

Salgado García, Sergio; Núñez Escobar, Roberto; Bucio Alanis, Lauro

**DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA ECONÓMICA DE FERTILIZACIÓN EN
CAÑA DE AZÚCAR**

TERRA LATINOAMERICANA, vol. 21, núm. 2, abril-junio, 2003, pp. 267-272

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.

Chapingo, México

Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=57315595012>

TERRA
Latinoamericana

TERRA LATINOAMERICANA

ISSN (Versión impresa): 0187-5779

terra@correo.chapingo.mx

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.

México

¿Cómo citar?

Número completo

Más información del artículo

Página de la revista

DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA ECONÓMICA DE FERTILIZACIÓN EN CAÑA DE AZÚCAR

Determination of the Optimal Economic Fertilization Rate in Sugar Cane

Sergio Salgado García¹, Roberto Núñez Escobar² y Lauro Bucio Alanis³

RESUMEN

El experimento se estableció en un Vertisol éutrico; para generar los tratamientos, se utilizó la Matriz Plan Puebla I (N_{Urea} : 80, 120, 160 y 200; P_{SPT} : 0, 40, 80 y 120; y K_{KCl} : 0, 40, 80 y 120 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente), además de un testigo sin fertilizante. Los 15 tratamientos se distribuyeron en el campo en un arreglo de bloques completos al azar con seis repeticiones. La caña (*Saccharum officinarum* L.) se cosechó a 18 y 12 meses de edad para los ciclos de plantilla y soca, respectivamente. Con las dosis de fertilización 170-90-100, 170-85-85 y 190-100-100, seleccionadas de los modelos de regresión generados, se obtuvieron los mayores rendimientos calculados de caña en los tres ciclos de cultivo (164, 137 y 110 Mg ha⁻¹), ya que dosis mayores de N, P y K abatieron los rendimientos de caña, lo cual sugiere que la dosis usada en la actualidad por el ingenio (120-60-60) es insuficiente para satisfacer los requerimientos del cultivo de caña. El rendimiento se abatió conforme a los ciclos de cultivo. Las dosis de fertilización no modificaron los grados Brix, la pureza, el porcentaje de sacarosa y el contenido de humedad, lo que indica que las dosis óptimas económicas permiten incrementar los rendimientos de caña sin disminuir la calidad del jugo. A los cinco años de cultivarse caña de azúcar, el Vertisol no mostró cambios significativos en sus propiedades químicas, únicamente se observó que la relación Ca/Mg está desbalanceada, siendo recomendable aplicar yeso (CaSO₄), para evitar posibles antagonismos en la absorción de K y Mg.

Palabras clave: *Saccharum officinarum*, rendimiento, calidad de jugos, nitrógeno, fósforo, potasio.

SUMMARY

The experiment was established in a eutric Vertisol; the treatments were generated with the Plan Puebla I Matrix (N_{Urea} : 80, 120, 160, and 200; P_{TSP} : 0, 40, 80, and 120; and K_{KCl} : 0, 40, 80, and 120 kg ha⁻¹ of N, P₂O₅, and K₂O, respectively), and one treatment without fertilizer. The 15 treatments were randomly distributed in the field in an arrangement of complete blocks with six replications. The cane (*Saccharum officinarum* L.) was harvested 18 and 12 months after planting for the plant and ratoon cycles, respectively. The highest calculated cane yields (164, 134, and 110 Mg ha⁻¹) were obtained with the fertilization rates 170-90-100, 170-85-85, and 190-100-100, selected from the regression models generated in the three cultivation cycles, since higher N, P, and K rates reduced cane yields, suggesting that the fertilizer rate presently used in the area (120-60-60) is insufficient to satisfy the sugar cane crop nutrient requirements. Cane yields diminished according to the cultivation cycles. The fertilization rates did not modify the Brix degrees, purity, sucrose and humidity percentages, indicating that the optimal economic fertilization rates allow cane yield increases without diminishing the juice quality. After five years of sugar cane cultivation, the Vertisol did not show significant changes in its chemical properties; only an unbalance in the Ca/Mg relationship was observed; therefore, it is recommended that gypsum be applied, to avoid possible antagonisms in the absorption of K and Mg.

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. 86500 H. Cárdenas, Tabasco. (salgados@colpos.colpos.mx)

² Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados. 56230 Montecillo, México. (ronues@colpos.colpos.mx)

³ Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba. Córdoba, Veracruz. (labucio@colpos.colpos.mx)

Recibido: Febrero de 2001. Aceptado: Septiembre de 2002.
Publicado en Terra 21: 267-272.

