Cultivos Tropicales, 2010, vol. 31, no. 1, p. 93-100

RESPUESTA DE LA CAÑA DE AZÚCAR A LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN UN EXPERIMENTO DE LARGA DURACIÓN CON 24 COSECHAS ACUMULADAS

J. A. Cabrera✉ y R. Zuaznábar

ABSTRACT. Nitrogen is a vital nutrient for sugarcane growth and development, which increases cane and sugar yields when it is rationally used. In this regard, an investigation was carried out for 27 years, with the objective of defining yield behavior with different doses of N applied to a sugarcane agro-ecosystem where burning is used to harvest. A long-term N level trial was conducted under irrigated conditions, with four planting cycles and 24 harvests. An eutric typical Red Ferralitic soil was employed. Plant cane did not respond to N fertilization; the response was not systematic in the first ratoon, but it became more stable in the second one and there was always a response from the third ratoon on, whereas the required N doses were different per each cycle, it decreasing from the fourth ratoon on with regard to the previous cycles. In general, N needs diminished with rainfall increment.

Key words: sugarcane, nitrogen fertilizers, plant response, nutritional requirements, rainfall

RESUMEN. El nitrógeno es un nutriente vital para el crecimiento y desarrollo de la caña de azúcar, y usado racionalmente incrementa los rendimientos cañeros y azucareros. Sobre esta base se realizó una investigación durante 27 años, con el objetivo de definir el comportamiento de los rendimientos con diferentes dosis de N aplicadas en un agroecosistema cañero, donde se practica la quema para la cosecha. Se condujo un experimento de niveles de N de larga duración en condiciones de secano, con cuatro ciclos de plantación y 24 cosechas. Se empleó un suelo Ferralítico Rojo típico éutrico. La caña planta no respondió a la fertilización con N; en el primer retoño la respuesta no fue sistemática, en el segundo comenzó a estabilizarse la respuesta y del tercero en adelante siempre hubo respuesta, y las dosis de N requeridas fueron diferentes para cada ciclo, disminuyendo desde el cuarto retoño en adelante con respecto a los ciclos precedentes. En general, las necesidades de N disminuyeron con el aumento de las precipitaciones pluviales.

Palabras clave: caña de azúcar, abonos nitrogenados, respuesta de la planta necesidades de nutrientes, lluvia

INTRODUCCIÓN

El manejo balanceado de nutrientes es esencial para alcanzar altos rendimientos y mejorar la eficiencia en su uso, lo que beneficia por igual a los agricultores, la sociedad y el ambiente.

Revisiones recientes de estudios conducidos en varias partes del mundo concluyen que entre el 30 y 50 % del rendimiento de los cultivos es atribuible a los nutrientes aplicados (1).

El aumento razonable de la productividad en las áreas agrícolas actuales contribuye a la conservación de los hábitats de la vida silvestre, al reducir la presión para derivar más tierras a la agricultura. Se estima que los aumentos de productividad obtenidos mediante tecnologías agrícolas y el uso de los fertilizantes nitrogenados han evitado la conversión a tierras de cultivo de aproximadamente 970 x 10^6 ha en todo el mundo desde l96l.

Esto representa una superficie mayor a la totalidad de las tierras de los EE.UU. (940 x 10^6 ha). De este análisis se deriva la importancia de los fertilizantes nitrogenados (2).

Desafortunadamente, las grandes cantidades de fertilizantes nitrogenados que se han aplicado en la agricultura moderna han originado residuos contaminantes, que en la actualidad ocasionan serios problemas en muchos lugares del planeta, por lo que se impone realizar un uso racional y óptimo de esos insumos.

Para la caña de azúcar, la dosis adecuada de este nutriente depende de un factor interno, determinado genéticamente por las exigencias de cada variedad, y numerosos factores externos, que influyen sobre la cantidad de este nutriente que queda a disposición de la planta y es aprovechado por ella (3).

Con otras investigaciones se ha demostrado que con la aplicación máxima de 90 y 120 kg.ha^{-1} de N respectivamente, la curva de respuesta de la producción ante la fertilización con N es creciente, y la estabilización y posterior disminución no fue alcanzada con las dosis ensayadas (4). Estos resultados indican que la demanda de N depende del potencial genético de la variedad. A conclusiones similares se llegó en Cuba (5), pero indicando que sí se logró un máximo de rendimiento y estabilización, aún aumentando la dosis de N.

Dr.C. J. A. Cabrera, Investigador Titular del departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), gaveta postal 1, San José de las Lajas, La Habana, CP 32 700 y Ms.C. R. Zuaznábar, Investigador Auxiliar y Director de la ETICA-Habana, Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA), Boyeros, La Habana, Cuba

✉ nani@inca.edu.cu

La mayoría de las investigaciones realizadas en diferentes países cañeros han confirmado que los retoños necesitan mayor cantidad de N que la caña planta y la ausencia de respuesta de esta; pero esos resultados, en general, se han obtenido a partir de experimentos que han contemplado un solo ciclo de cosechas o algunas cosechas dentro de un mismo ciclo, limitándose así la repetición en el tiempo, lo que se ha tratado de minimizar mediante la repetición espacial.

Por tales motivos se realizó este estudio, que tuvo como objetivo general precisar la respuesta de la caña planta y los retoños ante la fertilización nitrogenada, en diferentes ciclos de cosechas realizados en un mismo lugar y con diferentes variedades durante más de 20 años.

MATERIALES Y MÉTODOS

El desarrollo del trabajo comprendió un experimento con cultivo continuado de caña de azúcar de larga duración, con 27 años, que se inició el 27 de marzo de 1973 y concluyó el 26 de mayo del 2000, con cuatro ciclos de plantación y 24 cosechas efectuadas, en la Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (EPICA) de La Habana.

La información referida a las condiciones del clima, la ubicación, la conducción y el manejo dado al experimento se ofrece en un trabajo anterior (6).

