

Consumo de nitrógeno por cultivares de caña de azúcar en Tabasco, México

Consumption of nitrogen by cultivares of sugar in Tabasco, Mexico

Sergio Salgado García ¹, José Izquierdo Hernández ²,
Luz del Carmen Lagunes Espinoza ¹, David Jesús Palma López ¹,
Samuel Córdova Sanchez ³, Hipólito Ortiz Laurel ⁴, Mepivoseth Castelán Estrada ¹

Originales: *Recepción*: 24/08/2015 - *Aceptación*: 16/11/2016

RESUMEN

La eficiencia en la toma de nitrógeno por cultivares de caña de azúcar no está relacionada directamente con los rendimientos de tallos por hectárea. Los objetivos fueron determinar el efecto de la fertilización nitrogenada en la calidad de jugo, rendimiento, consumo de nitrógeno y rentabilidad. El estudio se realizó en el Ingenio Azsuremex, (Tenosique, Tabasco), durante el ciclo de caña planta 2014/2015, bajo condiciones de cultivo sin riego suplementario en un suelo Cambisol háplico. Se evaluó las dosis de N: 0, 120 y 180 kg.ha⁻¹ en 10 cultivares de caña de azúcar. Los resultados muestran que la dosis alta de N afectó negativamente la calidad del jugo. Se observó una respuesta lineal positiva en el rendimiento, a excepción del cultivar MEX 69-290 que presentó el rendimiento más alto con 120 kg.N.ha⁻¹. El consumo de N fue diferente entre cultivares y aumentó conforme se incrementó la dosis de N. El índice de eficiencia interna (EI) de utilización del nitrógeno varió de 1,6 a 2,0 kg de N por tonelada de tallo. En cinco de los cultivares evaluados es rentable fertilizar con las dosis de 120 y/o 160 kg.ha⁻¹ de N.

Palabras clave

índice de eficiencia • rendimiento de tallos • calidad de jugo

-
- 1 Áreas de Ciencia Ambiental y Vegetal. Colegio de Postgraduados, Grupo MASCAÑA. Campus Tabasco. 86500 H. Cárdenas, Tabasco, México.
 - 2 Programa de Maestría en Ciencias en Producción Agroalimentaria en el Trópico (PROPAT), Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco.
 - 3 División de Ciencias Básicas e Ingenierías, Universidad Popular de la Chontalpa, CA-QVDS - Grupo MASCAÑA. Carr. Cárdenas - Huimanguillo, Km. 2.0, Cárdenas, Tabasco, México. CP 86500. sacorsa_1976@hotmail.com
 - 4 Área de Mecanización Agrícola. Colegio de Postgraduados, Grupo MASCAÑA. Campus Córdoba. 94946 Amatlán de los Reyes, Veracruz, México.

ABSTRACT

Efficiency in taking nitrogen sugarcane cultivars is not directly related yields stems per hectare. The objectives were to determine the effect of nitrogen fertilization on juice quality, performance, nitrogen demand and profitability. The study was conducted in the sugar factory Azsuremex (Tenosique, Tabasco) during the 2014/2015 cycle plant cane, under culture conditions without supplemental irrigation on soil Cambisol haplico. N rates were evaluated: 0, 120 and 180 kg ha⁻¹ in 10 sugarcane cultivars. The results show that high doses of N adversely affected the quality of the juice. A positive linear response on performance, except MEX 69-290 cultivar presented the highest performance 120 kg.N.ha⁻¹ was observed. N consumption was different between cultivars and increased as the dose of N. The internal efficiency index (EI) of nitrogen utilization ranged from 1.6 to 2.0 kg N per tons stem increased. In five of the evaluated cultivars is profitable fertilize with doses of 120 and/or 160 kg ha⁻¹ of N.

Keywords

efficiency index • performance stems • juice quality

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el uso racional del nitrógeno como fertilizante para el cultivo de caña de azúcar, ha demandado la atención de los especialistas en fertilidad de suelos y en economía, dada la necesidad creciente de conservar el ambiente y al incremento del precio de los fertilizantes (9, 10, 18).

El campo cañero del Ingenio Azsuremex (IA) está integrado por 17 cultivares (20) y las dosis de NPK que actualmente se aplican se generaron sin considerar el cultivar como un factor más (21), desconociéndose hasta el momento si el requerimiento de nitrógeno (N) es diferente entre cultivares. Al respecto, diversos investigadores han demostrado que existen diferencias entre cultivares en el uso de nitrógeno en caña de azúcar, indicando la necesidad de generar recomendaciones de dosis de fertilizante nitrogenado específicas por cultivar (11, 15, 16, 23, 25).

En el caso específico del campo cañero del IA, uno de los requisitos primordiales

para mejorar las dosis de fertilización nitrogenada es conocer la variación en el requerimiento de este elemento entre diferentes cultivares (13).

Objetivos

Determinar la variación en el consumo de nitrógeno y su eficiencia de uso. Evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre la calidad de jugo y el rendimiento de tallos de diferentes cultivares de caña de azúcar.

Analizar el impacto económico de la fertilización nitrogenada en el área de abastecimiento del IA.

MATERIALES Y MÉTODOS**Ubicación del sitio experimental**

El experimento se llevó a cabo en condiciones de cultivo sin riego suplementario, en el ciclo de caña planta 2014/2015, en el área de abastecimiento del IA ubicado en el municipio de Tenosique, Tabasco.

El sitio de estudio se situó en el Ejido Rancho Grande, a 17°25' LN y 91°24' LO.

El suelo fue un Cambisol háplico (límico-éutrico-calcárico) (18). La precipitación durante la fase experimental osciló entre 38,8 mm y 411,1 mm y la temperatura entre 26,7°C y 34,3°C (figura 1) (4, 5).

Preparación del terreno

Esta labor consistió en el volteo de la cepa anterior, tres pases de rastra cruzada y el surcado a una separación entre hileras de 1,3 m.

