

# VARIABILIDAD ESPACIAL DE LOS RENDIMIENTOS CAÑEROS Y NECESIDAD DE FERTILIZAR POR SITIO ESPECÍFICO

A. Cabrera<sup>✉</sup>, E. Rodríguez, C. Balmaseda y D. Ponce

**ABSTRACT.** Spatial variability of sugarcane yields and agronomic and economic impacts caused by fertilizing with a single nitrogen rate of 90 kg.ha<sup>-1</sup> were measured in a selected area from a sugarcane production field planted with first ratoon of C13877 variety. The area had 52 80-m-long furrows separated 1.60 m, which was divided in plots of four 5-m-long furrows, then 208 plots were obtained. Manual and green harvest was carried out according to technical patterns. Stalks were weighed with a 500-kg-capacity dynamometer. Results suited SIG Ilwis database. Sugarcane yields ranged from 40 to more than 110 t.ha<sup>-1</sup>, and values prevailed between 60 and 80 t.ha<sup>-1</sup>. There was a notable southwest-northeast area where the lowest yields were between 40 and 60 t.ha<sup>-1</sup>. According to site-specific fertilization five different rates were required, ranging between 70 and 110 kg.ha<sup>-1</sup>. With the single nitrogen rate only 51 % of the area was appropriately fertilized; it also affected N consumption index and the cost of fertilization was 8.40 pesos.ha<sup>-1</sup> higher than if this would have been carried out as site-specific management.

*Key words:* fertilization, sugarcane, yield, spatial variability, site-specific fertilizer, precision agriculture

**RESUMEN.** En un área seleccionada de un campo cañero plantado con un primer retoño de la variedad C13877, se evaluaron la variabilidad espacial de los rendimientos agrícolas y los impactos agronómico y económico que origina la fertilización nitrogenada con una dosis de 90 kg.ha<sup>-1</sup> para todo el campo. El área conformada por 52 surcos de 80 m de longitud y separados 1.60 m, se dividió en parcelas de cuatro surcos con 5 m de longitud, obteniéndose 208 parcelas. La cosecha se realizó en forma manual y verde, según las normas técnicas. La caña contenida en cada parcela se pesó con un dinamómetro de 500 kg de capacidad. Los resultados formaron parte de una base de datos creada en el SIG Ilwis. Los rendimientos cañeros oscilaron entre 40 y más de 110 t.ha<sup>-1</sup>, predominando los valores comprendidos entre 60 y 80 t.ha<sup>-1</sup>. Se destacó una zona en dirección sudoeste-noreste en que los rendimientos fueron los más bajos y comprendidos entre 40 y 60 t.ha<sup>-1</sup>. Siguiendo la fertilización por sitio específico se requieren cinco dosis diferentes, oscilando entre 70 y 110 kg.ha<sup>-1</sup> de N. Con la dosis única se fertilizó adecuadamente sólo 51 % del área; de igual forma se afectó el índice de consumo de N y el costo de la fertilización fue superior en 8.40 pesos.ha<sup>-1</sup> que si esta labor se hubiera llevado a cabo por sitio específico.

*Palabras clave:* fertilización, caña de azúcar, rendimiento, variabilidad espacial, sitio específico, agricultura de precisión

## INTRODUCCIÓN

Generalmente, las recomendaciones de fertilizantes se generan a partir de los resultados obtenidos en pequeñas parcelas experimentales, donde se trata que el área evaluada sea homogénea. El área de esas parcelas constituye una fracción de un campo de producción en el que al aplicar las recomendaciones, con frecuencia los resultados no se corresponden con lo esperado, aún tratándose de P y K, nutrientes a los que la respuesta de la caña de azúcar parece ser más predecible (1, 2, 3).

Dr.C. 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; E. Rodríguez, C. Balmaseda y D. Ponce, Investigadores Agregados del Departamento de Suelos y Agroquímica, Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA), Ave. Van Troi No. 17203, Boyeros, Ciudad de La Habana, Cuba, CP 19210.

<sup>✉</sup>nani@inca.edu.cu

La situación se torna más compleja cuando el nutriente considerado es el N, para el que aún no existe una técnica analítica capaz de diagnosticar el suministro del suelo para la caña de azúcar, utilizándose entonces como factores diagnósticos de los requerimientos de N, el ciclo a fertilizar, el rendimiento esperado, la región bioclimática, el tipo de suelo, el contenido de materia orgánica del suelo y otras características edafoclimáticas (2, 4, 5).