Las siguientes variedades de caña de azúcar fueron evaluadas en los ciclos y las cosechas efectuadas:

- Primero: B 4362 (planta y cinco retoños)
- Segundo: Ja 60-5 (planta y cinco retoños)
- Tercero: Ja 60-5 (planta y seis retoños)
- Cuarto: C 323-68 (planta y cuatro retoños)

La reposición de las plantaciones se realizó de forma tal, que los tratamientos evaluados quedaran siempre ubicados en la misma parcela, lo que permitió estudiar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre el suelo, cultivo y agroecosistema en el tiempo. Se propiciaron condiciones favorables al cultivo, manteniéndose libres de malas hierbas mediante labores de cultivo mecanizado, limpias manuales y aplicaciones de herbicidas de pre y pos-emergencia. Los tratamientos ensayados en los ciclos de cosechas se describen en la Tabla I.

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño de bloques al azar con cuatro réplicas, en parcelas de 48 m^2, con cuatro surcos de 7.50 m de longitud y espaciados a 1.60 m.

Las cosechas se realizaron mediante corte manual en caña quemada, procediéndose al pesaje directo en el campo de la producción de cada parcela, determinándose así el rendimiento en caña ($Mg.ha^{-1}$) para su posterior análisis estadístico.

La variable rendimiento en caña se sometió al análisis de varianza en correspondencia con el diseño estadístico utilizado. En los casos en que se presentaron diferencias significativas entre las medias de los tratamientos, se aplicó la prueba de Rangos Múltiples de Duncan al 5 % de probabilidad del error.

Tabla I. Descripción de los tratamientos evaluados en el experimento de larga duración desarrollado en San Nicolás de Bari donde se estudió el N como nutriente

Tratamientos	Dosis, $kg.ha^{-1}$		
	N	P_2O_5	K_2O
1	0	0	0
2	0	90	100
3	40	90	100
4	60	90	100
5	80	90	100
6	100	90	100
7	120	90	100
8	140	90	100
9	160	90	100
10	180	90	100

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La caña planta mantuvo el mismo comportamiento en los cuatro ciclos de plantación, sin efectos positivos de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento agrícola, independientemente de la variedad utilizada (Figura 1).

Esto constituye un hecho informado en Cuba desde el siglo pasado y reiterado en la actualidad (7, 8, 9); por tal razón, solo se recomienda la aplicación de N para las cañas plantas en áreas con hidromorfía, compactación manifiesta y suelos de textura arenosa (10). En Brasil, se ha obtenido respuesta de la caña planta a la aplicación de N en suelos de textura arenosa (11).

La nutrición nitrogenada de los cultivos guarda estrecha relación con la mineralización de la materia orgánica del suelo, aspecto este último que se propicia a los ciclos de caña planta a partir de las labores de preparación del terreno para la plantación, las que además de atenuar los efectos de la compactación, incorporan restos vegetales, aumentando el contenido de materia orgánica y mejorando las condiciones físicas e hidrofísicas del suelo, para el desarrollo del sistema de raíces e intercambio de gases y energía con el medio.

La respuesta al N de los retoños tuvo un comportamiento diferenciado. El primer retoño manifestó requerimientos que oscilaron entre 40 y 60 $kg.ha^{-1}$ de N y sin respuesta a las aplicaciones en el segundo y cuarto ciclos (Figura 2).

En este ciclo, sobre un suelo Ferralítico Rojo de Cuba, se obtuvo la mayor respuesta con 75 $kg.ha^{-1}$ de N (12), mientras que la dosis calculada utilizando modelos discontinuos fue de 61 $kg.ha^{-1}$ de N (13).

Aunque no con alta frecuencia, se aprecia ya en esta cepa una tendencia más definida de respuesta a las aplicaciones de N, obteniéndose diferencia significativa en el rendimiento agrícola en dos de los cuatro ciclos analizados.

El segundo retoño requirió dosis entre 40 y 100 $kg.ha^{-1}$ de N en los tres primeros ciclos, ya en el cuarto, donde la variedad en estudio fue la C 323-68, no hubo respuesta a la aplicación del fertilizante (Figura 3).