La siembra se realizó de forma manual a doble cordón punta y cola el 12 de enero del 2014 con los cultivares: COLPOSCTMEX 06-039, COLPOSCTMEX 06-271, COLPOSCTMEX 06-474,

COLPOSCTMEX 06-2362, COLPOSCTMEX 05-223, ATEMEX 96-40, RD 75-11, MEX 69-290, MEX 68-P23 y CP 72-1210, cinco de estas fueron provenientes del Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco, las cuales están en un avanzado estado de selección y cinco de productores de la zona del IA de plantaciones de 10 meses de edad, las cuales ya están establecidas de manera comercial, cabe mencionar que los materiales provienen de banco de semillas libres de plagas y enfermedades.

Manejo agronómico

El control de maleza consistió en la aplicación del herbicida Diuron, como pre-emergente al cultivo y la maleza.

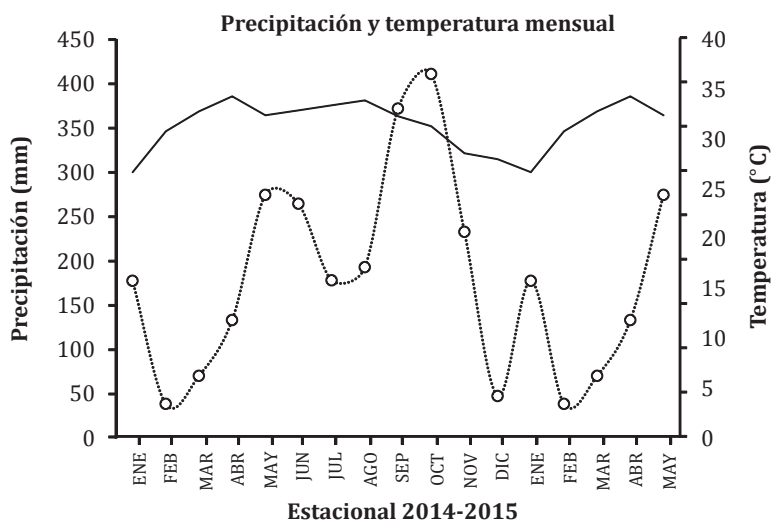


Figura 1. Distribución de lluvias y temperatura durante el ciclo platilla de caña de azúcar en campo en Tenosique, Tabasco.

Figure 1. Distribution of rainfall and temperature during the cycle platilla sugar cane field in Tenosique, Tabasco.

La fertilización se realizó de forma manual y superficial sobre la cepa de caña el 8 de marzo del 2014. Se aplicó las dosis de fertilizante nitrogenado (0, 120 y 180 kg.ha⁻¹) a los dos meses de edad del cultivo, usando Urea (46% N) como fuente de nitrógeno, en una sola aplicación y complementada con 60 kg de P₂O₅ y 100 kg de K₂O por hectárea, con las fuentes Superfosfato triple (SPT) y Cloruro de potasio (KCl). Así mismo, se efectuó un pase de cultivo con una cultivadora de ganchos después de la fertilización. Posteriormente se aplicó un herbicida post-emergente (Hexaxinona + Diuron) al inicio del ciclo de lluvias, sumado a esto se realizó un control de maleza de forma manual y una aplicación de herbicida Picloram + 2,4-D Amina para el control de malezas de hoja ancha, esto de acuerdo con el paquete tecnológico generado por el Grupo MASCAÑA (Manejo Sustentable de la Caña).

Diseño experimental y tratamientos

Se utilizó el diseño de parcelas divididas, donde la parcela principal fueron tres dosis de N y las subparcelas 10 cultivares de caña de azúcar. El diseño generó 30 tratamientos con cuatro repeticiones generando en total 120 parcelas experimentales. Cada parcela experimental fue de 4 surcos x 12 m lineales.

Variables de estudio

Calidad del jugo

Al momento de la cosecha, se tomó una muestra de cada parcela experimental. Se cortó tres tallos primarios, de cada uno se tomaron cinco entrenudos y seis nudos de la parte superior, tres entrenudos y cuatro nudos de la parte intermedia, y dos entrenudos y tres nudos de la base. Esto para hacer una muestra compuesta de dos kilogramos, las cuales se pusieron en bolsas de polietileno y seguidamente se introdujeron en una nevera con hielo para posteriormente llevarlas al laboratorio de campo del departamento de

precosecha del Ingenio Presidente Benito Juárez (IPBJ), con la finalidad de determinar la calidad de jugo; se utilizó el método Pol ratio (licuadora): Brix, porcentaje de sacarosa, pol, humedad, pureza, fibra y azúcares reductores de acuerdo con la norma mexicana NMX-F-271-1991.

Es importante destacar que el estado de madurez de los cultivares fue de manera natural y sin aplicación de maduradores.

Rendimiento (TCH)

La cosecha se llevó a cabo a los 14 meses de edad del cultivo. Se contaron los tallos molibles en 10 m de longitud de los dos surcos centrales para obtener el número de tallos por metro lineal y posteriormente este valor, se multiplicó por 7692 que es la cantidad de metros lineales ha⁻¹ de caña surcada a 1,3 m de distancia. Se tomó una muestra de 10 tallos por surco, los cuales se pesaron con hojas y sin hojas para obtener el peso promedio de los tallos y de la hoja (paja). Con ello se obtuvo el rendimiento en toneladas de caña por hectárea (TCH) de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Ren (tha^{-1}) = (\text{Peso promedio de tallos sin hojas}) \times (\text{Números de tallos } ha^{-1})$$

Consumo de nitrógeno

En cada tratamiento se determinó el contenido de materia seca de tallo y paja, tomando una muestra de 500 g respectivamente de cada uno de los componentes mencionados y se pusieron en bolsas de papel. Se introdujeron en una estufa de flujo de aire a 65°C por 72 horas, de esta se tomó una submuestra para determinar la concentración de nitrógeno en cada componente y así determinar el consumo de este nutriente (kg.ha⁻¹). Se determinó el índice de eficiencia interna de utilización de nitrógeno (EI), utilizando la siguiente ecuación:

$$EI = \frac{\text{Consumo de nitrógeno (kg.ha}^{-1}\text{)}}{\text{Rendimiento de caña (tha}^{-1}\text{)}} \quad (1)$$

Análisis económico de la fertilización nitrogenada

Se realizó de acuerdo con la metodología del CIMMYT (3), donde el tratamiento óptimo económico es aquel que proporciona la máxima tasa de retorno. Para el cálculo de los costos variables de los tratamientos de fertilización, se consideraron los costos del flete del fertilizante a la parcela, carga y descarga, el costo de la aplicación manual y el costo del fertilizante tomando como referencia los precios de la Urea, SPT y KCl de FYPA S.A., precios vigentes al 18 de junio del 2015 (tabla 1).