Por otro lado, dentro de un campo existe variabilidad de los rendimientos (6, 7), resultando en ocasiones perceptible a simple vista, fundamentalmente por la diferencia en la altura y el vigor de las plantas.

La variabilidad espacial tanto de la fertilidad del suelo y suministro de nutrientes, como de los rendimientos, orienta hacia la implementación de la agricultura de precisión (8, 9), con énfasis en el manejo de nutrientes por sitio específico (10).

Bajo estas premisas se realizó este trabajo, con el fin de evaluar la variabilidad espacial de los rendimientos cañeros en un área seleccionada dentro de un campo, así como los efectos agronómico y económico que origina la fertilización nitrogenada con una dosis única para todo el campo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En el campo número 7, de acuerdo con un trabajo realizado previamente en la Finca Favorito (11), ubicada en el Complejo Agroindustrial «Eduardo García Lavandero», municipio Artemisa, se seleccionó un área conformada por 52 surcos de 80 m de longitud y distanciados 1.60 m.

El área total se dividió en parcelas de cuatro surcos con 5 m de longitud (32 m<sup>2</sup>), obteniéndose 208 parcelas. El suelo se clasificó como Ferralítico Rojo típico eútrico según la Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba (12).

La variedad de caña de azúcar fue la C13877 y el ciclo primer retoño. Las labores culturales realizadas a la plantación consistieron en un cultivo de descompactación a 32 cm de profundidad en aquellos surcos donde no existió cobertura de paja, un cultivo de desyerbe, cuatro labores manuales de control de malezas y fertilización nitrogenada mecanizada durante los primeros días de junio de 1999, enterrando el fertilizante al lado de la cepa en los surcos sin cobertura de paja y aplicado superficialmente donde esta existió.

La cosecha se realizó en forma manual y verde según las normas técnicas, con una pareja de macheteros cada cuatro surcos, durante los días 21 y 22 de marzo del 2000. La edad de la plantación al momento de cosechar fue 12 meses.

Toda la caña contenida en cada parcela se pesó con un dinamómetro de 500 kg de capacidad, acoplado a una alzadora mediante un soporte metálico para impedir su desplazamiento.

Con los resultados obtenidos, se conformó una base de datos en el SIG Ilwis, a partir del cual se generaron los mapas de clases de rendimiento, dosis de N requeridas e índices de consumo de N. El índice de consumo se definió como:

IC= N aplicado/rendimiento, donde:

- ⇒ IC= Índice de consumo (kg N.t tallos<sup>-1</sup>)
- ⇒ N aplicado = Dosis de N (kg.ha<sup>-1</sup>)
- ⇒ Rendimiento = Rendimiento agrícola (t.ha<sup>-1</sup>).

El análisis económico realizado consistió en determinar el gasto en que se incurre cuando se fertiliza el campo con una dosis única de N y con las dosis que corresponden si esta labor se realizara por sitio específico. Para ello se utilizaron los costos por concepto de compra, transporte y aplicación del N proveniente de la urea (13).

- ⇒ Costo de 1 kg de N = 0.646 pesos (MN)
- ⇒ Costo de aplicación y transporte de 1 kg de N = 0.175 pesos (MN).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los rendimientos cañeros que se alcanzaron en las parcelas oscilaron entre 40 y más de 110 t.ha<sup>-1</sup> (Figura 1).

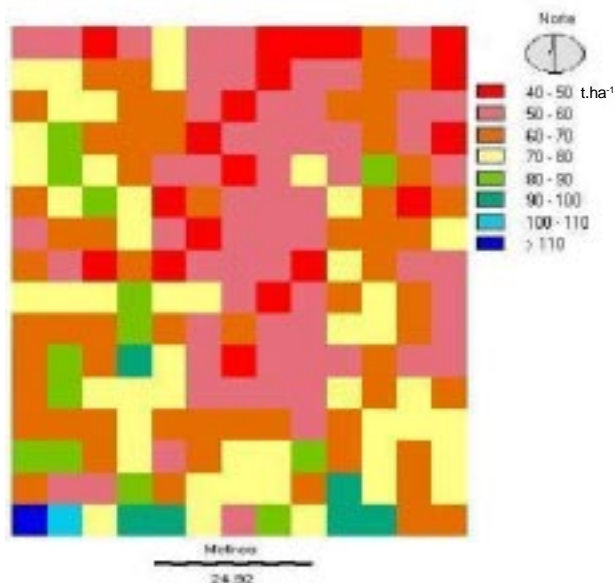


Figura 1. Representación de la variabilidad espacial de los rendimientos cañeros

Se encontraron con más frecuencia valores comprendidos entre 60 y 80 t.ha<sup>-1</sup>. Resaltó una zona en dirección sudoeste-noreste, aproximadamente a 45°, en la que los rendimientos fueron los más bajos y comprendidos entre 40 y 60 t.ha<sup>-1</sup>.