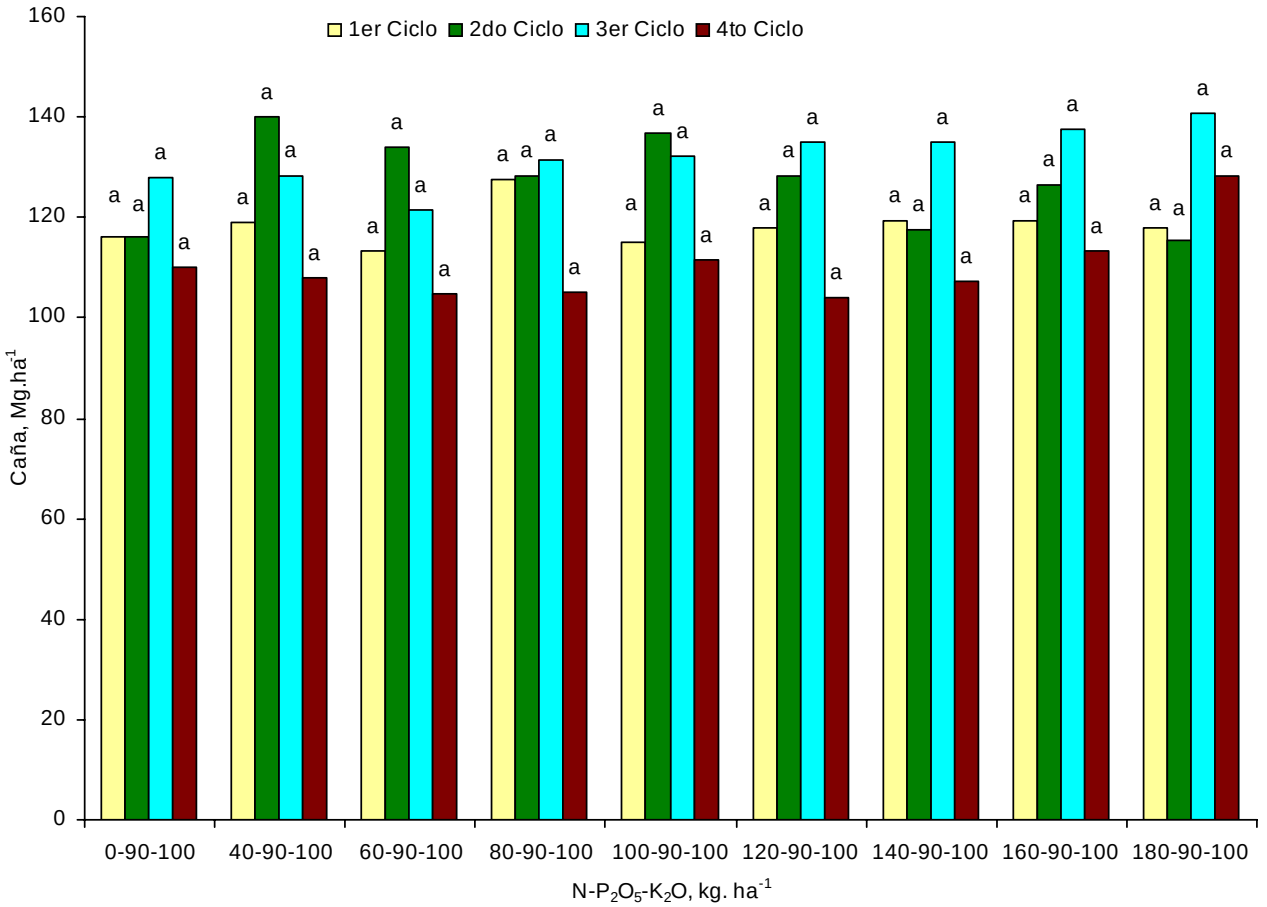
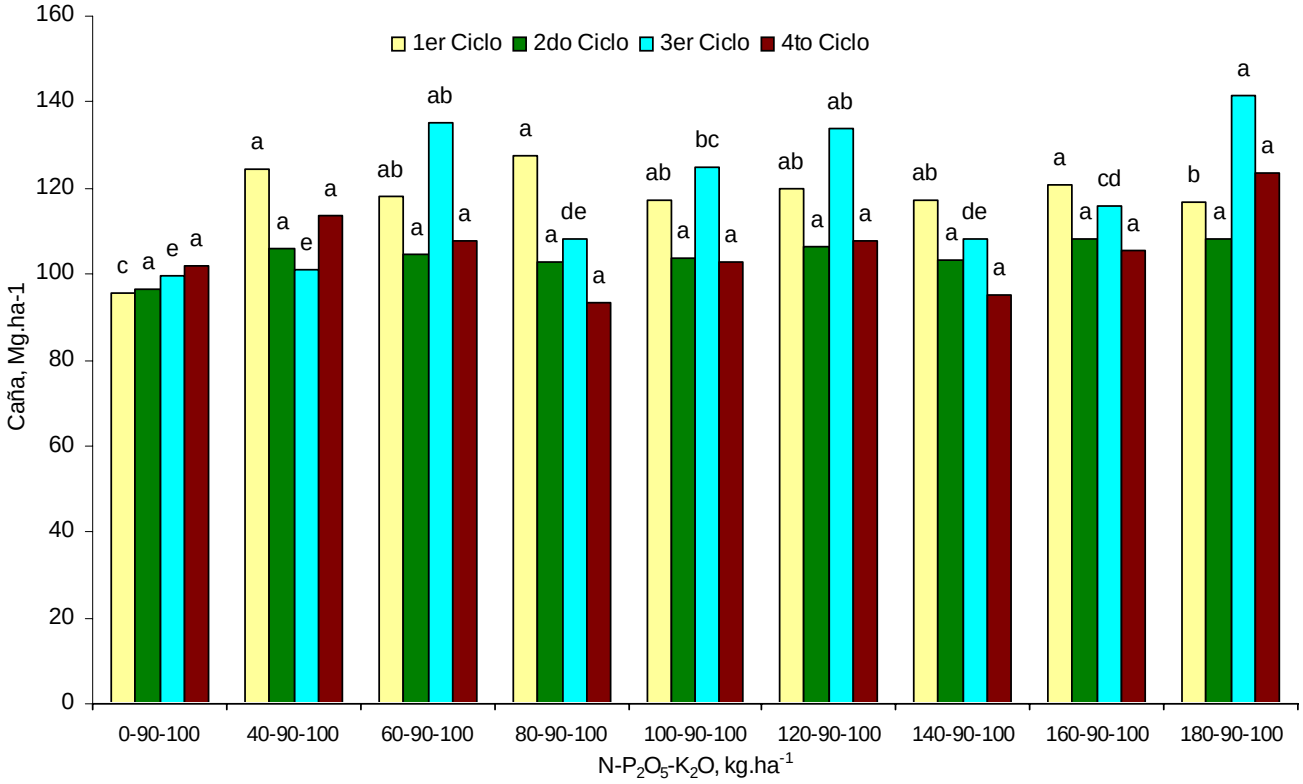
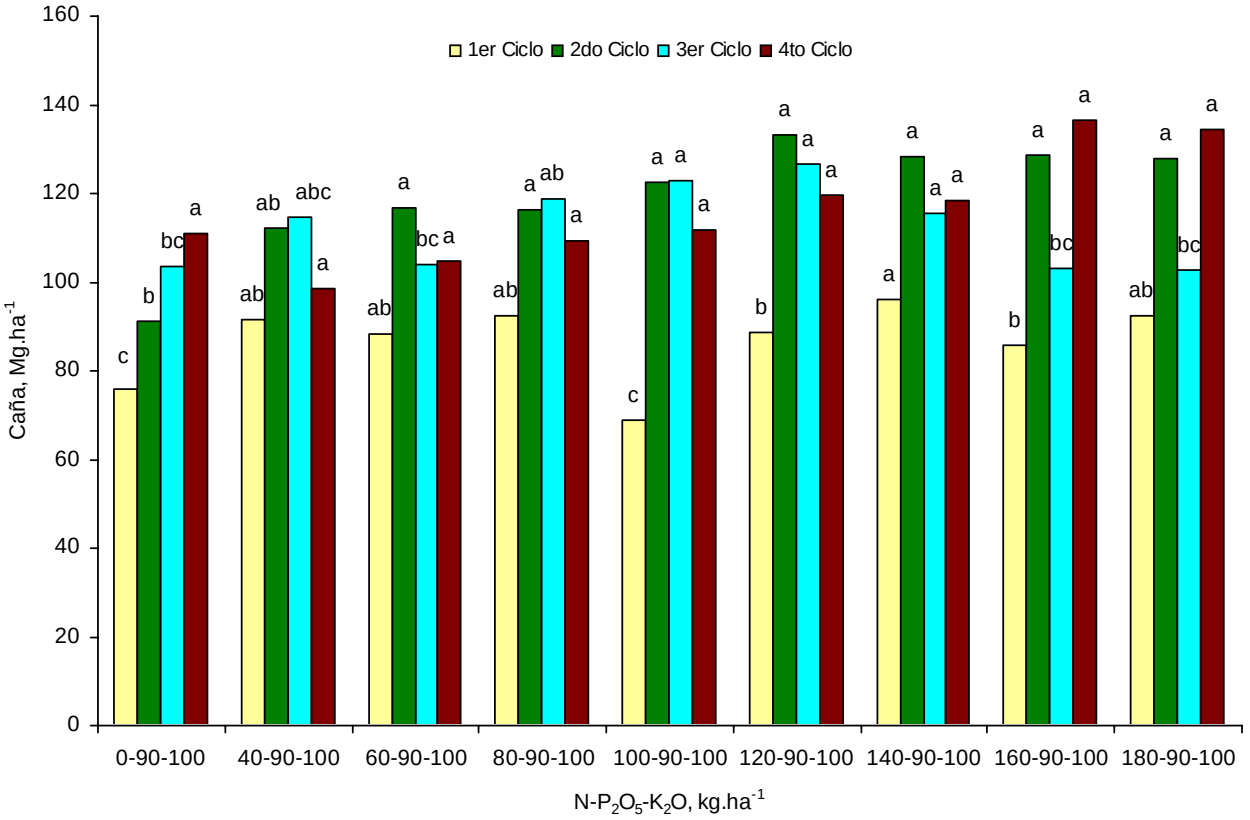