El precio de la caña para la zafra 2013/2014 para el IA fue US\$ 20.96 t de caña (2), el cual, junto con el rendimiento (TCH) se usaron como base para determinar el ingreso neto más los costos fijos (IN+CF) (US\$.ha⁻¹).

Análisis estadístico

Para las variables; rendimiento y consumo de nitrógeno, se realizó el análisis de varianza con el diseño de parcelas divididas y, la prueba de Tukey para determinar las diferencias significativas entre cultivares y dosis de N, utilizando para ello el paquete estadístico SAS versión 9,0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de suelo

Según la Norma oficial mexicana (NOM-021-RECNAT-2000), el suelo presentó un pH medianamente alcalino, sin problemas de salinidad, el contenido de materia orgánica (MO) muy rico; contenidos altos de nitrógeno total, fósforo, potasio, calcio y magnesio y contenidos bajos de boro.

Así como contenidos adecuados de hierro, cobre, manganeso y zinc; capacidad de intercambio catiónico (CIC) alta y una textura de clases franco arcilloso (tabla 2) (12).

Tabla 1. Cálculo de los costos variables (US\$.ha⁻¹) para los tratamientos de fertilización.

Table 1. Calculation of variable costs (US\$.ha⁻¹) for NPK fertilization treatments.

Variables	00-60-100		120-60-100		180-60-100	
	Jornales	(US\$.ha ⁻¹)	Jornales	(US\$.ha ⁻¹)	Jornales	(US\$.ha ⁻¹)
Costo del fertilizante N	-	-	-	93,77	-	140,66
Flete, carga y descarga N	-	-	-	5,46	-	8,20
Costo aplicación N	-	-	2	16,39	3	24,59
Costo del P		67,87	-	67,87	-	67,87
Flete, carga y descarga P	-	2,73	-	2,73	-	2,73
Costo aplicación P	1	8,20	1	8,20	1	8,20
Costo del K	-	63,93	-	63,93	-	63,93
Flete, carga y descarga K	-	2,73	-	2,73	-	2,73
Costo aplicación K	1	8,20	1	8,20	1	8,20
Costo variable		153,66		269,29		327,10

Tabla 2. Concentración de macro y micro nutrientes de fertilidad, salinidad y clasificación de suelo del experimento Rancho Grande (RG).**Table 2.** Concentration of macro and micronutrients fertility, salinity and soil classification experiment Big Ranch (BR).

pH (H ₂ O)	CE	MO	Nt	P Olsen	B	K	Ca	Mg	Na	CIC
rel. 1:2	$\mu\text{S cm}^{-1}$	%		mg kg^{-1}		cmol kg^{-1}				
7.71	129,5	5,00	0,26	11,30	0,88	3,41	25,94	13,83	0,13	29,99

Fe	Cu	Zn	Mn	Arcilla	Limo	Arena	Textura
mg kg^{-1}				%			
5,40	2,32	0,47	9,58	46	47	7	Franco Arcilloso

Calidad de jugo de los cultivares de caña de azúcar

Los valores de referencia de los parámetros de la calidad del jugo en México son: 12,5% de sacarosa en jugo, grados Brix de 18-22%, pureza de 79 al 89%, fibra de 11 al 15%, humedad entre 73 a 75% y azúcares reductores cercanos a cero, los cuales son valores mínimos aceptados por la agroindustria azucarera en México (18).

En el tratamiento sin aplicación de fertilizante nitrogenado, el cultivar MEX 69-290 presentó los valores más altos de sacarosa y Pol de 17,43 y 20,3% en jugo respectivamente y los más bajos en cuanto a fibra y azúcares reductores.

Sin embargo, con la dosis alta de N obtuvo un contenido adecuado para estas variables (15,99 y 18,58%) lo cual indica que la calidad de jugo de este cultivar no se ve afectada (negativamente) con dosis altas de N. Estos resultados coinciden con lo reportado por Salgado *et al.* (2003) para este cultivar y el MEX 68-P23 (18), señala que la calidad de jugo de estos cultivares no fue afectada por la aplicación de diferentes tratamientos de fertilización nitrogenada.

Con la dosis de 0 kg.N.ha⁻¹, los cultivares COLPOSCTMEX 06-474, COLPOSCTMEX 06-2362 y CP 72-1210, no superaron el valor

de referencia de calidad de jugo en cuanto a sacarosa. Esto indica que con dicho tratamiento, estos materiales aún no completaban su madurez al momento de la cosecha.

Con la dosis de 120 kg.N.ha⁻¹ los 10 cultivares superaron los valores de referencia de los parámetros de calidad de jugo. El contenido de sacarosa y pol en COLPOSCTMEX 06-271 y CP 72-1210 con 180 kg.N.ha⁻¹ disminuyó (tabla 3, pág. 51), en comparación con las dosis 0 y 120 kg.N.ha⁻¹, lo cual confirma que dosis altas de N afectan negativamente la calidad del jugo de estos cultivares.

Rendimiento

Se observaron diferencias altamente significativas para el rendimiento de caña con respecto a las dosis de nitrógeno (N), cultivar (C) y la interacción NxC.

El coeficiente de variación de 8,3% indica alta precisión en la determinación de este parámetro. Los cultivares de caña incrementaron el rendimiento conforme aumentó la dosis de N.

De acuerdo con la prueba de Tukey los materiales COLPOSCTMEX 05-223 y RD 75-11, presentaron el rendimiento más alto y MEX 69-290 y COLPOSCTMEX 06-271 presentaron el rendimiento más bajo (tabla 4, pág. 52).

Tabla 3. Calidad de jugo de 10 cultivares de caña de azúcar con diferentes dosis de nitrógeno.**Table 3.** Juice quality of 10 sugarcane cultivar with different nitrogen rates.

