LA FERTILIZACION (15N), NUTRICION NITROGENADA Y ACTIVIDAD DE LOS MICROORGANISMOS NITROFIJADORES EN LA CAÑA DE AZUCAR, CEPA DE CAÑA PLANTA, CULTIVADA SOBRE SUELO FERRALITICO ROJO

R. Rivera, Ana Velazco y Eolia Treto

Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas

Palabras claves: Fertilizantes nitrogenados, nutrición de las plantas, fijación del nitrógeno, caña de azúcar, caña planta

ABSTRACT. The effect of N fertilization on sugarcane nutrition, yield, N-fixing microorganism activity and soil mineral form dynamics was studied in plant cane stool, on a compacted Red Ferralitic soil, under microplot conditions using ¹⁵N and field experiments. High speeds of urea hydrolysis and nitrification were recorded, nitrates showing a strong motion downwards. Athough there was no response to N fertilization with profits of 12%, when plants started to take up N, there was rarely fertilizer in the soil. Concerning the treatment without N fertilizer application, a low nitrate reductase activity and a high N-fixing microorganism activity and population suggest the existence and participation of an associative fixation at the N nutrition of plant cane.

RESUMEN. Se estudió en condiciones de microparcelas, con el empleo del 15N y de experimentos de campo, el efecto de la fertilización-N sobre la nutrición nitrogenada de la caña de azúcar, el rendimiento, la actividad de los microorganismos nitrofijadores y la dinámica de las formas minerales en el suelo, en caña de azúcar, en la cepa de caña planta, cultivada sobre suelo Ferralítico Rojo compactado. Se encontraron altas velocidades de hidrólisis de la urea y de la nitrificación, presentando los nitratos un fuerte movimiento hacia la profundidad. Si bien no existió respuesta a la fertilización nitrogenada y su aprovechamiento fue solo del 12 %, cuando las plantas comenzaron a absorber el nitrógeno prácticamente no quedaba fertilizante en el suelo. En el tratamiento sin aplicación de fertilizante nitrogenado, la baja actividad de la nitrato reductasa y la alta actividad y población de los microorganismos nitrofijadores sugieren la existencia y participación de la fijación asociativa en la nutrición nitrogenada de caña planta.

INTRODUCCION

La respuesta de la caña planta a la fertilización nitrogenada es un tema controvertido y si bien en Cuba abundan los resultados experimentales en que no hay respuesta a la aplicación de este elemento (Pérez, 1982), la mayoría de la Información de que se dispone se refiere a experimentos de campo y muy poca información acerca de la extracción y el balance del nitrógeno y de la dinámica de las formas minerales del N en el suelo, lo que no permite explicar completamente esta situación.

Además, a partir de la década del 70 se comenzó a obtener evidencia experimental acerca de la participación del N fijado biológicamente, mediante la fijación asociativa en la nutrición nitrogenada de la caña de azúcar (Vose, Hose y Salati, 1975; Johana Dobereiner, 1977 y Li y Lin, 1986), lo cual pudiera explicar al menos en algunos casos esta ausencia de respuesta.

Por todo lo anterior comenzaron estos trabajos con los objetivos siguientes:

- 1- obtener Información acerca del aprovechamiento del fertilizante nitrogenado por la cepa de caña planta y su relación con la dinámica de las formas minerales del nitrógeno en el suelo
- 2- obtener información acerca de la existencia y actividad de los microorganismos nitrofijadores del nitrógeno, su relación con la fertilización y la nutrición nitrogenada.

MATERIALES Y METODOS

El experimento se plantó en junio de 1986 con la variedad Ja. 60-5 sobre un suelo Ferralítico Rojo compactado (Hernández et al., 1975), en un marco de

Tabla I. Características agroquímicas iniciales del área experimental (0-30 cm)

	M.O.* (%)				Ca ²⁺ * cmol/kg	
6.0	3.0	0.178	43	0.25	12.0	1.1

M.O. % Walkley-Black; N total Kjeldhal;
 P disponible Bray-Kurtz 1, K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ NH₄Ac.1N

plantación de 1.6 x 0.6 m. Las principales características agroquímicas del suelo del área experimental se presentan en la tabla l.