Figura 1. Comportamiento de los rendimientos de caña planta según las dosis de N para los ciclos estudiados



Letras iguales para un mismo color indican ausencia de diferencia significativa al 5 % de probabilidad de error

Figura 2. Comportamiento de los rendimientos del primer retoño según las dosis de N para los ciclos estudiados



Letras iguales para un mismo color indican ausencia de diferencia significativa al 5 % de probabilidad de error

Figura 3. Comportamiento de los rendimientos del segundo retoño según las dosis de N para los ciclos estudiados

En Cuba se ha considerado este retoño como el más estable en la respuesta a la fertilización nitrogenada, encontrándose en los suelos Ferralíticos Rojos incrementos notables desde 75 hasta 175 kg.ha^{-1} de N (12), estando asociada la mayor respuesta con una dosis media de 127 kg.ha^{-1} de N (13).

El comportamiento mantenido por la variedad C 323-68, que no respondió desde la caña planta, reflejó lo que pudiera interpretarse como un efecto de interacción entre el N y las variedades.

En el tercer retoño se obtuvo respuesta a la fertilización nitrogenada; en este caso se alcanzó el rango más amplio con valores entre 40 y 140 kg.ha^{-1} de N (Figura 4).

Al inicio de la década de los años 80 del siglo pasado, no había diferenciación entre los ciclos después del segundo retoño y se consideró que todos tenían un comportamiento similar en su respuesta al N (12); sin embargo, ya iniciado el segundo lustro (13), se pudo precisar que la respuesta de este ciclo en un suelo Ferralítico Rojo se alcanzó con un nivel medio de fertilización de 97 kg.ha^{-1} de N.

En el cuarto retoño la respuesta a la fertilización se obtuvo con dosis desde 40 hasta 80 kg.ha^{-1} de N (Figura 5).

Con una dosis media de 52 kg.ha^{-1} de N para este ciclo, se lograron incrementos significativos de los rendimientos cañeros (13). Los resultados que se exponen coinciden con la cita anterior, ya que el nivel medio de N para este ciclo resulta inferior al del precedente, resultado también contradictorio con la recomendación de incrementar los niveles de aplicación de N a medida que envejece el ciclo.

En el quinto retoño se encontró respuesta a la fertilización nitrogenada y las necesidades para las diferentes variedades fueron de 40 kg.ha^{-1} (Figura 6).

En este ciclo no se encontró respuesta a la fertilización nitrogenada (13), atribuyéndose este comportamiento a los daños mecánicos o biológicos que sufre la plantación a lo largo de todo el ciclo y a la acumulación de materia orgánica en el suelo por las raíces y los restos de cosechas, por lo que la demanda del N del fertilizante disminuye. Contrario a lo planteado anteriormente, se argumenta que los retoños, por lo general, requieren de aplicaciones de fertilizantes nitrogenados, aumentando su efectividad o respuesta de la planta con el número de cortes y estos se afectan sensiblemente por la ausencia de fertilizantes, descendiendo rápidamente los rendimientos y no se recomienda su uso solo cuando los rendimientos agrícolas estén muy deprimidos y no se justifique su aplicación económicamente (8).