Index words: *Saccharum officinarum*, crop yield, juice quality, nitrogen, phosphorus, potassium.

INTRODUCCIÓN

El rendimiento promedio de caña de azúcar en la zona de influencia del ingenio Pdte. Benito Juárez

(IPBJ) que abarca aproximadamente 14 mil ha, es de 66 Mg ha⁻¹ con 6.61 Mg ha⁻¹ de azúcar, valores que se consideran bajos comparados con 81 Mg ha⁻¹ de caña y 6.91 Mg ha⁻¹ de azúcar, obtenidos por el ingenio Dos Patrias (CNIAA, 1999). Parte de este problema se debe a su plan de manejo nutricional, ya que se fertiliza con la dosis 120-60-60 desde hace más de 25 años, sin considerar la variedad ni el tipo de suelo. La concentración de nutrimentos en el suelo es dinámica. En cada cosecha de caña de azúcar se pierden nutrimentos del sistema, los que deberían reponerse para mantener la fertilidad del suelo. Dichas pérdidas ocurren por la exportación de tallos al molino y por la quema de residuos en el campo. Estudios realizados en México indican que 1 Mg de tallos extrae del suelo, en promedio, 1 a 1.3 kg de N, 0.16 a 0.43 kg de P y 1.33 a 1.97 kg de K (IMPA, 1986), pero la concentración de estos nutrimentos minerales en la planta es afectada por las condiciones del cultivo, el tipo de suelo, el clima, la variedad y la fertilización, lo cual puede afectar ligeramente dichas cifras.

Si bien los fertilizantes químicos son una de las mejores opciones para incrementar y mantener los rendimientos de caña y de sacarosa en el corto plazo (Wilcox, 1991; Salgado *et al.*, 2000), un desbalance nutrimental, posiblemente un exceso de N y una abundante disponibilidad de agua hacen que la caña no madure, ya que la planta utiliza este N para producir nuevo crecimiento (Lingle y Smith, 1991; Robertson *et al.*, 1996). Debido a que las socas se cosechan a 12 meses, la fertilización debería realizarse tres meses después del rebrote (máximo ahijamiento), para que la planta disponga de seis o siete meses para absorber este fertilizante (Salgado *et al.*, 2001b). El N absorbido no debe disminuir la calidad de los jugos, pues un exceso de N disponible en la época de cosecha es la principal causa del bajo contenido de sacarosa y alto contenido de azúcares reductores, glucosa y fructosa (González *et al.*, 1974). Los azúcares reductores pueden subestimar (fructosa) o sobrestimar (glucosa) la rotación positiva y causar errores en la estimación de la sacarosa (De Stefano, 1985); también pueden reaccionar con los aminoácidos durante la molienda y formar compuestos indeseables, que reducen la cantidad de azúcar recuperada por este proceso (Chen, 1991). Por lo anterior, se planteó el presente trabajo con los objetivos de determinar la dosis óptima económica de fertilización, así como evaluar el efecto de la

fertilización en la calidad del jugo de caña y en la fertilidad del suelo en La Chontalpa, Tabasco.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se estableció el 15 junio de 1991 en la zona cañera del Campus Tabasco del Colegio de Postgraduados. Se evaluaron los ciclos de plantilla 1991/93, soca 1993/94 y resoca 1994/95. El suelo fue un Vertisol éutrico representativo de 50% de la superficie cultivada con caña de azúcar en la Chontalpa, Tabasco. El clima del lugar es tropical húmedo con una temperatura promedio anual de 26 °C y una precipitación anual promedio de 2100 mm, lo que favorece el crecimiento del cultivo de la caña de azúcar (Humbert, 1974).

La preparación del suelo se realizó con un subsoleo, un barbecho, dos pasos de rastra cruzada y el surcado a 1.3 m de separación. La variedad de caña utilizada fue la Méx 69-290 (mezclada 30% aproximadamente) sembrada a doble cordón punta con cola.