Se estudiaron dos tratamientos con y sin fertilizante nitrogenado, en un diseño de bloques al azar con seis repeticiones. La dosis de N utilizada fue de 100 kg N/ha (46-0-0), así como 80 y 120 kg de P₂0₅ y K₂0/ha respectivamente, aplicados todos en el fondo del surco al inicio de la plantación.

Para los estudios con ¹⁵N se utilizaron microparcelas, conformadas por cajuelas metálicas de 1.6 x 0.6 x 0.6 m, cada una de las cuales contenía un plantón. En estos casos el nitrógeno se aplicó como solución de CO (¹⁵NH₂)₂, utilizándose diferentes enriquecimientos 5, 10 y 15 at % ¹⁵N, de acuerdo con el objetivo de la microparcela.

Muestreos de suelo. Se llevaron a cabo muestreos sistemáticos en ambos tratamientos hasta la profundidad de 60 cm y en algunos casos hasta 120 cm. En todos se determinaron la concentración de amonio ([NH₄ ⁺-N]) y la concentración de nitrato ([NO₃ ⁻-N]) por extracción con KCl 2N y el at % ¹⁵N en las muestras de las microparcelas con ¹⁵N, mediante un equipo de emisión óptico ISONITROMAT 5201.

Extracción de las plantas. Se llevaron a cabo bimestralmente hasta los 16 meses y después a los 19 meses. En cada una de las fechas se extrajeron cinco plantones de ambos tratamientos. En los muestreos a los 2, 4, 8 y 19 meses se extrajeron plantones que habían recibido ¹⁵N, formando parte de los cinco plantones correspondientes al tratamiento fertilizado.

En todos los casos se determinaron la producción de masa seca, el % N y la extracción, así como el N absorbido del fertilizante en las plantas que habían recibido ¹⁵N.

Asimismo se procedió a determinar a los 2, 4, 6, 8, 10, 12 y 16 meses de plantada la cepa de caña planta, la actividad de la nitrato reductasa y la reducción del acetileno (ARA) in vitro, así como la dinámica de las bacterias nitrofijadoras en hojas, raíces y rizosfera, realizándose además cortes histológicos en las raíces de la caña de azúcar.

RESULTADOS Y DISCUSION

 I- Efectos de la fertilización nitrogenada (urea) sobre la dinámica y las transformaciones del N-mineral en el suelo

En la figura 1 se presenta la evolución de las concentraciones de las formas minerales del nitrógeno en el suelo ([NH₄–N] y [NO₃⁺–N]), a tres profundidades, en los tratamientos con y sin fertilizante nitrogenado. En la misma se destacan:

- un rápido incremento en la [NH4 + N] en el tratamiento fertilizado, la cual desciende rápidamente a partir de los quince días posteriores a la aplicación y toma valores mínimos a partir de los 41 días, donde ya no se observan diferencias entre las concentraciones de NH4 + N en ambos tratamientos
- un rápido incremento en la [NO3-N] en el tratamiento fertilizado y aunque la misma disminuye con el tiempo, mantiene una mayor estabilidad que la [NH4+N], encontrándose valores relativamente importantes hasta los 100 días y concentraciones muy bajas, a partir de los ocho meses de sembrada la caña de azúcar, las cuales se mantienen en ese orden (aproximadamente 5 ppm) hasta finalizar el ciclo.

Los anteriores resultados indican la existencia de una alta velocidad de hidrólisis de la urea, la cual ocurrió fundamentalmente en los primeros 15 días posteriores a su aplicación y una alta velocidad de nitrificación del fertilizante, de forma que a los 21 días prácticamente todo el N-mineral se encontró en forma de NO₃-N, debiendo además tenerse en cuenta que este período de tiempo incluye la hidrólisis de la urea.