Considerando que no se detectaron incidencias de plagas y enfermedades al momento de la cosecha, y de acuerdo con el historial del campo según los criterios del productor, no hubo manifestación alguna durante el desarrollo del cultivo; el manejo agrícola fue uniforme en toda el área y la dimensión del área estudiada impidió una variación climática importante, entonces se puede atribuir a la interacción de factores asociados al suelo, la mayor influencia sobre los rendimientos, sugiriéndose la existencia de variabilidad espacial de la fertilidad.

La meta de rendimiento o rendimiento esperado para el que se realizó la recomendación de fertilizante nitrogenado, contrastó con los resultados obtenidos. Esta fue 85 t.ha<sup>-1</sup>, a la que le correspondió una dosis equivalente a 90 kg.ha<sup>-1</sup> de N según se ha informado (2). No es ésta la dosis que tendría que aplicarse con más frecuencia si se fertilizara por sitio específico (Figura 2).

La fertilización por sitio específico, un componente de la agricultura de precisión, exigió para el área estudiada cinco dosis de N diferentes, que oscilaron entre 70 y 110 kg.ha<sup>-1</sup>, siendo la más frecuente la de 70 kg.ha<sup>-1</sup>.

Aunque la dosis única para toda el área resultó igual al promedio de las requeridas según la agricultura de precisión, su aplicación significó exceso de N en algunas parcelas y defecto en otras (Tabla I), manifestación similar a la informada por otros autores (14).

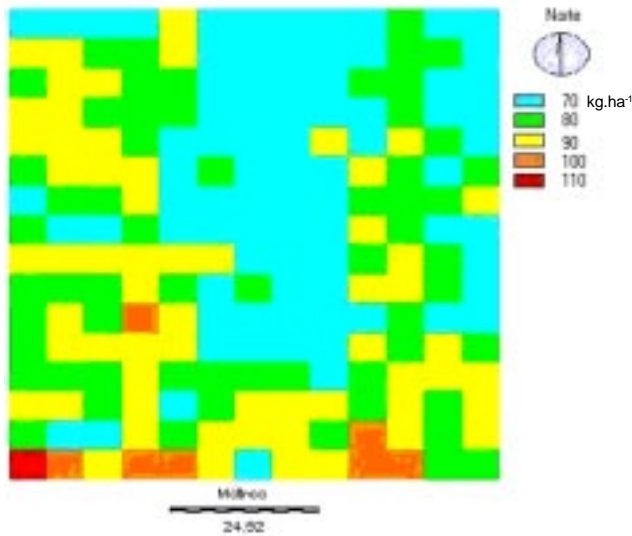


Figura 2. Dosis de N requeridas para la fertilización por sitio específico

Tabla I. Calidad de la fertilización con una dosis única de N para el campo

| Calidad  | Parcelas (cantidad) | Área (m <sup>2</sup> ) | Respecto al total (%) |
|----------|---------------------|------------------------|-----------------------|
| Adecuada | 107                 | 3424                   | 51.44                 |
| Exceso   | 80                  | 2560                   | 38.46                 |
| Defecto  | 21                  | 672                    | 10.10                 |
| Total    | 208                 | 6656                   | 100.00                |

El área fertilizada adecuadamente alcanzó sólo 51 %, resultado similar al que se ha obtenido en otras latitudes trabajando con maíz (15). En más de 38 % del área que se fertilizó por exceso, se contribuyó a la contaminación ambiental tanto por la emisión de N hacia la atmósfera como por la lixiviación de los nitratos y su posible entrada al manto freático.

La fertilización con una dosis única proporcionó además índices de consumo de N que, en total correspondencia con la calidad de la fertilización, resultaron excesivos, deficientes y adecuados (Figura 3), considerando que un índice adecuado oscila entre 1.0 y 1.5 kg N.t tallos<sup>-1</sup>.