En el tercer ciclo de plantación, sexto retoño, con la dosis de 40 kg.ha^{-1} de N, hubo respuesta a la fertilización nitrogenada (Figura 7), en contraste con la recomendación vigente de fertilización de la caña de azúcar (8) de que los ciclos más viejos requieren más N. Estos resultados contradicen esta afirmación y la que considera innecesaria la aplicación de N después del quinto retoño (13).

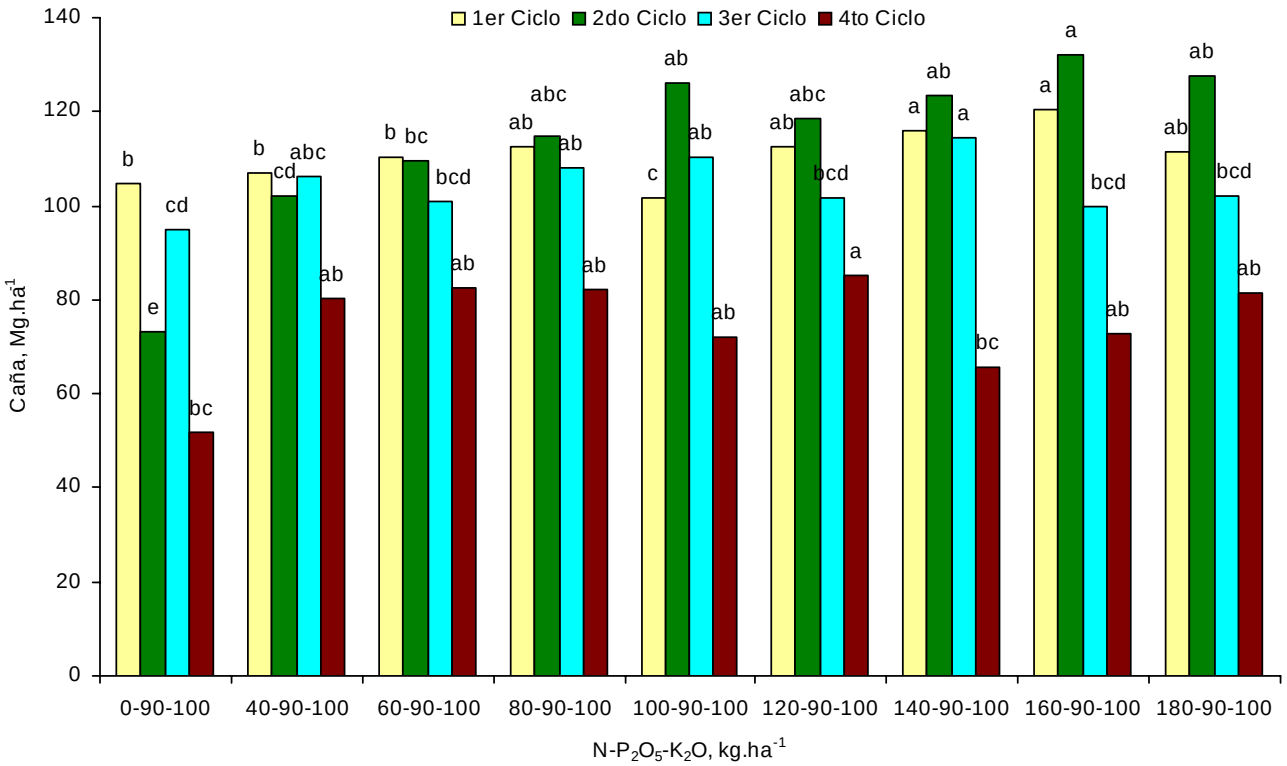
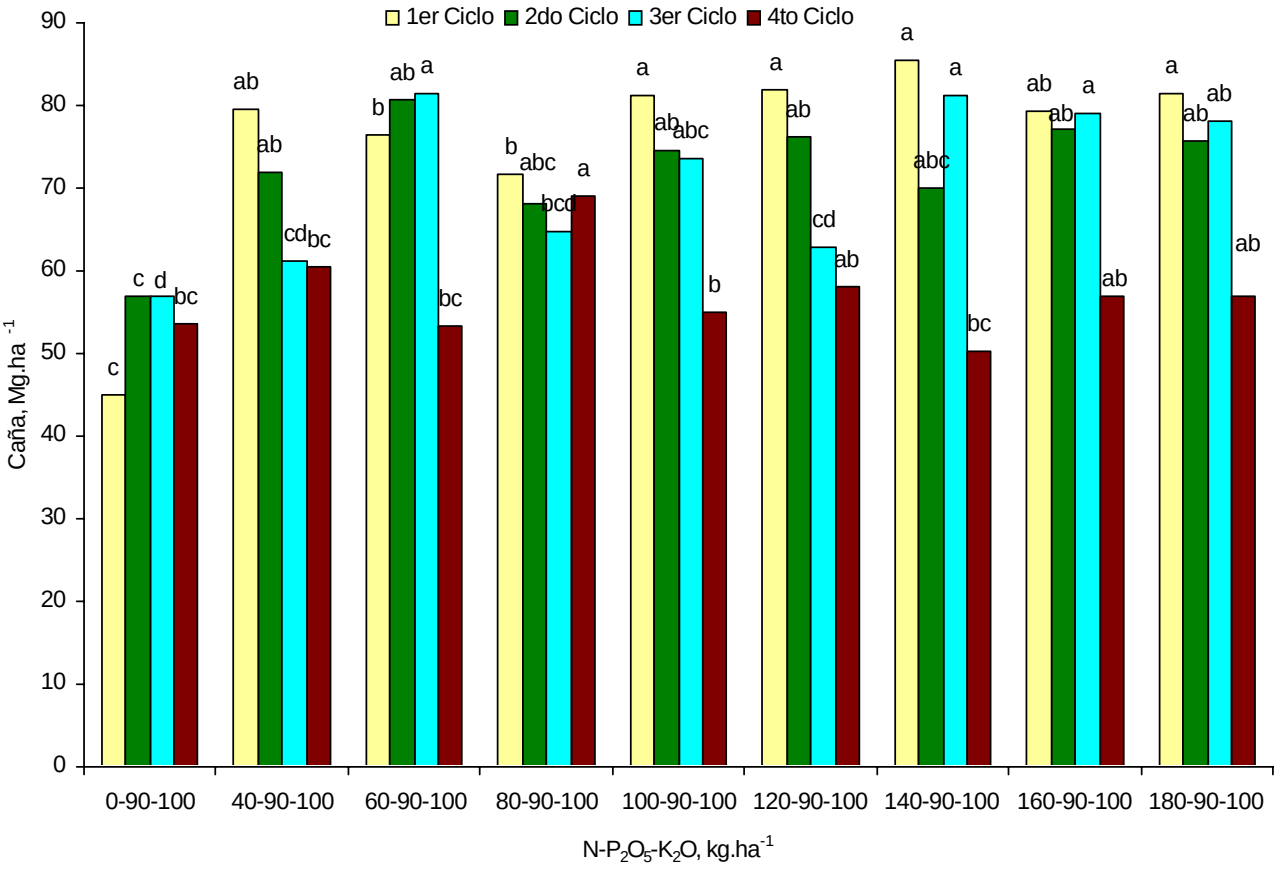