El movimiento de las formas minerales en el perfil del suelo puede ser observado en la figura 1, encontrándose una conducta diferenciada entre ambas formas y manifestándose con mayor intensidad en el tratamiento fertilizado, donde estas presentan mayores concentraciones.

La forma amoniacal presentó ligeros Incrementos en la profundidad, sobre todo en los muestreos más cercanos a la aplicación, aunque estos incrementos se consideran más relacionados con el fácil desplazamiento de la urea (Fenn y Miyamoto, 1981) y posterior hidrólisis que con el movimiento en sí de la forma NH₄⁺-N.

En relación con los nitratos (Figs. 1 y 2) la situación es muy diferente, encontrándose desde las primeras evaluaciones indicios de su desplazamiento hacia la profundidad e inclusive a los dos meses, las mayores concentraciones de NO₃—N no se encontraban en la superficie sino en las máximas profundidades estudiadas (1–1. 2 m), siendo esto explicable en un alto porcentaje por el movimiento de los nitratos en el perfil, en presencia de condiciones propicias de humedad en el suelo para dicho lavado.

La participación del N-fertilizante en los nitratos que se mueven hacia la profundidad fue considerable (Tabla II), siendo los porcentajes de nitrógeno derivado del fertilizante (% N ddf) del orden del 60-70 %, lo cual debe implicar no sólo pérdidas importantes de N del sistema, sino también del N-fertilizante.

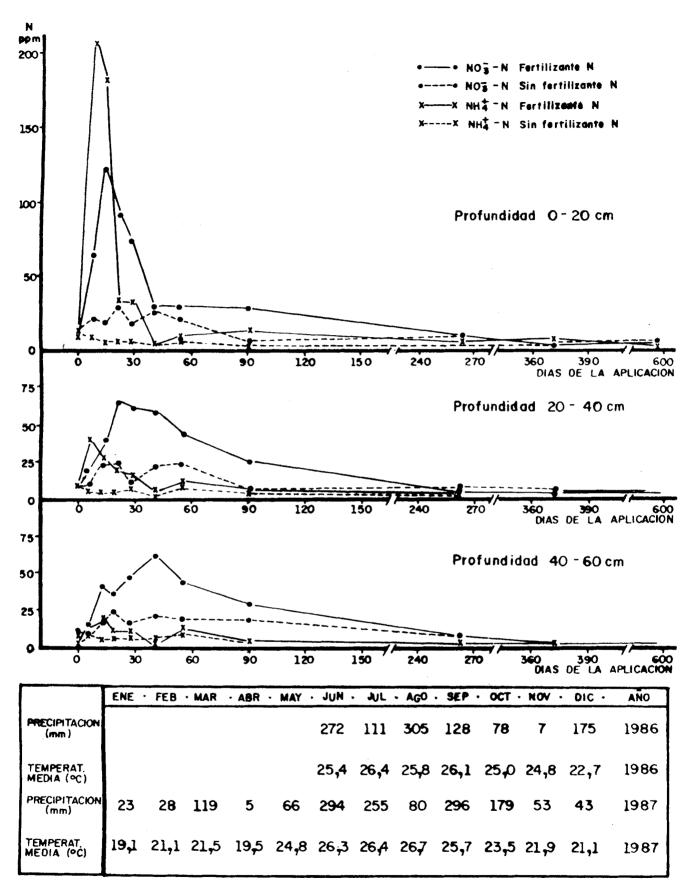


Figura 1. Dinámica de las formas minerales del nitrógeno en la zona de aplicación y a diferentes profundidades. Precipitación y temperatura promedio del área experimental

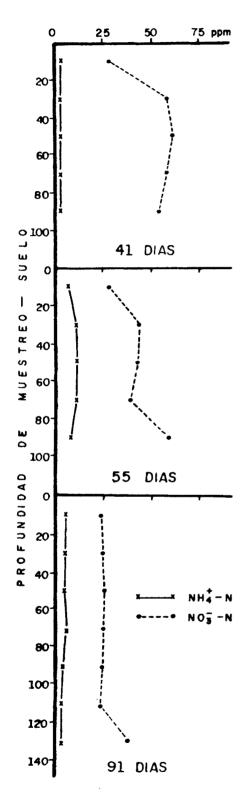


Figura 2. Concentración de NH4⁺-N y NO₃-N en el perfil del suelo, en diferentes momentos después de la aplicación del fertilizante nitrogenado

II. 1-Rendimiento y absorción del nitrógeno

La cepa de caña planta no presentó respuesta a la fertilización nitrogenada (Tabla III), obteniéndose en ambos tratamientos, con y sin fertilizante nitrogenado, altos e inclusive iguales rendimientos agrícolas.