Mediante la agricultura de precisión, la variación entre los índices de consumo se atenuaría considerablemente y se incrementaría el área donde el valor de dicho índice estuviera comprendido dentro del rango adecuado o muy cercano a este (Figura 4).

No sólo resulta importante el impacto agronómico de la fertilización con una dosis única para un campo, la repercusión económica que esta práctica ocasiona, es algo que también se debe tener en cuenta.

La cantidad total de N que se aplicó con la dosis única en el área estudiada, superó a la que se hubiera aplicado por sitio específico (Tabla II). Esto condujo a un mayor costo de esta labor.

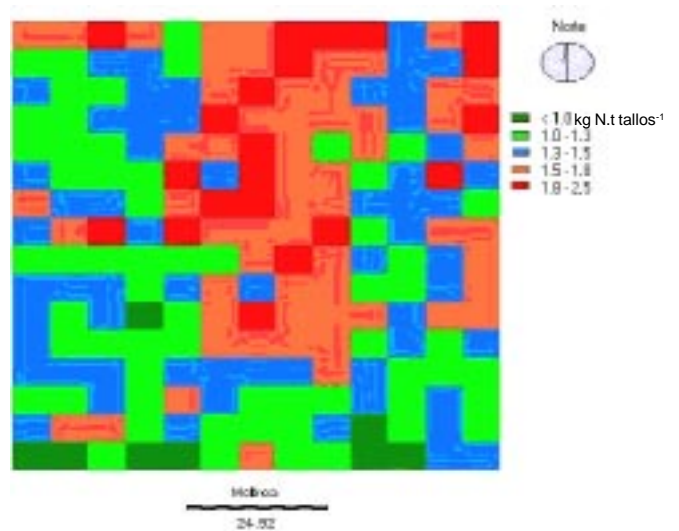


Figura 3. Índices de consumo de N según la dosis de 90 kg.ha<sup>-1</sup> aplicada

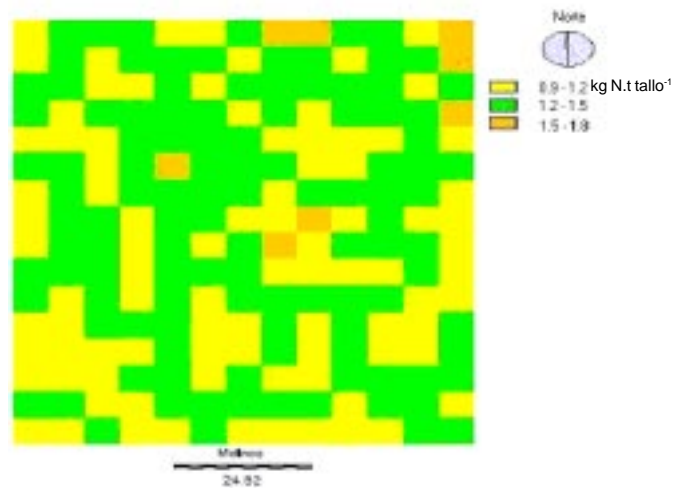


Figura 4. Índices de consumo de N según la fertilización por sitio específico

Tabla II. Costo de la fertilización con dosis única y por sitio específico

| Indicador                                | Rendimiento (t.ha <sup>-1</sup> ) |       |       |        |         |      | Total |
|------------------------------------------|-----------------------------------|-------|-------|--------|---------|------|-------|
|                                          | 40-60                             | 60-70 | 70-90 | 90-100 | 100-110 | >110 |       |
| Área (m <sup>2</sup> )                   | 2560                              | 1920  | 2016  | 96     | 32      | 32   | 6656  |
| Dosis N requerida (kg.ha <sup>-1</sup> ) | 70                                | 80    | 90    | 100    | 100     | 110  | -     |
| N requerido (kg)                         | 17.92                             | 15.36 | 18.14 | 0.96   | 0.32    | 0.35 | 53.04 |
| N aplicado (kg)                          | 23.03                             | 17.28 | 18.14 | 0.86   | 0.28    | 0.28 | 59.87 |
| Costo N requerido (pesos)                | 14.71                             | 12.61 | 14.89 | 0.79   | 0.26    | 0.28 | 43.54 |
| Costo N aplicado (pesos)                 | 18.90                             | 14.18 | 14.89 | 0.70   | 0.23    | 0.23 | 49.13 |

Los costos ascendieron a 65.41 pesos.ha<sup>-1</sup> para la agricultura de precisión y 73.81 pesos.ha<sup>-1</sup> para la fertilización con la dosis de 90 kg.ha<sup>-1</sup> de N, lo que ocasionó una inversión en exceso de 8.40 pesos.ha<sup>-1</sup>.