Para generar los tratamientos de fertilización, se utilizó la Matriz Plan Puebla I para tres factores controlables de la producción (Turrent, 1985). Las fuentes de fertilizantes y los niveles de exploración fueron urea (N): 80, 120, 160 y 200; superfosfato triple (P₂O₅): 0, 40, 80 y 120; y cloruro de potasio (K₂O): 0, 40, 80 y 120 kg ha⁻¹, respectivamente. La combinación de estos factores originó 14 tratamientos más un testigo sin fertilizante. Los 15 tratamientos se distribuyeron en el campo en un arreglo de bloques completos al azar con seis repeticiones. El fertilizante se aplicó en banda sobre la superficie del surco a tres meses de edad de la planta y, posteriormente, se aporcó para cubrir el fertilizante. El tamaño de la parcela experimental fue de seis surcos (1.3 m de ancho por 10 m de largo), y la parcela útil ocupó los cuatro surcos centrales (1.3 m de ancho por 8 m de largo).

A partir del 1° de agosto de 1991, se realizaron las siguientes labores: un paso de cultivadora de ganchos, fertilización, control de malezas y de ratas de campo, de acuerdo con las especificaciones para este cultivo (Salgado *et al.*, 2001a).

La cosecha se realizó de manera manual cuando la caña tenía 18 y 12 meses de edad para el ciclo de plantilla y de socas, respectivamente. Un día antes de la cosecha, se efectuó la quema para facilitar el corte de caña. Las variables de estudio tomadas de la

parcela útil se describen a continuación: a) Rendimiento de campo (Mg ha^{-1}): para lo cual los tallos de la parcela útil se pesaron en una balanza de reloj de capacidad de 100 kg; b) Calidad del jugo de caña: se determinó en el ciclo de resoca mediante la determinación de los grados Brix, la pureza, la sacarosa en caña y el contenido de humedad, en una muestra de cinco cañas colectadas al azar de los tratamientos de fertilización T-8, T-9, T-10, T-13 y T-15 (Cuadro 1). Estos análisis se realizaron en el Laboratorio de Campo del Ingenio Pdte. Benito Juárez, según las técnicas descritas por Golcher *et al.* (1984); c) Fertilidad del suelo: se realizó un muestreo al inicio y al final del experimento en los cinco tratamientos de fertilización arriba mencionados. Se tomó una muestra compuesta de suelo a la profundidad de 0 a 30 cm, para caracterizar su fertilidad (Salgado *et al.*, 1999). Las muestras se analizaron con los métodos rutinarios del Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas (LASPA) del Campus Tabasco (Jones *et al.*, 1991).

Para el análisis estadístico se utilizó la versión 6.11 del paquete SAS (SAS Institute, 1996). Para todas las variables se realizaron un análisis de varianza en bloques completos al azar y la prueba de separación de medias de Tukey. Para determinar la dosis óptima económica de fertilización (DOEF), se utilizó el procedimiento continuo para determinar el máximo ingreso neto, el cual consiste en generar los mejores modelos de regresión a través del procedimiento del máximo incremento de R^2 , tomando como criterio de bondad el menor cuadrado medio del error y determinando los costos variables de los tratamientos (Martínez, 1988). Los costos de los fertilizantes fueron: $N_U = 3.83$, $P_{SPT} = 3.56$ y $K_{KCl} = 2.33$ \$ kg^{-1} , y el precio de 1 Mg de caña de azúcar \$ 234.00.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento de Caña de Azúcar

En el Cuadro 1, se presentan los rendimientos de caña en los diferentes tratamientos de fertilización para los ciclos de plantilla, soca y resoca. De acuerdo con el análisis de varianza, se observa que la caña de azúcar respondió a los tratamientos de fertilización NPK, con un coeficiente de variación (CV) menor que 13% para los tres ciclos de cultivo, el cual se considera aceptable. En el ciclo plantilla, los mayores rendimientos se asociaron con los Tratamientos T-8

Cuadro 1. Rendimiento promedio de caña de azúcar en la Chontalpa, Tabasco.