Cultivar	Dosis N (kg.ha ⁻¹)	Calidad de jugo (%)				
		Brix	Sacarosa	Pol	A. Reductores	Fibra
COLPOSCTMEX 06-039	0	16,81	14,19	16,50	0,414	13,73
	120	14,8	13,15	15,26	0,437	13,68
	180	16,13	13,90	16,16	0,467	13,88
COLPOSCTMEX 06-271	0	14,8	13,10	15,20	0,437	13,73
	120	16,47	14,81	17,22	0,350	13,83
	180	12,78	10,92	12,64	0,424	13,70
COLPOSCTMEX 06-474	0	11,78	10,42	12,04	0,562	13,55
	120	14,11	12,62	14,64	0,487	13,98
	180	15,46	13,34	15,50	0,524	13,90
COLPOSCTMEX 06-2362	0	10,75	10,05	11,62	0,544	14,00
	120	14,48	13,54	15,68	0,438	13,30
	180	16,13	14,79	17,20	0,517	13,98
COLPOSCTMEX 05-223	0	14,79	13,80	16,02	0,424	13,83
	120	15,80	14,63	17,00	0,373	13,75
	180	14,79	13,20	15,32	0,403	13,80
ATEMEX 96-40	0	15,49	14,35	16,64	0,327	13,18
	120	16,49	14,08	16,36	0,437	13,50
	180	15,80	14,63	17,00	0,296	13,80
RD 75-11	0	16,48	13,64	15,86	0,518	13,70
	120	15,46	13,22	15,36	0,437	13,83
	180	18,53	16,76	19,50	0,253	13,15
MEX 69-290	0	19,54	17,43	20,30	0,263	13,08
	120	14,80	13,79	16,00	0,427	13,75
	180	17,86	15,99	18,58	0,367	13,10
MEX 68-P23	0	17,3	15,80	18,20	0,336	14,00
	120	17,81	16,65	19,40	0,373	14,00
	180	16,80	14,95	17,40	0,299	13,98
CP 72-1210	0	14,80	12,43	14,42	0,545	13,75
	120	17,15	15,13	17,60	0,366	13,78
	180	12,11	10,79	12,48	0,518	13,60

El rendimiento de los 10 cultivares osciló entre 84,1 y 128 t.ha⁻¹. Se considera alto en comparación con el rendimiento promedio del área de estudio (60 t.ha⁻¹) y los reportados por Palma-López *et al.* (2002) con valores de 71,1-123,2 t.ha⁻¹ en distintas unidades de suelo del área de abastecimiento del IA (13). Esto valores de cosecha, indican que la fertilización nitrogenada afectó positivamente el

rendimiento de los cultivares evaluados y por lo tanto constituye una práctica necesaria en el área de estudio para incrementar el rendimiento del cultivo.

Con respecto a la interacción NxN, nueve de los diez cultivares en estudio presentaron el rendimiento más alto con la dosis de 180 kg.ha⁻¹ de N. Contrariamente, MEX 69-290 mostró mayor rendimiento con 120 kg N.ha⁻¹.

Tabla 4. Rendimiento ($t.ha^{-1}$) de 10 cultivares de caña de azúcar con diferentes dosis de nitrógeno.**Table 4.** Yield ($t.ha^{-1}$) of 10 cultivars of sugarcane with different nitrogen rates.

Cultivares	Dosis N ($kg.ha^{-1}$)			Media cultivar
	0	120	180	
COLPOSCTMEX 06-039	95,0	92,3	123,3	103,5 cd
COLPOSCTMEX 06-271	82,8	86,5	91,2	86,8e
COLPOSCTMEX 06-474	101,3	109,1	120,6	110,3 bcd
COLPOSCTMEX 06- 2362	93,6	100,3	112,8	102,2 cd
COLPOS CTMEX 05-0223	104,3	126,9	153,0	128,0 a
ATEMEX 96-40	101,8	111,9	121,9	111,9 bc
RD 75 11	101,5	124,2	133,3	119,7 ab
MEX 69-290	70,7	93,2	88,2	84,1e
MEX 68 P23	103,0	108,7	129,2	113,6 bc
CP 72-1210	85,3	101,1	106,2	97,5 de
Media dosis (N)	93,6c	105,4b	118,0a	105,8
C.V (%)	8,3			
Prob. F:				
Dosis N (N)	0,01**			
Cultivar (C)	0,01**			
Interacción (NxC)	0,02**			

†Medias con la misma letra dentro de la hilera o columna son iguales estadísticamente. Prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

**Altamente significativo.

†Means with the same letter in the same row or column are statistically. Tukey test ($P \leq 0.05$).

**Highly significant difference.

Los cultivares COLPOSCTMEX 06-039 y MEX 69-290 no mostraron un incremento lineal del rendimiento de acuerdo con el aumento en la dosis de N aplicada (tabla 4). Estos resultados son similares a los obtenidos por Fortes *et al.* (2013), quienes concluyeron que la fertilización nitrogenada promovió aumentos en el rendimiento durante el ciclo planta y socas 1 a 3, así como en el acumulado de los cuatro ciclos de cultivo (8).

Consumo de nitrógeno

Consumo de nitrógeno en tallos

De acuerdo con los valores del ANOVA de la tabla 5 (pág. 53), se encontró

diferencia significativa para el consumo de nitrógeno por los tallos (CNT) con respecto a la dosis de N y no significativa para el efecto del cultivar y la interacción NxC.

La prueba de Tukey muestra que el mayor CNT fue con la dosis de $180 kg.N.ha^{-1}$ y el más bajo con la dosis testigo, lo cual indicaría que el CNT depende de la dosis de N aplicada e independientemente del cultivar utilizado (tabla 5, pág. 53).

El valor promedio del CNT de los 10 cultivares con las tres fue de $91 kg.ha^{-1}$, indica la cantidad del nutriente que el cultivo de caña de azúcar extrae y que no se reintegra al ciclo del nitrógeno en el suelo, debido a la cosecha de los tallos y su posterior traslado a la fábrica.