## CONCLUSIONES

- Los rendimientos cañeros dentro de un campo presentan variabilidad espacial.
- La aplicación de una dosis única de N en el campo permite fertilizar adecuadamente sólo 51 % del área, el resto se fertiliza en exceso y en defecto.
- Resulta más costosa la fertilización en el campo con una dosis única de N que si se fertilizara por sitio específico.
- Son negativos los impactos agronómico y económico que produce la fertilización con una dosis única de N dentro de un campo.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen profundamente a Pedro Ricondo, productor y propietario de la finca donde se realizó el estudio, al ingeniero Humberto Díaz, Sub-Director Agrícola y al técnico Jorge Surí, Jefe de Suelo y Agroquímica, del Complejo Agroindustrial "Eduardo García Lavandero", por el apoyo ofrecido.

## REFERENCIAS

1. Cabrera, A.; Villegas, R. y López, M. Requerimiento externo de fósforo de la caña de azúcar. En: Actas del Cong. Latin. Cienc. del Suelo (12:1993:Salamanca), Sección IV Fertilidad del Suelo, 1993, tomo II, p. 575-582.
2. Cabrera, A. y Bouzo, L. Fundamentos técnico-económicos para la fertilización de la caña de azúcar. Curso SERFE, MINAZ, INICA, 54 p., 1999.
3. López, M. Diagnóstico de la fertilidad fosfórica de los suelos Pardos y Vertisuelos dedicados al cultivo de la caña de azúcar. [Tesis de grado], INICA, 1987, 101 p.
4. Hernández, J. Evaluación, manejo y corrección de la fertilidad de los suelos Ferralíticos Cuarácicos dedicados al cultivo de la caña de azúcar. [Tesis de grado], INICA, 1996, 102 p.
5. Meyer, J. H. Notes on criteria for making N recommendations. ISSCT Sugar Cane Nutrition Workshop (1991:República Dominicana), 1991, p. 11.
6. Bramley, R. G. V.; Cook, S. E.; Cox, D. R. V.; Macmahon, G. G. y Roth, C. H. Agricultura de Precisión: ¿Qué es y qué ofrece a la Industria Azucarera de Australia?. (Traducido en el Dpto. de Suelo y Agroquímica, INICA). *Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol.*, 1998, vol. 20, p. 188-195.
7. Cox, G. y Harris, H. Aplicación de la agricultura de precisión en caña de azúcar. (Traducido en el Dpto. de Suelo y Agroquímica, INICA). *Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol.*, 1998, vol. 20, p. 181-187.
8. World Fertilizer Industry. A Glimpse Into the Future. *Fertilizer International*, 1994, vol. 334, p. 25-28.
9. Pierce, F. J. y Nowak, P. Aspects of precision agriculture. *Adv. in Agron.*, 1999, vol. 67, p. 1-85.
10. Reetz, H. F. Jr. Site-specific nutrient management systems for the 1990s. *Better Crops with Plant Food*, 1994, vol. 78, no. 4, p. 14-19.
11. Villegas, R.; Marín, R. y Rodríguez, E. Evaluación de los factores limitantes de las áreas cañeras de las fincas Tentativa y Favorito del CAI "Eduardo García Lavandero". Informe MINAZ, INICA, 1998, 12 p.
12. Cuba. Ministerio de la Agricultura. Instituto de Suelos. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. La Habana : AGRINFOR, 1999, 64 p.
13. Menéndez, A.; Cabrera, A. y Campos, J. Areas de monitoreo por lotes controles para evaluar la efectividad de los fertilizantes en el cultivo de la caña de azúcar. p. 26-34. En: SERFE, Manual de Procedimientos, La Habana : MINAZ, INICA, 1999, p. 54 p.
14. Tweeten, L. Is precisión farming good for society?. *Better Crops with Plant Food*, 1996, vol. 80, no. 3, p. 3-5.
15. Malzer, G. Corn yield response variability and potential profitability of site-specific nitrogen management. *Better Crops with Plant Food*, 1996, vol. 80, no. 3, p. 6-8.

Recibido: 23 de abril del 2001

Aceptado: 3 de diciembre del 2001