sobre química de suelos de los óxidos de Al, P y Mn, y con énfasis especial se describe el comportamiento de los minerales de Al.

Siguen dos capítulos que analizan las relaciones entre suelo y planta. El primero se refiere a la toxicidad del Al y el segundo al efecto de la acidez sobre las asociaciones de plantas. El último capítulo estudia el traspaso de la acidez del suelo a aguas superficiales -proceso sobre el cual existe poca información.

Se enfatiza en el transporte de la acidez por la acción de ácidos inorgánicos, provenientes, en gran parte, de la contaminación industrial. También se incluye un breve análisis del papel de los ácidos orgánicos.

Los capítulos tienen breves bibliografías, excepto el tercero que presenta una con más de cien referencias. La orientación del volumen muestra un enfoque básico y hacia problemas en regiones templadas. Sin embargo, la información básica es útil como una referencia, específicamente en relación con la acidificación de ecosistemas, un tópico importante, pero sobre el cual no hay mucha información.

ELEMER BORNEMISZA S.
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA