

Respuesta de variedades de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) a la fertilización NPK bajo secano en el sur de Tamaulipas, México*

Response of sugarcane varieties (*Saccharum officinarum* L.) to NPK fertilization on dry land in southern Tamaulipas, Mexico

Sergio Castro Nava^{1§} y Alfredo J. Huerta²

¹Universidad Autónoma de Tamaulipas-Facultad de Ingeniería y Ciencias. Centro Universitario Adolfo López Mateos. Cd. Victoria, Tamaulipas, C. P. 87149. Tel: 01 834 31 817 21, ext. 2125. ²Miami University-Department of Biology. Oxford, Ohio. (huertaaj@miamioh.edu). [§]Autor para correspondencia: scastro@uat.edu.mx.

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue identificar la dosis óptima económica de NPK que optimice el rendimiento en campo y la calidad del jugo de la caña de azúcar en la zona de influencia del ingenio San Miguel del Naranjo en Tamaulipas, México bajo condiciones de secano. Se evaluaron las variedades CP 72-2086 y Mex 79-431 en ciclo soca durante la zafra 2010-2011 en dos localidades bajo secano. Para generar los tratamientos, se utilizó el diseño San Cristóbal (N: 103, 112, 120 y 128; P: 41, 51, 60 y 69; K: 46, 58, 70 y 82 kg ha⁻¹), además del testigo sin fertilizar. Los 13 tratamientos se distribuyeron en campo bajo un arreglo de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La dosis 103-41-46 fue suficiente para satisfacer los requerimientos nutricionales de las dos variedades con un rendimiento promedio de 112.2 Mg ha⁻¹, ya que a dosis mayores de N se abatieron los rendimientos. La dosis de fertilización recomendada por el ingenio (120-60-70) no es la adecuada para las variedades estudiadas y el tipo de suelo, lo que sugiere mayor investigación en la zona. Las dosis de fertilización no modificaron los °Brix del jugo de la caña, lo que indica que las dosis 103-41-46 permite incrementar el rendimiento y mantener la calidad del jugo.

Palabras clave: *Saccharum officinarum* L., fertilización, fósforo, nitrógeno, potasio, rendimiento.

Abstract

The aim of this study was to identify the optimal economic dose for NPK that optimizes yield in the field and juice quality of sugarcane in the area of influence of the ingenio San Miguel del Naranjo in Tamaulipas, Mexico under dryland conditions. The varieties CP 72-2086 and Mex 79-431 in “soca” cycle were evaluated during the 2010-2011 in two locations under dryland. For generating the treatments, we used the San Cristobal design (41, 51, 60 and 69; K: P 103, 112, 120 and 128 N 46, 58, 70 and 82 kg ha⁻¹), in addition of the unfertilized control. The 13 treatments were distributed in field, in accordance under a randomized complete block with four replications. The 103-41-46 dose was sufficient to meet the nutritional requirements of the two varieties with an average yield of 112.2 Mg ha⁻¹, since higher N yields were shot down. Fertilization doses recommended by the ingenio (120-60-70) is not adequate for the studied varieties and soil type, suggesting further research in the area. The fertilization did not change the °Brix of the juice of the cane, indicating that the dose 103-41-46 allows increased throughput and maintain the quality of the juice.

Keywords: *Saccharum officinarum* L., fertilization, nitrogen, phosphorus, potassium, yield.

* Recibido: febrero de 2015
Aceptado: abril de 2015

En Tamaulipas, la caña de azúcar se siembra en una superficie de 62 mil ha en siete municipios (SIAP, SAGARPA, 2014). Esta superficie es zona de abasto de tres ingenios: Aarón Sáenz, El Mante y San Miguel del Naranjo. En este último se siembran 36 mil ha, con 86% bajo secano. Tres municipios de Tamaulipas, Antiguo Morelos, Nuevo Morelos y Ocampo, son zona de abasto de este ingenio, representa 53% del total de la superficie sembrada. El rendimiento promedio en la zafra 2012-2013 fue de 69 Mg ha⁻¹ con 8.6 Mg ha⁻¹ de azúcar variando en los últimos años de 42 a 73 Mg ha⁻¹ (Cañeros, 2014), debido a la distribución de la precipitación y al manejo nutricional ya que se ha generalizado la aplicación de la dosis 120-60-70, sin considerar aspectos como la variedad, tipo de suelo, ciclo de la planta, el manejo agronómico (fertilización) y el clima (Thorburn *et al.*, 2007).