La producción de masa seca presentó un comportamiento sigmoidal y al parecer muy relacionado con el régimen de precipitaciones y de temperatura ambiente (Figura 3).

A los dos meses de plantada la caña, solo se había producido el 0.5 % de la masa seca total del ciclo, comenzando a partir de ese momento, y en presencia de condiciones favorables de precipitaciones y temperatura, un período de crecimiento rápido que se extiende hasta los siete meses donde se produjo el 30 % de la masa seca total.

A partir del año de plantado se reinicia el crecimiento, al comenzar nuevamente las precipitaciones y temperaturas favorables, alcanzándose los máximos valores de masa seca total a los 17 meses de la plantación (69 t masa seca/ha).

La absorción de N (Figura 3) presentó una tendencia similar en cuanto a la influencia del régimen de precipitación, el riego y la temperatura, sin embargo fue mucho más intensa en el primer gran período de crecimiento rápido (2-7 meses), donde las plantas tomaron hasta el 63 % del N total extraído en el ciclo.

Esta absorción continuó hasta prácticamente el final del ciclo de caña planta, aunque con menor velocidad y relacionada con las condiciones climáticas, de forma que el restante 37 % del N se absorbe en los posteriores once meses, en los cuales se produce el otro 70 % de la masa seca.

Estos resultados de forma general coinciden con los encontrados por otros investigadores (Takahashi, 1964; Srivastava, 1968).

La extracción del fertilizante nitrogenado (¹⁵N) ocurrió con una fuerte intensidad en los primeros meses (Fig. 3). Entre los dos y cuatro meses de plantado el cultivo, fue absorbido el 86 % del fertilizante—N y el restante 14 % entre los cuatro y ocho meses de plantada la caña.

Las plantas tomaron con fuerza el N del fertilizante entre los 2-4 meses, período en el cual todavía existía N-fertilizante en formas minerales en el suelo y más allá del cual desapareció (Figs. 1 y 2), siendo explicable el patrón de absorción del fertilizante-N, fundamentalmente por el ritmo de crecimiento del cultivo y la disponibilidad de N-fertilizante en las formas minerales.

Esta información completa la encontrada anteriormente por Rivera y Eolia Treto (1988), trabajando con caña planta sembrada en frío, donde prácticamente a los ocho meses se había extraído la totalidad del fertilizante nitrogenado que la planta utilizó.

Un aspecto importante obtenido fue que la participación del N-fertilizante en la nutrición nitrogenada y el

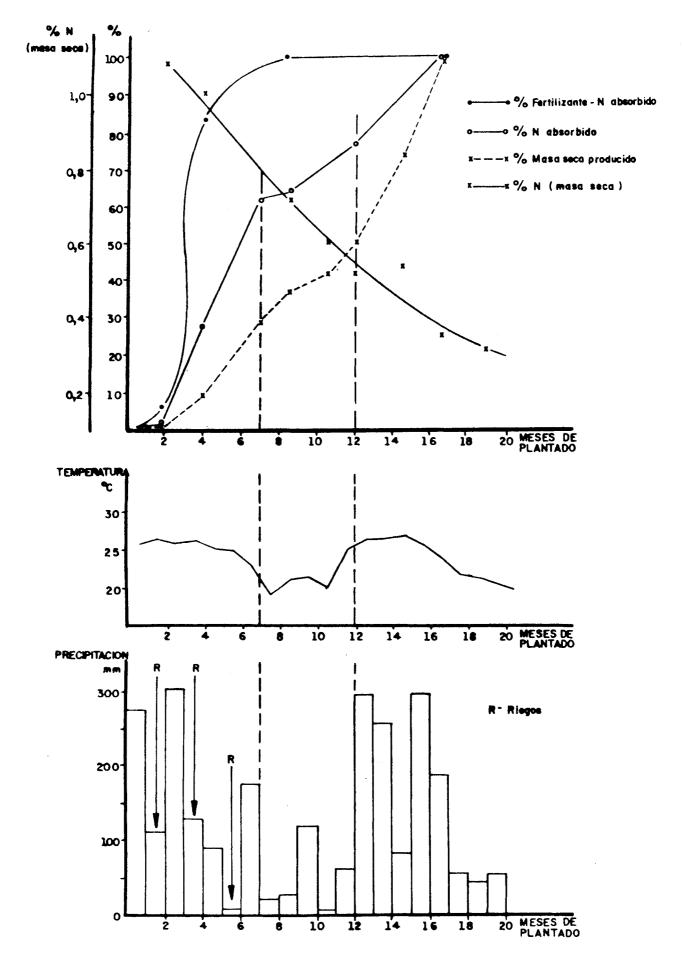


Figura 3. Dinámica de la absorción de N por la caña planta (% N absorbido, % N masa seca) y el porcentaje de masa seca producido. Temperatura y precipitación mensual y riegos dados en el período experimental

Tabla II. Dinámica del fertilizante-¹⁵N (ppm) en las formas minerales del N a diferentes profundidades

Profundidad (cm)	7 días		14 días		22 días		28 días		41 días		91 días	
	ı	li	i	II	Ī	II	t	II	1	II	l	II
0–20	186.0	40.0	163.0	88.0	15.6	52.0	8.3	51.2	0.64	21.1	0.00	0.47
20-40	29.0	10.0	6.8	15.6	5.6	28.0	1.2	40.2	0.51	35.5	0.01	
40-60	2.8	1.9	2.8	9.5	0.9	5.2	2.9	21.0	0.25	38.0	0.01	0.00
60-80									0.37	36.0	0.07	0.40
80-100									0.10	36.0	0.01	1.00
100-120												2.21
120-140											0.01	3.10

1: NH4+-N

II: NO3-N

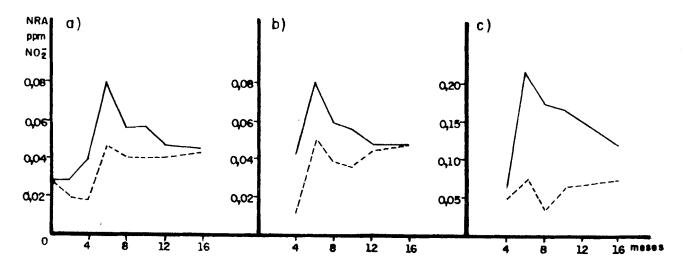


Figura 4. Efecto de la fertilización nitrogenada en la actividad de la nitrato reductasa (NRA) expresado en ppm de NO₂- formado g⁻¹ h⁻¹. a ~ rizosfera b-raíz c - hoja

recobrado del fertilizante fueron bajos y del orden del 5.5 % y 12 % respectivamente, siendo estos valores mucho más bajos que el 30 % de recobrado que encontraron Rivera y Eolia Treto (1988) en las condiciones referidas anteriormente.

Tabla III. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento de la caña planta

	t caña/ha	t pol/ha
NPK	160	24.64
N₀PK	160	24.32
E.S. x	5.2 NS	1.5 NS

Si bien no existió respuesta a la fertilización nitrogenada, sobre la base de los datos de rendimiento (Tabla III) y se obtuvo un buen rendimiento, no es menos cierto que la desaparición del fertilizante nitrogenado en el suelo, en el momento en que prácticamente las plantas comenzaron la absorción de nitrógeno, impide una valoración exacta acerca de la necesidad o no del fertilizante—N.

 2-Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la actividad de la nitrato reductasa y los organismos nitrofijadores

La actividad de la nitrato reductasa se vio fuertemente influida por el uso del fertilizante (Figura 4), destacándose los siguientes aspectos:

- un fuerte incremento en la actividad de la nitrato reductasa, la cual presentó valores ascendentes hasta la evaluación de los seis meses, a partir de la cual comenzó a disminuir. Los mayores valores absolutos alcanzados fueron siempre en las hojas
- una conducta similar en las hojas, raíces y rizosfera en el sentido de que la actividad en el tratamiento fertilizado fue muy superior a la del no fertilizado, encontrándose las mayores diferencias entre ambos en las hojas y menores en las raíces y la rizosfera.

Sin embargo en el tratamiento no fertilizado y sobre todo en las hojas (que es el órgano donde en más alta extensión se metaboliza el N), se obtuvo una conducta muy diferente, que indica que al menos una parte del N que llega a la planta no lo hace en forma de nitratos.

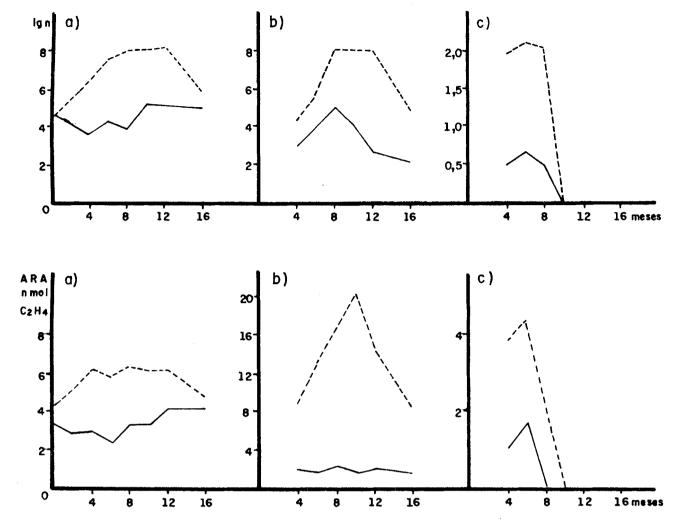


Figura 5. Efecto de la fertilización nitrogenada en la población de microorganismos nitrofijadores y la reducción del acetileno (ARA) expresado en n moles de C₂H₄ formado g⁻¹ h⁻¹. a -rizosfera b - raíz c - hoja

Los datos indican que la vía NH4-N se usa en una importante extensión en el tratamiento no fertilizado, aunque de acuerdo con la dinámica de las formas minerales en el suelo (Fig. 1 y Tabla II), este suministro no parece ocurrir a través de la solución del suelo.

En la figura 5 se muestra la dinámica de la población y la actividad de reducción del acetileno (ARA) de los microorganismos nitrofijadores en ambos tratamientos, en las hojas, raíces y rizosfera, destacándose:

- un fuerte incremento en la población y reducción de acetileno (ARA) en el tratamiento no fertilizado, alcanzándose los mayores valores en las raíces, superiores al menos en 2-3 veces a los encontrados en la rizosfera y las hojas
- la propia dinámica de los nitrofijadores y de la reducción de acetileno, evidencia la inhibición de estos microorganismos en la presencia de altas concentraciones de N mineral, tal y como sucede en el tratamiento fertilizado. Esta inhibición desaparece, cuando desaparece el N mineral en el suelo y explica el aumento de estos microorganismos y su actividad

en la rizosfera del tratamiento fertilizado después de los seis meses.

El análisis conjunto de la actividad de la nitrato reductasa y los organismos nitrofijadores evidencia un comportamiento diametralmente opuesto en las plantas, de acuerdo a si están en presencia o no del fertilizante nitrogenado, lo que sugiere la participación de la fijación asociativa en la nutrición nitrogenada de la caña de azúcar en el tratamiento no fertilizado, como fuente de N-NH₄ ⁺ que llega a las plantas.