Tratamiento de fertilización No. N P ₂ O ₅ K ₂ O	Rendimiento		
	Plantilla (18 meses)	Soca (12 meses)	Resoca (12 meses)
kg ha^{-1}	Mg ha^{-1}		
1 120-40-40	102.3 e [†]	108.9 abcd	62.4 de
2 120-40-80	114.0 cde	105.1 bcd	68.2 cde
3 120-80-40	113.2 cde	112.2 abc	76.2 bcd
4 120-80-80	111.2 de	117.1 ab	78.2 bcd
5 160-40-40	111.6 cde	94.7 bcd	72.1 bcd
6 160-40-80	113.5 cde	117.1 ab	81.4 bcd
7 160-80-40	122.5 cd	114.3 abc	91.8 ab
8 160-80-80	158.2 a	134.5 a	107.3 a
9 80-40-40	104.0 ef	88.9 cd	64.1 de
10 200-80-80	143.8 ab	120.2 ab	87.1 abc
11 120-0-40	122.9 cd	106.8 bcd	70.5 cde
12 160-120-80	131.2 bc	106.3 bcd	78.2 bcd
13 120-40-0	104.0 def	97.9 bcd	65.3 de
14 160-80-120	116.5 cde	104.7 bcd	65.0 de
15 0-0-0	89.6 f	84.3 d	50.6 e
C.V. (%):	6.6	12.2	9.0
Media:	117.2	107.6	74.6
Prob. de F. Trats.	0.01 **	0.01 **	0.01 **
DSH:	19.7	26.7	20.5
Anal. Factorial 2 ³			
N	0.01 **	0.30 ns	0.01 **
P	0.01 **	0.01 **	0.01 **
K	0.01 **	0.01 **	0.01 **
NP	0.01 **	0.15 ns	0.06 ns
NK	0.08 ns	0.01 **	0.15 ns
PK	0.20 ns	0.64 ns	0.84 ns
NPK	0.01 **	0.46 ns	0.39 ns

[†] Medias con la misma letra dentro de la misma columna son iguales estadísticamente. Tukey ($P \leq 0.05$).

** = altamente significativo ($P \leq 0.01$); ns = no significativo.

(160-80-80) y T-10 (200-80-80) con 158.2 y 143.8 Mg ha^{-1} , mientras que el menor rendimiento 89.6 Mg ha^{-1} , correspondió al testigo. Salgado *et al.* (2000) y Palma *et al.* (2002) reportaron resultados similares. El tratamiento de fertilización 160-80-80 presenta el mayor rendimiento de caña en los tres ciclos de cultivo superando a la media regional de 66 Mg ha^{-1} obtenida con la dosis de fertilización 120-60-60; asimismo, se observó que los rendimientos obtenidos en los ciclos de soca y resoca fueron menores que el de plantilla; lo anterior se explica porque el ciclo de plantilla es más largo y por la pérdida de cepa ocurrida durante las zafras previas.

En la parte inferior del Cuadro 1, se observa que la caña de azúcar respondió significativamente al efecto principal de N, P y K y a algunas de sus interacciones. Para este caso, el mejor tratamiento de fertilización fue el 160-80-80, que satisface los requerimientos del cultivo de caña, ya que a dosis

mayores de esos nutrimentos, la respuesta de la caña disminuye; por lo que para obtener altos rendimientos en los Vertisoles, es necesario fertilizar con la dosis 160-80-80, lo que permitirá mantener la fertilidad natural del suelo, ya que las dosis medias de N y P y bajas de K en el suelo, no alcanzan a suministrar las demandas de este cultivo (Salgado *et al.*, 2001b; Palma *et al.*, 2002).

Para lograr una mayor precisión en la determinación de la DOEF en cada ciclo de cultivo, se generaron los correspondientes modelos de regresión para estimar los rendimientos de caña y se seleccionaron los mejores por ciclo de cultivo (Martínez, 1988), los cuales fueron:

$$Y_{\text{Plantilla}} = 106.85 - 4.226 \cdot 10^{-4} NP + 4.233 \cdot 10^{-6} N^2 PK - 1.271 \cdot 10^{-8} N^3 PK + 2.118 \cdot 10^{-6} NP^2 K - 1.4 \cdot 10^{-8} NP^3 K + 9.24 \cdot 10^{-7} NPK^2 - 6.242 \cdot 10^{-9} NPK^3; \\ R^2 = 0.79$$

$$Y_{\text{soca}} = 82.0 + 7.022 \cdot 10^{-3} N^2 - 4.82 \cdot 10^{-5} N^3 - 3.47 \cdot 10^{-1} P - 4.892 \cdot 10^{-3} K^2 + 8.329 \cdot 10^{-7} N^2 P^2 - 5.963 \cdot 10^{-9} N^2 P^3 + 8.784 \cdot 10^{-7} N^2 K^2 - 5.509 \cdot 10^{-9} N^2 K^3; \\ R^2 = 0.81$$

$$Y_{\text{Resoca}} = 36.65 + 5.988 \cdot 10^{-3} N^2 - 3.446 \cdot 10^{-5} N^3 - 5.021 \cdot 10^{-1} P + 9.324 \cdot 10^{-3} P^2 - 1.552 \cdot 10^{-4} P^3 - 8.035 \cdot 10^{-5} K^3 + 8.642 \cdot 10^{-5} NP^2 + 6.41 \cdot 10^{-5} NK^2 \\ R^2 = 0.76$$