Figura 4. Comportamiento de los rendimientos del tercer retoño según las dosis de N para los ciclos estudiados



Letras diferentes para un mismo color indican diferencia significativa al 5 % de probabilidad de error

Figura 5. Comportamiento de los rendimientos del cuarto retoño según las dosis de N para los ciclos estudiados

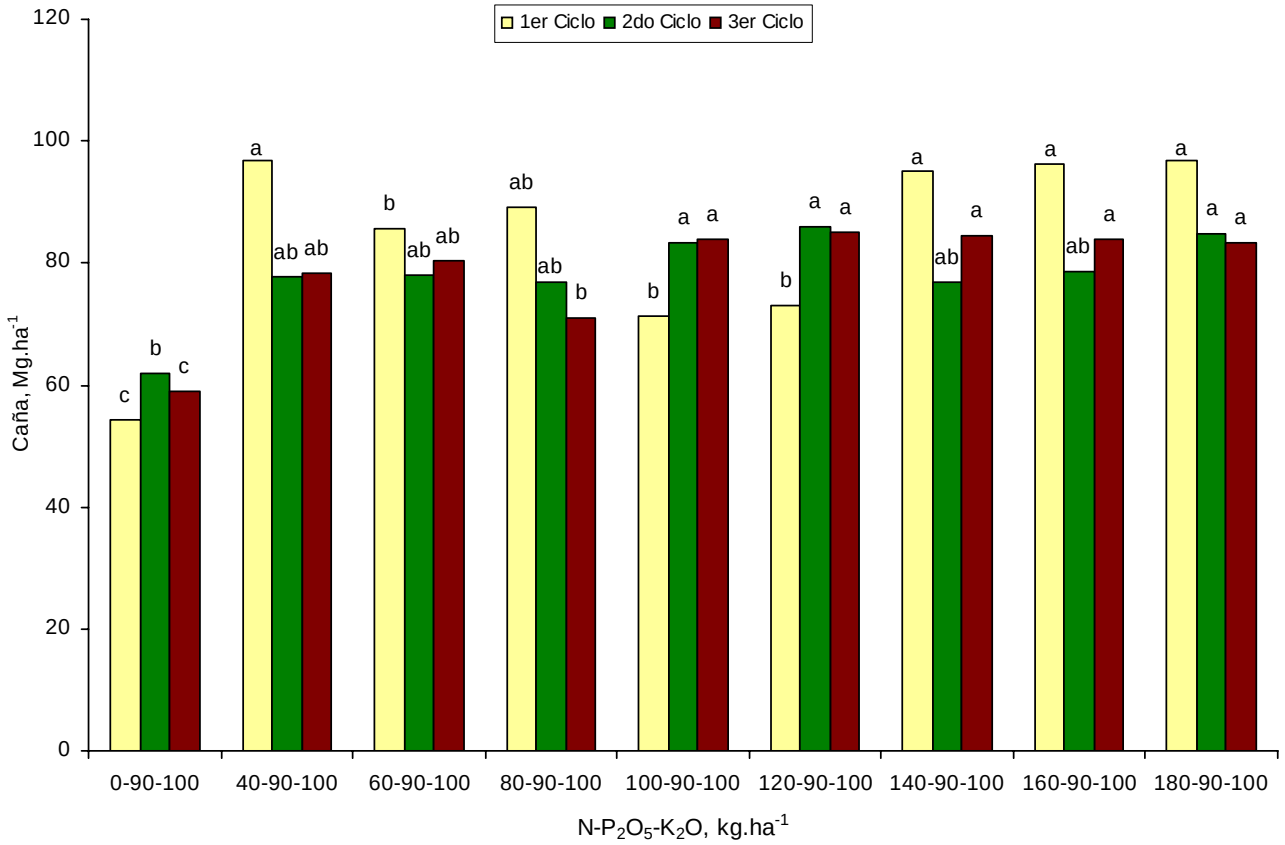
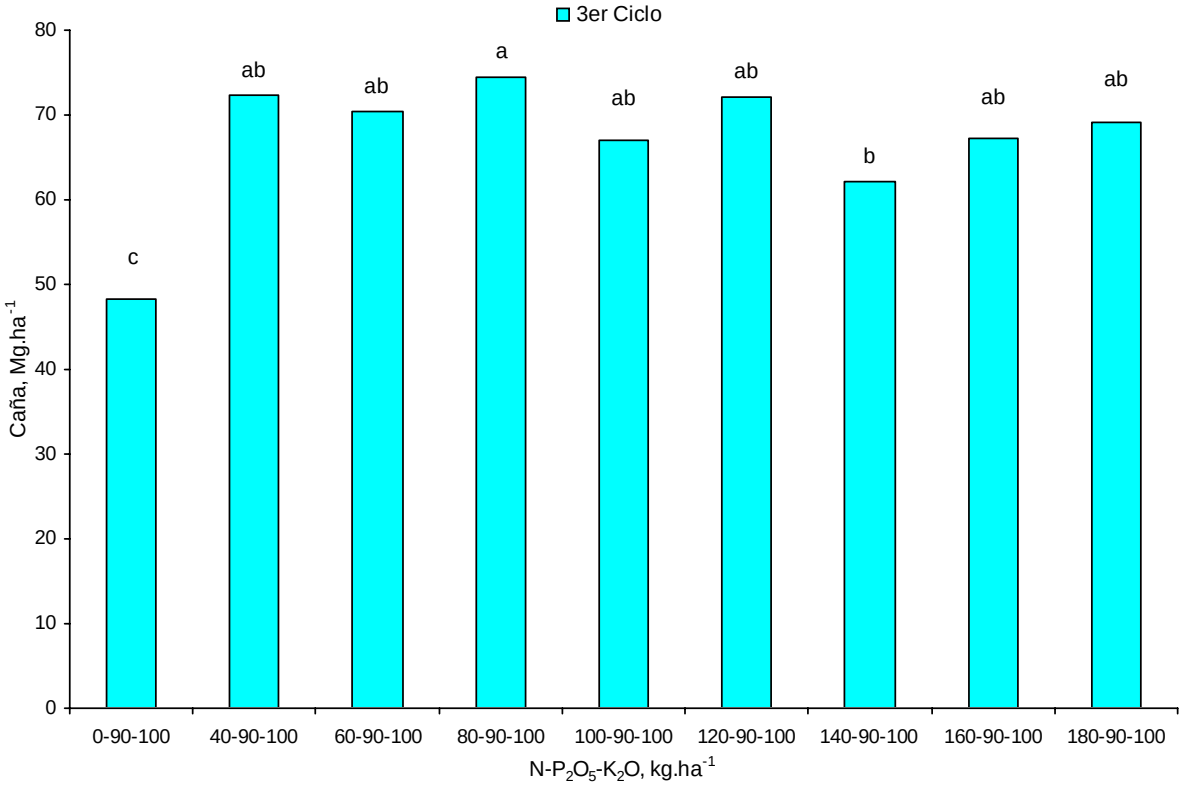