Tabla 5. Consumo de nitrógeno ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de 10 cultivares de caña de azúcar con diferentes dosis de nitrógeno.**Table 5.** Nitrogen consumption ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) of 10 sugarcane cultivar with different nitrogen rates.

Cultivares	Consumo de N. $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (promedios cultivar)		
	Tallo	Paja	Total
COLPOSCTMEX 06-039	95,1 a	106,8 abc	202,0 ab
COLPOSCTMEX 06-271	67,4 a	92,8 abc	160,3 b
COLPOSCTMEX 06-474	109,9 a	106,5 abc	216,4 ab
COLPOSCTMEX 06- 2362	76,6 a	109,0 abc	185,7 ab
COLPOSCTMEX 05-0223	100,8 a	108,8 abc	209,6 ab
ATEMEX 96-40	88,3 a	102,8 abc	191,1 ab
RD 75 11	89,6 a	124,5 a	214,1 ab
MEX 69-290	76,9 a	84,0 c	160,9 b
MEX 68 P23	116,5 a	116,1 ab	232,5 a
CP 72-1210	91,6 a	82,4 c	174,0 ab
Media dosis (N): 0 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$	74,1 b	86,1 c	160,3 c
120 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$	86,9 ab	105,7 b	195,3 b
180 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$	109,9 a	118,2 a	227,6 a
C.V (%)	35,1	18,8	18,9
Prob. F:			
Dosis N (N)	0,0008 **	0,0001 **	0,0001 **
Cultivar (C)	0,07 NS	0,0004 **	0,0009 **
Interacción (N*C)	0,1 NS	0.6NS	0,1NS

† Medias con la misma literal dentro de la hilera o columna son iguales estadísticamente. Prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). NS: no significativo.

** Altamente significativo.

† Means with the same letter in the same row or column are statistically equivalent. Tukey test ($P \leq 0.05$). NS: not significant.

** Highly significant.

Esta cantidad es la que se debería aplicar en las dosis de fertilizantes, lógicamente afectándola con la eficiencia de utilización del fertilizante.

Consumo de nitrógeno en la paja (CNP)

Para el consumo de nitrógeno de la paja (CNP) se observa diferencia altamente significativa para el efecto de dosis de nitrógeno (N) y cultivar (C), siendo no significativa para la interacción NxC.

Se observó una respuesta lineal en el CNP con respecto a las dosis de N aplicadas.

La prueba de Tukey indica que el CNP más alto lo obtuvo el cultivar RD 75-11, seguido del MEX 68-P23; mientras que el MEX 69-290 y CP 72-1210 presentaron el CNP más bajo. El resto de los cultivares formó un grupo con valores intermedios para esta variable.

El promedio del CNP en los 10 cultivares de caña de azúcar fue $103,4 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, lo cual hace evidente la importancia

de incorporar al suelo los residuos de cosecha de este cultivo para aumentar el contenido de materia orgánica del mismo. En su defecto esto aportaría a dicho sistema, cantidades importantes de N, lo cual puede contribuir a la disminución de las dosis de N recomendadas para el área de estudio (tabla 5, pág. 53). Tal como lo observó para el caso del fertilizante fosfatado que, al adicionarse con cachaza, mejoró la actividad microbiana, la disponibilidad del P en el suelo y su acumulación en las plantas de caña de azúcar (Saucedo *et al.*, 2015).

Consumo de nitrógeno total (CNTo)

De acuerdo con los resultados del ANOVA, se encontró diferencia significativa para el consumo de nitrógeno total de los cultivares de caña de azúcar (CNTo) con respecto a las dosis de nitrógeno (N) y cultivar (C), y no significativa con respecto a la interacción NxC.

El CNTo presentó una respuesta lineal con respecto al incremento de la dosis de N aplicado, siendo mayor en la dosis de 180 kg.ha⁻¹. Los cultivares tienden a consumir más nitrógeno para producir mayor cantidad de materia seca total.

Con respecto a la prueba de Tukey, MEX 68-P23 presentó el más alto CNTo (232,5 kg.ha⁻¹), mientras que COLPOSCTMEX 06-271 y MEX 69-290 obtuvieron el CNTo más bajo (tabla 5, pág. 53).

El valor promedio de CNTo de los cultivares fue 194,4 kg.N.ha⁻¹, similar a 190 kg.N.ha⁻¹ reportado por Franco *et al.* (2011).

Los cultivares COLPOSCTMEX 06474 y MEX 68-P-23, presentan similar consumo de nitrógeno en tallo y paja (tabla 5, pág. 53), la CP72-1210 muestra mayor consumo de nitrógeno en tallo y el resto presentan el mayor consumo de nitrógeno en paja.

El consumo de nitrógeno de los 10 cultivares varía de 160,3 a 232,5 kg.ha⁻¹, y en todos los casos fue mayor que la dosis de N aplicado. Esto indicaría que cantidades importantes de N consumido por el cultivo fue derivado de otras fuentes como pueden ser la mineralización de la materia orgánica del suelo (7), la incorporación y posterior mineralización de los residuos de cosecha anterior (6, 8), la fijación biológica de N por microorganismos presentes en el suelo (24) y por las precipitaciones con tormentas eléctricas en el área de estudio durante el experimento.

Índice de eficiencia interna de utilización de nitrógeno (kg.N.t⁻¹ caña producida)

De acuerdo con el índice de eficiencia interna de nitrógeno (IE) los cultivares sin fertilizar se clasificaron en bajo < 1,7, medio >1,7-1,9 y alto >1,9; lo que permitió dividir los cultivares en cuatro grupos, de acuerdo con el rendimiento de tallos molibles y al IE (figura 2a, pág. 55): Como Grupo I el Cultivar COLPOSCTMEX-06-271 de bajo rendimiento y bajo IE, Grupo II los cultivares CP 72-1210 y MEX 69-290 de bajo rendimiento y medio IE. Grupo III con alto rendimiento y bajo IE los cultivares RD 75-11, ATEMEX 96-40, COLPOSCTMEX 06-039, COLPOSCTMEX 06-2362, y Grupo IV los cultivares COLPOSCTMEX 05-223, MEX 68-P-23, COLPOS-06-474 con alto rendimiento y medio IE, respectivamente.