A continuación se seleccionaron aquellas dosis que matemáticamente proporcionaron los mayores ingresos netos (Cuadro 2). Como puede observarse, estas dosis de fertilización difieren ligeramente de la evaluada en campo (160-80-80), pero son consistentemente superiores a la utilizada en la actualidad.

Calidad del Jugo de Caña

En el Cuadro 3, se presentan los resultados de la calidad del jugo de caña para el ciclo de resoca. Se

observa que los tratamientos de fertilización no modificaron los indicadores de calidad, contrariamente a lo reportado por Lingle y Smith (1991) y Robertson *et al.* (1996) con una media de 18.5 para grados Brix, 91.5% de pureza, 12.4% de sacarosa y 72.2% de humedad; valores que se encuentran dentro de los estándares del ingenio Benito Juárez para designar jugos de buena calidad (Salgado *et al.*, 2001a). Lo anterior indica que las dosis de fertilización mencionadas en el Cuadro 2 permiten incrementar el rendimiento de caña sin disminuir la calidad de los jugos de caña. Cabe señalar que las dosis de nitrógeno que según la literatura han abatido la calidad del jugo de la caña, son superiores a 200 kg ha⁻¹.

Fertilidad del Suelo

Los resultados de las propiedades químicas del suelo se presentan en el Cuadro 4, las cuales son interpretadas con los estándares de Jones *et al.* (1991) y Salgado *et al.* (1999). En general, el suelo, después de recibir tres aplicaciones de fertilizante, no mostró diferencias significativas en sus propiedades químicas. La reacción del suelo (pH) se mantuvo neutra favoreciendo la disponibilidad de los nutrimentos para el cultivo de caña. El contenido de materia orgánica (MO) varía de medio a rico. El contenido de Nt es mediano, con una relación C/N entre 11.6 y 19.9 que indica la posibilidad de una liberación neta de N aprovechable, pero seguramente insuficiente para cubrir las demandas del cultivo (Humbert, 1974; Salgado *et al.*, 2000) esto explicó que el T-15, a pesar de contar con los mismos valores de nutrimentos en el suelo pero sin recibir fertilización, no logró mantener los rendimientos de campo, los cuales disminuyeron conforme a los ciclos de cultivo (Cuadro 1). El contenido de fósforo extractable (P-Olsen), a pesar de que se clasificó como alto, aportó 34.3 kg ha⁻¹ de P₂O₅, lo que no abastece la demanda del cultivo de la caña de azúcar (Palma *et al.*, 2002). Al respecto, Willcox (1991) recomendó aplicar una dosis

Cuadro 2. Ingreso neto para las DOEF[†] en caña de azúcar.

Ciclo de cultivo	Dosis	Costo de dosis	Rendimiento	Ingreso neto
	N P ₂ O ₅ K ₂ O			
	kg ha ⁻¹	\$ ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹	\$ ha ⁻¹
Plantilla	170-90-100	1273.8	163.7	37,032
Soca	170-85-85	1194.2	137.0	30,863
Resoca	190-100-100	1366.7	109.9	24,326

[†]Dosis óptima económica de fertilización.

Cuadro 3. Efecto de la fertilización sobre la calidad del jugo de la caña de azúcar.

Trat. No.	Dosis N P K	Grados Brix	Pureza	Sacarosa	Humedad
----- % -----					
8	160-80-80	20.3 a [†]	93.0 a	13.06 a	73.3 a
9	80-40-40	18.6 a	90.9 a	12.25 a	71.2 a
12	160-120-80	19.5 a	91.7 a	12.90 a	70.0 a
14	160-80-120	17.3 a	91.6 a	11.38 a	74.3 a
15	0-0-0	18.4 a	90.1 a	11.95 a	73.0 a
CV (%):		8.4	1.9	9.9	4.9
Media:		18.5	91.5	12.41	72.2
Prob. F. (Trats.)		0.26 ns	0.40 ns	0.29 ns	0.62 ns
DSH:		4.48	4.88	3.47	9.98

[†] Medias con la misma letra dentro de la misma columna son iguales estadísticamente. Tukey ($P \leq 0.05$).
ns: No significativo.