Figura 6. Comportamiento de los rendimientos del quinto retoño según las dosis para los ciclos estudiados



Letras diferentes para un mismo color indican diferencia significativa al 5 % de probabilidad de error

Figura 7. Comportamiento de los rendimientos del sexto retoño del tercer ciclo de cosechas según las dosis de N aplicadas

En Australia se demostró que los retoños requieren mayor cantidad de N para producir como la caña planta, debido a la disminución de las reservas de N en el suelo a lo largo del ciclo (14). También se ha planteado que en la caña de azúcar debe incrementarse la fertilización nitrogenada con el número de cortes (15), ya que el vigor de las plantaciones disminuye, debido a que surgen otros problemas como el nivel nutricional, la compactación del suelo y presencia de plagas y enfermedades.

Los resultados expuestos indican que los requerimientos de N por los distintos ciclos son diferentes, lo que coincide con citas anteriores; no obstante, en los resultados no son tan extremas las diferencias ni mantienen un orden estable según el ciclo, por lo que se considera que otros factores inciden en la respuesta del cultivo a este elemento.

Uno de esos factores pudiera ser la lluvia. En las condiciones de las investigaciones realizadas, la respuesta a la aplicación de este nutriente estuvo relacionada con la lluvia en la generalidad de los casos hasta el segundo retoño.

El primer retoño, en el primer y tercer ciclos, respondió a la aplicación de este elemento; sin embargo, en el segundo y cuarto ciclos no hubo respuesta y resultaron superiores las precipitaciones. El segundo retoño no respondió a la aplicación de este nutriente en el cuarto ciclo, correspondiendo también este comportamiento con las precipitaciones más elevadas (Tabla II).

Tomando en consideración los intervalos de las dosis necesarias para cada retoño, se pueden estimar como promedio para el primero 50 $kg.ha^{-1}$, el segundo 70, el tercero 90 y ya a partir de este ciclo, estas comienzan a disminuir, correspondiéndole 60 $kg.ha^{-1}$ al cuarto retoño y 40 $kg.ha^{-1}$ para los restantes. Este comportamiento refleja relación con los rendimientos alcanzados en los diferentes retoños, los que comienzan a ser menores a partir del cuarto con respecto a los precedentes. En general, destaca el hecho de la poca necesidad del nutriente para que la caña de azúcar alcance su máximo rendimiento.

Al valorar la disminución en el tiempo del contenido de C orgánico que ocurre en el agroecosistema estudiado (6), se pudiera pensar que al suspender la quema para la cosecha, dicho contenido al menos se mantuviera como al inicio de la investigación, contribuyendo a la sostenibilidad de los rendimientos de los retoños y, de esa forma, incrementar los aportes de residuos agrícolas al suelo, potenciando así la capacidad del medio de suministrar mayor cantidad de N al cultivo y poder minimizar las aplicaciones de fertilizantes minerales, todo lo cual incide de manera beneficiosa sobre el ambiente.

Tabla II. Precipitación total caída por cepa en los diferentes ciclos de plantación del estudio de la fertilización nitrogenada en un suelo Ferralítico Rojo típico

	Planta	Retoño 1	Retoño 2	Retoño 3 (mm)	Retoño 4	Retoño 5	Retoño 6
Ciclo 1	1361.0	1209.9	1339.6	1986.5	1571.5	1577.2	-
Ciclo 2	1602.7	1649.0	1485.5	1671.0	1416.5	1257.0	-
Ciclo 3	2179.0	1453.5	1166.2	1836.0	1403.4	1251.5	1119.7
Ciclo 4	1431.7	1824.8	1665.0	1570.0	1190.0	-	-

La necesidad de aplicar N para incrementar el rendimiento agrícola del cultivo se hace mayor a menor régimen de lluvia (menor humedad del suelo), lo que parece estar asociado a un menor aprovechamiento del N por el cultivo (3).