Al fertilizar con 120 kg.ha⁻¹ de N, se observa un cambio en el rendimiento y en el EI. El cultivar COLPOSCTMEX-06-271 al no responder a la fertilización, es la única en presentar bajo rendimiento y bajo índice de eficiencia. El resto de los cultivares se consideran de alto rendimiento y se pueden diferenciar por su bajo, medio y alto IE (figura 2b, pág. 55).

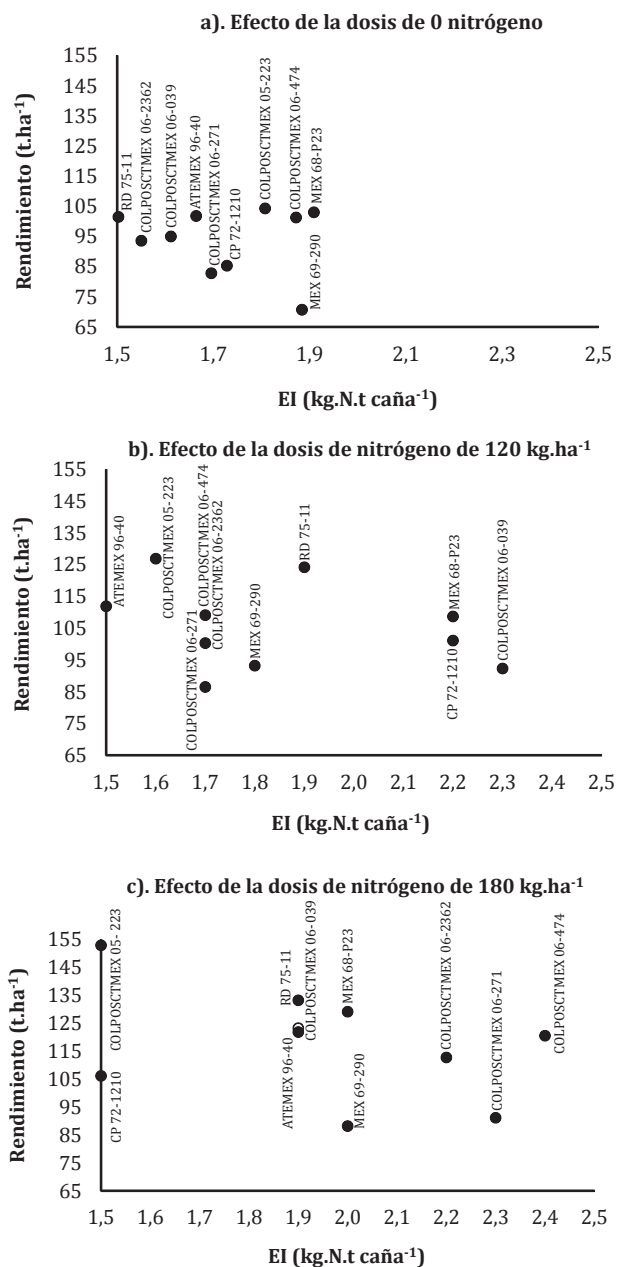


Figura 2. Relación entre el rendimiento (t.ha⁻¹) y el índice de eficiencia interna de utilización de nitrógeno (EI) (kg.N.t⁻¹ caña producida) de diez cultivares de caña de azúcar.

Figure 2. Relationship among yield (t.ha⁻¹) and the index of internal efficiency of nitrogen utilization (EI) (kg.N.t⁻¹ cane produced) for ten cultivar of sugarcane.

Con la aplicación de 180 kg.ha⁻¹ de N, se observa un incremento en el rendimiento y en el EI (figura 2c, pág. 55).

En los cultivares MEX 69-290 y COLPOSCTMEX 06-271, un mayor consumo de N, no conduce a un incremento en el rendimiento.

El índice de eficiencia varió de 1,5 a 2,4 en los 10 cultivares y se considera alto en comparación con el índice de utilización de N de 1,0-1,5 que reporta Pineda *et al.* (2014). Este autor, también señala que este índice en la práctica no se respeta, ya que es común encontrar valores por encima de 1,5 y ocasionalmente hasta de 3 o más, sin que los beneficios sobre el rendimiento justifiquen el exceso de nutrientes. Por ello, se sugiere utilizar esta información para ajustar la dosis de N según el EI de cada cultivar de caña de azúcar.

Análisis económico de la fertilización nitrogenada

Los cultivares COLPOS CTMEX 05-0223, RD 75-11 y MEX 69-290, con la dosis de 120 kg.N.ha⁻¹, generan una tasa de retorno al capital variable (TRCV) de US\$ 0,10 respectivamente, por cada US\$ 0,05 invertido en fertilizante nitrogenado; lo cual corrobora que la dosis recomendada por Salgado *et al.* (2008) para este suelo es adecuada al producir los mayores incrementos en el rendimiento de caña de azúcar (tabla 6, pág. 57).

Los cultivares COLPOSCTMEX 06-039, COLPOS CTMEX 05-0223, RD 75-11 y MEX 68P23, con la dosis de 160 kg.N.ha⁻¹, generan una tasa de retorno al capital variable (TRCV) > US\$ 0,09, por cada US\$ 0,05 invertido en fertilizante nitrogenado.

Corroborando la alta rentabilidad de la fertilización nitrogenada en el cultivo de caña de azúcar.

Los valores de la TRCV son bajos por el bajo precio de la caña, ya que incrementos de rendimiento > 10 t.ha⁻¹, se consideran alentadores en muchas regiones cañeras del mundo, pero no en este caso. El resto de los cultivares, no superó la tasa de retorno mínima del 50% para productores de capital limitado, lo cual indicaría que en el ciclo de plantilla no deben fertilizarse ya que económicamente no es rentable (3).

CONCLUSIONES

Altas dosis de nitrógeno pueden afectar negativamente la calidad de jugo de caña de azúcar; aunque esto depende directamente del cultivar utilizado. El rendimiento de caña fue diferente entre cultivares. Se observó una respuesta lineal positiva con respecto al incremento en la aplicación de fertilizante N, a excepción del MEX 69-290 que presentó el rendimiento más alto con la dosis 120 kg.N.ha⁻¹. En el suelo Cambisol háplico (límico-éutrico-calcárico), el rendimiento de caña depende del cultivar utilizado y la dosis de N aplicada, así como de las condiciones edáficas, ambientales y la fecha de siembra y cosecha.