Cuadro 4. Algunas propiedades químicas iniciales de un Vertisol, y a cinco años de cultivo con caña de azúcar con diferentes tratamientos de fertilización.

Trat. No.	Dosis de N P K	pH	MO	Nt	P Olsen	K	Ca	Mg	Relación	
									C/N	Ca/Mg
		----- % -----			mg kg ⁻¹		----- Cmol (+) kg ⁻¹ suelo -----			
8	160-80-80	6.5 a [†]	3.4 a	0.10 a	17.7 a	0.28 a	28.7 a	13.6 a	19.7	2.1
9	80-40-40	6.7 a	2.4 a	0.10 a	17.4 a	0.31 a	26.6 a	11.4 a	13.9	2.3
12	160-120-80	6.4 a	2.2 a	0.11 a	22.7 a	0.35 a	27.4 a	13.4 a	11.6	2.0
14	160-80-120	6.5 a	2.5 a	0.10 a	20.4 a	0.32 a	28.0 a	12.2 a	14.5	2.2
15	0-0-0	6.6 a	2.6 a	0.11 a	15.2 a	0.28 a	28.4 a	12.3 a	13.7	2.3
CV (%):		2.9	29.6	6.1	15.3	9.5	3.5	17.3		
Media:		6.5	2.6	0.10	18.7	0.31	28.7	12.6		
Prob. F Trats.		0.43 ns	0.42 ns	0.24 ns	0.09 ns	0.09 ns	0.17 ns	0.72 ns		
DSH:		0.54	2.2	0.01	8.0	0.08	2.8	6.1		
Muestreo inicial del suelo		6.6	2.2	0.13	15.0	0.27	18.4	8.87	9.8	2.0

[†] Medias con la misma letra dentro de la misma columna son iguales estadísticamente, Tukey ($P \leq 0.05$). ns = no significativo.

de 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para suelos con 11 mg kg⁻¹ de P. Sin embargo, los datos obtenidos indican que no es posible extrapolar recomendaciones, ya que la precipitación, la temperatura y el manejo del cultivo afectan el suministro de nutrientes; el Vertisol éutrico, para maximizar el rendimiento de caña, requiere de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅. El contenido de potasio intercambiable (Ki) es bajo y aportó únicamente 252 kg ha⁻¹ de K₂O, cantidad que no abastece la demanda del cultivo de 321 kg ha⁻¹, por lo que la planta extrae K no intercambiable de las reservas del suelo (Kapur, 1994). Se observó un incremento en los contenidos de calcio (Ca) y magnesio (Mg) extractables, que se clasificaron como altos, lo cual puede ocasionar antagonismo en la absorción del K por la planta. Estos altos contenidos de Ca y Mg se deben al efecto de la quema de los residuos de la caña que tienden a acumularse en la

capa superficial; Salgado *et al.* (2001a) reportaron el mismo efecto. La relación Ca/Mg de 2.3 difiere de la relación de 6, recomendada para suelos cañeros por González *et al.* (1974). Lo anterior indica que se debe aplicar yeso al suelo para balancear dicha relación. La textura del suelo es arcilla, con una alta capacidad para retener humedad, siendo necesario implementar el drenaje superficial, para favorecer la aireación del suelo y reducir los riesgos de la desnitrificación (Weier *et al.*, 1996).

CONCLUSIONES

La caña de azúcar respondió significativamente a la aplicación de fertilizantes. Mediante la optimización de insumos en los modelos de regresión seleccionados, se determinó que con las dosis de fertilización 170-90-100, 170-85-85 y 190-100-100

kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente, se obtuvieron los mayores rendimientos calculados de caña en los tres ciclos de cultivo (164, 137.5 y 110 Mg ha⁻¹), ya que dosis mayores de N, P y K abatieron los rendimientos de caña, lo cual sugiere que la dosis usada en la actualidad por el ingenio es insuficiente para satisfacer los requerimientos del cultivo de caña. El rendimiento se abatió conforme a los ciclos de cultivo. Las dosis de fertilización no modificaron los grados Brix, la pureza, el porcentaje de sacarosa y el contenido de humedad, lo que indica que las dosis óptimas económicas permiten incrementar los rendimientos sin disminuir la calidad del jugo de caña. A los cinco años de cultivarse caña de azúcar, el Vertisol éutrico no mostró cambios significativos en sus propiedades químicas, únicamente se observó que la relación Ca/Mg está desbalanceada, siendo recomendable aplicar yeso, para evitar posibles antagonismos en la absorción de K y Mg, sin alterar el pH del suelo.