Se considera que la oportunidad para la aplicación se manifiesta con un mayor incremento, cuando la planta tiene disponibilidad de agua por el riego o la incidencia de la lluvia, lo que incrementa la eficiencia de uso del fertilizante por los cultivos y puede representar hasta una reducción del 25 % para los fertilizantes nitrogenados (16).

Ya a partir del tercer retoño no resultó definida la relación entre las precipitaciones y las necesidades de N para alcanzar el máximo rendimiento. El hecho de que el comportamiento anterior no se manifieste de manera total y absoluta, reitera el hecho de que hay que considerar otros factores que inciden de forma interactiva sobre la efectividad de la fertilización nitrogenada de la caña de azúcar.

CONCLUSIONES

- La caña planta no responde a la fertilización nitrogenada; en el primer retoño la respuesta no es sistemática, en el segundo comienza a estabilizarse la respuesta y del tercero en adelante siempre hay respuesta.
- Las dosis de N que se requieren para alcanzar el máximo rendimiento de caña de azúcar son diferentes para cada ciclo, aunque disminuyen desde el cuarto retoño en adelante con respecto a los ciclos precedentes.
- En el primer y segundo retoños las necesidades de N disminuyen a medida que las precipitaciones pluviales se incrementan.
- A partir del tercer retoño no resulta definida la relación entre las precipitaciones y necesidades de N para alcanzar el máximo rendimiento.

REFERENCIAS

1 Stewart, W. M.; Dibb, D. W.; Johnston, A. E. y Smyth, T. J. The contribution of commercial fertilizer nutrients to food production. *Agron. J.*, 2005, vol. 97, p. 1-6.

2 En el foco: nuestra contribución a una agricultura sostenible. CORREO. La revista de Bayer Crop Science para la agricultura moderna. 2005, no.2, p.20.

3 Arzola, N. Diagnóstico de la necesidad de fertilizantes nitrogenados en caña de azúcar. Parte 1. Enfoque tradicional. En: VI Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Latinoamérica y el Caribe. ATALAC, Guayaquil, Ecuador. 12-15 Septiembre. 2006. p: 229-234

4 Rodríguez, I. P.; Ochevze, C.; Vitti, A. C. y Faroni, C. E. Nitrógeno y azufre en la productividad de la caña de azúcar. En: VI Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Latinoamérica y el Caribe. ATALAC, Guayaquil, Ecuador. 12-15 Septiembre. 2006. p: 199-205

5 Paneque, V. M.; Calaña, J. M.; Rodríguez, L. y Castellanos, R. Estudio de la fertilización nitrogenada en variedades de la caña de azúcar cultivadas en diferentes tipos de suelos (caña planta). *Cultivos Tropicales*, 2005, vol. 26, no. 4, p. 95-100.

6 Cabrera, A. y Zuaznábar, R. Impacto sobre el ambiente del monocultivo de la caña de azúcar con el uso de la quema para la cosecha y la fertilización nitrogenada. Balance del Carbono. *Cultivos Tropicales*, 2010, vol. 31, no. 1.

7 Rodríguez, E. Generación de recomendaciones de fertilizantes nitrogenados para el cultivo de la caña de azúcar. [Tesis Máster en Ciencias del Suelo]. La Habana: Universidad Agraria de La Habana, Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar, 2002. 78 p.

8 Cuba. INICA. Instructivo técnico para la producción y cultivo de la caña de azúcar. Dirección de Producción de Caña, 2007. 146 p.

9 Bouzo, L. Estrategias agroecológicas para el manejo sostenible de suelos en la Empresa Azucarera 30 de Noviembre. [Tesis Máster en Agroecología y Agricultura Sostenible]. La Habana: Universidad Agraria, Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar, 2008. 85 p.

10 Cuba. INICA. Consideraciones técnicas acerca del cultivo de la caña de azúcar en Cuba. Febrero 2002.

11 Trivelin, P. C. O.; Vitti, A. C.; Oliveira, M. W. y Gava, G. J. C. Utilização de nitrogênio e produtividade da cana de açúcar (caña planta) em solo arenoso com incorporação de resíduos da cultura. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, 2002, vol. 26, p. 637-646.

12 Pérez. H. Fertilización nitrogenada de la caña de azúcar. [Tesis de Doctor en Ciencias Agrícolas]. La Habana: Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar, 1982. 132 p.

13 Iznaga O. Efectividad de los fertilizantes nitrogenados en la caña de azúcar en suelos Ferralíticos Rojos saturados. [Tesis de Doctor en Ciencias Agrícolas]. La Habana: Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar, 1986. 124 p.

14 Chapman, L. S.; Hogarth, D. M. y Leverington, K. C. Does nitrogen fertilizer carry over to succeeding crops? In: Australian Society of Sugar Cane Technologists Congress, 22. , 1983, Brisbane. Proceedings. Brisbane: Watson Fergunson, 1983. p.109-114.

15 Vitti, A. C.; Trivelin, P. C.; Castro, G. J. y Penatti, C. P. Productividad de la caña de azúcar relacionada al nitrógeno residual de la fertilización del suelo y al almacenamiento de N y S en el sistema radicular. En: VI Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Latinoamérica y el Caribe. ATALAC, Guayaquil, Ecuador, 12-15 Septiembre. 2006. p 189-197

16 Bertsch, F. Estudios de absorción de nutrientes como apoyo a las recomendaciones de fertilización. Instituto de la Potasa y el P. *Informaciones Agronómicas*, 2005, vol. 57, p. 1-9.

Recibido: 4 de agosto de 2009
Aceptado: 4 de noviembre de 2009