El consumo de nitrógeno del cultivar aumentó conforme se incrementó la dosis de N aplicada.

El MEX 68-P23 fue el cultivar con el mayor consumo de N (232,5 kg ha⁻¹); mientras que el MEX 69-290 y COLPOSCTMEX 06-271 fueron los cultivares con el menor consumo de N (160,9 y 160,3 kg.ha⁻¹ respectivamente).

Tabla 6. Análisis económico de la fertilización nitrogenada para 10 cultivares de caña de azúcar y tres dosis NPK en el Ingenio HG.

Table 6. Economic analysis of nitrogen fertilization of 10 sugarcane cultivars and three rates NPK in Sugar mill HG.

Cultivares	Dosis N (kg.ha ⁻¹)	Rendimiento (TCH)	C. Varios (US\$.ha ⁻¹)	IN+CF (US\$.ha ⁻¹)	incremento Rto (t.ha ⁻¹)	Incremento IN+CF (US\$.ha ⁻¹)	TRCV (US\$.ha ⁻¹)
COLPOSCTMEX 06-039	0	95,0	153,66	1992,40	-	-	-
	120	92,3	269,29	1935,78	-	-	-
	180	123,3	327,10	2585,93	28,3	593,52	0,10*
COLPOSCTMEX 06-271	0	82,8	153,66	1736,54	-	-	-
	120	86,5	269,29	1814,14	3,7	77,60	0,02
	180	91,2	327,10	1912,71	8,4	176,17	0,03
COLPOSCTMEX 06-474	0	101,3	153,66	2124,53	-	-	-
	120	109,1	269,29	2288,12	7,8	163,58	0,03
	180	120,6	327,10	2529,31	19,3	404,77	0,07
COLPOSCTMEX 06-2362	0	93,6	153,66	1963,04	-	-	-
	120	100,3	269,29	2103,56	6,7	140,52	0,03
	180	112,8	327,10	2365,72	19,2	402,68	0,07
COLPOS CTMEX 05-0223	0	104,3	153,66	2187,45	-	-	-
	120	126,9	269,29	2661,43	22,6	473,98	0,10*
	180	153,0	327,10	3208,82	48,7	1021,37	0,17*
ATEMEX 96-40	0	101,8	153,66	2135,02	-	-	-
	120	111,9	269,29	2346,84	10,1	211,83	0,04
	180	121,9	327,10	2556,57	20,1	421,55	0,07
RD 75 11	0	101,5	153,66	2128,73	-	-	-
	120	124,2	269,29	2604,81	22,7	476,08	0,10*
	180	133,3	327,10	2795,66	31,8	666,93	0,11*
MEX 69-290	0	70,7	153,66	1482,77	-	-	-
	120	93,2	269,29	1954,66	22,5	471,89	0,10*
	180	88,2	327,10	1849,79	17,5	367,02	0,06
MEX 68 P23	0	103,0	153,66	2160,19	-	-	-
	120	108,7	269,29	2279,73	5,7	119,55	0,02
	180	12,2	327,10	2709,67	26,2	549,49	0,09
CP 72-1210	0	85,3	153,66	1788,97	-	-	-
	120	101,1	269,29	2120,34	15,8	331,37	0,07
	180	106,2	327,10	2227,30	20,9	438,33	0,07

* Dosis de fertilizante que superan la tasa de retorno mínima del 50% para productores de capital limitado.

* Fertilizer doses exceeding the minimum rate of return of 50% for limited capital producers.

El índice de consumo interno de nitrógeno varió de 1,5 a 2,4 kg de N.t de tallo⁻¹ en los 10 cultivares. Los cultivares COLPOSCTMEX 05-0223, RD 75-11 y MEX 69-290, con la dosis de 120 kg.N.ha⁻¹, generan una tasa de retorno al capital variable (TRCV) de US\$ 0,10.

Por su parte los cultivares COLPOSCTMEX 06-039, COLPOS CTMEX 05-0223, RD 75-11 y MEX 68 P23, con la dosis de 160 kg.N.ha⁻¹, generan una TRCV > US\$ 0,09, respectivamente, corroborando la rentabilidad de la fertilización nitrogenada en edad de caña planta, bajo las condiciones agroecológicas del área de estudio.