LITERATURA CITADA

- Chen, J.C.P. 1991. Manual de Azúcar de Caña. LIMUSA. México, D.F.
- CNIAA. Cámara Nacional de la Industria Azucarera y Alcoholera. 1999. Desarrollo operativo campo-fábrica 1993/1998. México, D.F. <http://www.sagar.gob.mx>.
- De Stefano, R.P. 1985. False pol in sugar cane juice-causes and detection. *J. Am. Soc. Sugar Cane Techn.* 4: 80-85.
- Golcher A., A., R.F. Hasbach y M.J.J. Infante. 1984. Manual para Analistas de Laboratorio Azucarero. AZUCAR, S.A. de C.V.-GEPLACEA-PNUD. México, D.F.
- González G., A., B. Ortiz V. y C.I. Pascual P. 1974. Sazonado y maduración de la caña de azúcar. CNIA. Serie Divulgación Técnica IMPA Libro 8. México, D.F.
- Humbert, R.P. 1974. El cultivo de la caña de azúcar. Ed. Continental. México, D.F.
- IMPA. Instituto para el Mejoramiento de la Producción del Azúcar 1986. Informe Técnico. Sumario 6. Sept-Dic. México, D.F.
- Jones, B.J., B. Wolf y H.A. Mills. 1991. Plant analysis handbook. Micro-Macro Publishing. Athens, GA.
- Kapur, M.L. 1994. Changes in available phosphorus and potassium after sugarcane and nutrient requirement for its maintenance. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 42-9: 663-665.
- Lingle, S.E. y C.R. Smith. 1991. Sucrose metabolism related to growth and ripening in sugarcane. *Crop Sci.* 34: 1279-1283.
- Martínez G., A. 1988. Diseños experimentales: Métodos y elementos de teoría. Trillas. México, D.F.
- Palma L, D.J., S. Salgado G., A. Trujillo N., J.J. Obrador O., L.C. Lagunes E., J. Zavala C., A. Ruiz B. y M.A. Carrera M. 2002. Sistema integrado para recomendar dosis de fertilización en caña de azúcar (SIRDF). *Terra* 20: 347-358.
- Robertson, M.J., R.C. Muchow, A.W. Wood y J.A. Campbell. 1996. Accumulation of reducing sugars by sugarcane: Effects of crop age, nitrogen supply and cultivar. *Field Crop Res.* 49: 39-50.
- Salgado G., S., D.J. Palma L. y J. Cisneros D. 1999. Procedimientos para la toma de muestras de suelos, planta y agua e interpretación en cultivos tropicales. Campus Tabasco, Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados-Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México.
- Salgado G., S., R. Núñez E. J.J. Peña C., J.D. Etchevers B., D.J. Palma L. y M.R. Soto H. 2000. Respuesta de la soca de caña de azúcar a la fertilización NPK. *Agrociencia* 34: 689-698.
- Salgado G., S. L. Bucio A., D. Riestra D. y L.C. Lagunes E. 2001a. Caña de azúcar: Hacia un manejo sustentable. Campus Tabasco, Colegio de Postgraduados-Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México.
- Salgado G., S., R. Núñez E., J.J. Peña C., J.D. Etchevers B., D.J. Palma L. y R. Marcos Soto. 2001b. Eficiencia de recuperación del nitrógeno fertilizante en soca de caña de azúcar sometida a diferentes manejos de fertilización. *Terra* 19: 155-162.
- SAS Institute. 1996. SAS/STAT User's Guide: Statistics. Release 6.11. Cary, NC.
- Turrent F., A. 1985. El método gráfico-estadístico para la interpretación económica de experimentos conducidos con la Matriz Plan Puebla I. Folleto 5. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Weier, K.C., C.W. Mc Ewan, I. Vallis, V.R. Catchoole y R.J. Myers. 1996. Potential for biological denitrification of fertilizer nitrogen in sugarcane soils. *Aust. J. Agric. Res.* 47: 67-79.
- Willcox, T. 1991. Fertilizer selection strategy may reduce production costs. *Bulletin* 35. Bureau Sugarcane Experimental Station. Australia.