La fijación asociativa entre los organismos nitrofijadores y las gramíneas es un hecho reconocido en la actualidad (Stewart et al., 1979), aunque son controvertidos los criterios acerca de la magnitud e importancia de la misma (Dobereiner; 1977; Stewart et al., 1979).

En este caso, además de las determinaciones de reducción del acetileno y de la dinámica poblacional, el estudio de los cortes histológicos en la raíz permitió detectar la presencia de microorganismos del género azospirillum, tal y como fue encontrado por Vose et al. (1975) en Brasil.

CONCLUSIONES

- La absorción del N-fertilizante estuvo condicionada por el ritmo de crecimiento y la dinámica de las formas minerales del N en el suelo, de forma que cuando las plantas comenzaron a absorber el N (entre los dos y cuatro meses), prácticamente no quedaba N fertilizante en formas minerales en el suelo.
- En el tratamiento que no recibió fertilizante nitrogenado, se encontró una alta evidencia (baja actividad de la nitrato reductasa en las hojas, alta reducción del acetileno y alta población de nitrofijadores en la raíz) de la participación de la fijación asociativa como vía de suministro de nitrógeno.

BIBLIOGRAFIA

- Dobereiner, Johana. Present and Future Opportunities to Improve the Nitrogen Nutrition of Crops through Biological Fixation. / Johana Dobereiner.— En: Biological Nitrogen Fixation in Farming Systems of the Tropics, 1977.— p. 3–12.
- Fenn, L. B. y S. Miyamoto. Ammonia Losses and Associated Reactions of Urea in Calcareous Soils. Soil Scl. Soc. Am. J. (Madison)45:537–540, 1981.
- Hernández, A. /et al./. Segunda clasificación genética de los suelos de Cuba. Academia de Ciencias de Cuba. Suelos (La Habana)23:1-25, 1975.

- Li, S. W. The Association of Nitrogen-Fixing Bacterium Beijeriockia Like Sp. with Sugarcane. / S. W. Li, W. Ch. Lin.— En. Proceedings, ISSCT Agronomy, 1986.— p. 9–17.
- Pérez, H. Fertilización nitrogenada de la caña de azúcar. / H. Pérez.— Tesis de grado (C.Dr. en Ciencias Agrícolas); INICA; 1982.
- Rivera, R. y Eolia Treto. Absorción y balance del fertilizante—N en caña planta, sobre suelo Ferralítico Rojo compactado utilizando ¹⁵N. **Cultivos Tropicales** (La Habana)10(4):3–12, 1988.
- Srivastava. S. C. On the Rationales of the Nitrogen Fertilization for Sugarcane. / S. C. Srivastava.— En: Proceedings 13 Congress ISSCT; 1968.— p. 794–799.
- Stewart, W. D. Associations of Nitrogen-Fixing Prokaryotes with Higher and Lower Plants. / D. W. Stewart,
 P. Rowell, C. M. Leckhart.— En: Nitrogen Assimilation of Plants. Sixth Long Ashton Symposium.—Londres: Academic Press, 1979.
- Takahashi, D. T. ¹⁵N Nitrogen Field Studies with Sugarcane. **The Hawaiian Planter's Record.** (Hawai)57(2):198-222, 1964.
- Vose, A. P.; R. Y. Henis y E. Salati. Nitrogen 15 Tracing of N-Fixation with Soil-Grown Sugarcane Seedlings. Soil Biol. Biochem. (Oxford)7:181– 182, 1975.

Recibido: 28 de junio de 1990 Aceptado: 6 de julio de 1990

DE

CAMARA

CAMARA DE PRESION PARA MEDIR EL POTENCIAL HIDRICO DE LAS PLANTAS

Este equipo mide el potencial hídrico foliar de los cultivos agrícolas, por su sencillez, rapidez y precisión es utilizado ampliamente a nivel internacional, tanto en la investigación como en la producción. La cámara de presión ahorra al país, por concepto de importación de un equipo similar del área capitalista, alrededor de us \$ 3 000 ó 4 000.

PRESION