BIBLIOGRAFÍA

1. Boaretto, A.; Muraoka, T.; Trevelin, P. 2007. Uso eficiente de nitrógeno nos fertilizantes convencionais. *Informacoes Agronómicas. Brasil.* 120:13-14.
2. Cañeros (Unión Nacional de Cañeros A.C.). 2015. Estadísticas de la agroindustria azucarera. Disponible en: www.caneros.org.mx. (Consultado el 18 de junio de 2015).
3. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). 1988. La Formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. Ed. Revisada. CIMMYT. México. 79 p.
4. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2014. Servicio Meteorológico Nacional: Reporte anual 2014. México. 27 p.
5. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2015. Servicio Meteorológico Nacional: Reporte anual 2015. México. 30 p.
6. Di Ciocco, C. A.; Sandler, R. V.; Falco, L. B.; Coviella, C. E. 2014. Actividad microbiológica de un suelo sometido a distintos usos y su relación con variables físico-químicas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 46(1): 73-85.
7. Dourado-Neto, D.; Powlson, D.; Bakar, R. A.; Bacchi, O. O. S.; Basanta, M. V.; Cong, P. T.; Keerthisinghe, G.; Ismaili, M.; Rahman, S. M.; Reichardt, K.; Safwat, M.S.A.; Sangakkara, R.; Timm, L. C.; Wang, J.Y.; Zagal, E.; Van Kessel, C. 2010. Multiseason recoveries of organic and inorganic nitrogen-15 in tropical cropping systems. *Soil Science Society of America Journal.* 74(1): 139-152.
8. Fortes, C.; Vitti, A. C.; Ocheuze, T. P. C.; Vitti, A. C.; Otto, R.; Junqueira, F. H. C.; Faroni, C. E. 2013. Stalk and sucrose yield in response to nitrogen fertilization of sugarcane under reduced tillage. *Pesq. agropec. Bras. Brasil.* 48(1): 88-96.
9. Franco, J. E. C.; Otto, R.; Faroni, C. E.; Vitti, A. C.; Almeida, O. E. C.; Ocheuze, T. P. C. 2011. Nitrogen in sugarcane derived from fertilizer under Brazilian field conditions. *Field Crops Research.* 121(1): 29-41.
10. Junguo, L.; Liangzhi, Y.; Manouchehr, A.; Obersteiner, M.; Herrero, M.; Alexander, J.; Zehnder, B.; Yang, H. 2010. A high-resolution assessment on global nitrogen flows in cropland. *PNAS Direct Submission.* 107(17): 8035-8040.
11. Meyer, J. H.; Schumann, A. W.; Wood, R. A.; Nixon, D. J.; Van Den Berg, M. 2007. Recent advances to improve nitrogen use efficiency of sugarcane in the South African Sugar Industry. *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.* 26: 238-245.
12. NOM-021-SEMARNAT-2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. *Diario Oficial,* 31 de diciembre de 2002. 85 p.
13. Palma-López, D. J.; Salgado, G. S.; Obrador, O. J. J.; Trujillo, N. A.; Lagunes, E. L. C.; Zavala, C. J.; Ruiz, B. A.; Carrera, M. M. A. 2002. Sistema integrado para recomendar dosis de fertilización en caña de azúcar (SIRDF). *Terra Latinoamericana. México.* 20(3): 347-358.
14. Pineda, R. E.; Rodríguez, C. I.; Burgos, A. J. L.; Vidal, D. M. L.; Becerra, A. E.; Acosta, H. F.; Más, M. R. 2014. La fertilización nitrogenada de la caña de azúcar en un suelo con presencia de hidromorfia. *Centro Agrícola. Cuba.* 41(3): 11-15.

15. Robinson, N.; Fletcher, A.; Whan, A.; Critchley, N. C.; Wirén, V.; Lakshmanan, P.; Schmidt, S. 2007. Sugarcane genotypes differ in internal nitrogen use efficiency. *Functional Plant Biology*. 34(12): 1122-1129.
16. Robinson, N.; Gamage, H.; Whan, A.; Vinall, K.; Fletcher, A.; Brackin, R.; Holst, J.; Lakshmanan, P.; Schmidt, S. 2009. Evidence of differences in nitrogen use efficiency in sugarcane genotypes. *Proc Aust Soc Sugar Cane Technol. Australia*. 31: 256-264.
17. Salgado, G. S.; Núñez, E. R.; Bucio, A. L. 2003a. Determinación de la dosis óptima económica de fertilización en caña de azúcar. *Terra Latinoamericana. México*. 21(2): 267-272.
18. Salgado, G. S.; Núñez, R.; Peña, J. J.; Etchevers, J. D.; Palma, J. D.; Soto, R. M. 2003b. Manejo de la fertilización en el rendimiento, calidad del jugo y actividad de invertasas en caña de azúcar. *Interciencia. Venezuela*. 28(10): 576-580.
19. Salgado, G. S.; Palma, L. D. J.; Zavala, C. J.; Lagunes, E. L. C.; Ortiz, G. C. F.; Castelán, E. M.; Guerrero, P. A.; Moreno, C. E.; Rincón, R. J. A. 2008. Sistema Integrado para Recomendar Dosis de Fertilizantes (SIRDF) en Caña de Azúcar: Ingenio Azsuremex. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco. México. 101 p.
20. Salgado, G. S.; Palma-López, D. J.; Zavala-Cruz, J.; Lagunes-Espinoza, L. C.; Ortiz-García, C. F.; Castelán-Estrada, M.; Guerrero-Peña, A.; Aranda-Ibáñez, E. M.; Moreno-Cáliz, E.; Rincón-Ramírez, J. A. 2010. Lotificación del campo cañero: una metodología para iniciar la agricultura de precisión en los ingenios de México. *Interciencia. Venezuela*. 35(3): 183-190.
21. Salgado, G. S.; Palma, L. D. J.; Zavala, C. J.; Lagunes, E. L. C.; Castelán, E. M.; Ortiz, G. C. F.; Juárez, L. J. F.; Ruiz, R. O.; Armida, A. L.; Rincón, R. J. A.; Córdova, S. S. 2011. Un programa de fertilización sustentable para el Ingenio "Presidente Benito Juárez" en Tabasco, México. *Avances en Investigación Agropecuaria. México*. 15(3): 45-65.
22. Saucedo Castillo, O.; de Mello Prado, R.; Castellanos González, L.; Ely, N.; Silva Campos, C. N.; Pereira Da Silva, G.; Assis, L. C. 2015. Efecto de la fertilización fosfatada con cachaza sobre la actividad microbiana del suelo y la absorción de fósforo en caña de azúcar (*Saccharum* spp.). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 47(1): 33-42.
23. Stevenson, D. W. A.; Van der Merwe, A.; Benninga, W.; Allison, J. C. S. 1992. Response of different sugarcane varieties to greater than normal applications of nitrogen. *Proc Afr Sug Technol Ass.* 66: 50-53.
24. Urquiaga, S.; Cruz, K. H. S.; Boddey, R. M. 1992. Contribution of nitrogen fixation to sugarcane: nitrogen-15 and nitrogen-balance estimates. *Soil Science Society of America*. 56: 105-114.
25. Weigel, A.; Meyer, J. H.; Moodley, S. 2010. Nitrogen responses and nitrogen use efficiency of four sugarcane varieties in Mpumalanga. *Proc S Afr Sug Technol Ass. South África*. 83: 216- 220.

AGRADECIMIENTOS

Al Grupo MASCAÑA del Colegio de Postgraduados, a la Universidad Autónoma de Chiapas-Escuela Maya de Estudios Agropecuarios, a la Fundación Produce Tabasco, A.C., a la Asociación Local de productores de caña de azúcar CNPR del IA.

A Don Gustavo Morales Barrada por el financiamiento y el apoyo logístico otorgado a esta investigación.