En zonas de secano, la pérdida de la fertilidad por la cosecha de tallos y la quema de residuos en el campo (Lal, 2009) es un problema frecuente como resultado de la extracción de nutrientes por la caña de azúcar. Esto se traduce en una reducción de la rentabilidad del cultivo, por lo que son necesarias prácticas para conservar la fertilidad del suelo y el uso eficiente de los fertilizantes químicos (Lal, 2009). Esto plantea una creciente amenaza a la producción en las zonas cañeras del país.

Para un óptimo crecimiento de la planta, los nutrientes deben existir en cantidades adecuadas y equilibradas, de acuerdo con el momento de demanda del cultivo. La caña de azúcar es uno de los cultivos altamente consumidores de fertilizantes y que responden muy bien a su aplicación (Gopaldasundaram *et al.*, 2012). El uso de fertilizantes químicos constituye una práctica de suma importancia para que la caña de azúcar alcance altos rendimientos; sin embargo en la actualidad la necesidad de conservar el ambiente pero sobre todo su elevado costo (Franco *et al.*, 2011) exige realizar un uso oportuno y efectivo para asegurar su máximo aprovechamiento (Salgado *et al.*, 2003). La aplicación oportuna y eficiente de los fertilizantes permitirá el establecimiento temprano de una elevada población de tallos molederos, componente de máxima importancia en la definición del rendimiento. Por lo anterior, se planteó el presente trabajo con el objetivo de identificar la dosis óptima económica de NPK que optimice el rendimiento en campo y la calidad del jugo de la caña de azúcar en la zona de influencia del ingenio San Miguel del Naranjo bajo condiciones de secano.

In Tamaulipas, sugarcane is planted in an area of 62 000 ha in seven municipalities (SIAP, SAGARPA, 2014). This area is area supply three engenho: Aaron Saenz, El Mante and San Miguel del Naranjo. In the last 36 000 ha are planted with 86% under rainfed. Three municipalities of Tamaulipas, Antiguo Morelos, Nuevo Morelos and Ocampo, are zones supply this engenho, representing 53% of total plantings. The average yield in the 2012-2013 harvest was 69 Mg ha⁻¹ to 8.6 Mg ha⁻¹ sugar changing in recent years 42-73 Mg ha⁻¹ (Cañeros, 2014), due to the distribution of precipitation and nutritional management since it has been widely applied at a dose 120-60-70, without considering aspects such as variety, soil type, plant cycle, crop management (fertilization) and climate (Thorburn *et al.*, 2007).

In rainfed areas, loss of fertility for crop stalks and residue burning in the field (Lal, 2009) is a common problem resulting from the extraction of nutrients from sugarcane. This results in a reduction in the profitability of the crop, which are practices necessary to maintain soil fertility and efficient use of chemical fertilizers (Lal, 2009). This poses a growing threat to production in the sugarcane areas.

For optimum plant growth, the nutrients must be adequate and balanced amounts in accordance with the time of crop demand. Sugarcane is one of the high consumption of fertilizers and crops respond well to the application (Gopaldasundaram *et al.*, 2012). The use of chemical fertilizers is an important practice for sugarcane to reach high yields; however, currently, the need to conserve the environment but especially its high cost (Franco *et al.*, 2011) implies an appropriate and effective use to ensure maximum utilization (Salgado *et al.*, 2003). Timely and efficient application of fertilizers will enable the early establishment of a large population of crushing stems, component of utmost importance in defining the yield. Therefore, this study aimed to identify the optimal dose of NPK economy that optimizes yield in the field and juice quality of sugarcane in the area of influence of engenho San Miguel del Naranjo was raised under conditions rainfed.

The experiment was established in sugarcane area Ocampo, Tamaulipas, supply area engenho San Miguel del Naranjo, located in the Naranjo, SLP. varieties MEX CP 72-2086 and 79-431 were evaluated cycles soca 2010 - 2011 in sugarcane plots established in two locations: Ejido La Muralla and Ejido Las Flores respectively; both locations under rainfed.

El experimento se estableció en la zona cañera de Ocampo, Tamaulipas, zona de abasto del ingenio San Miguel del Naranjo, ubicado en el Naranjo, S L P. Se evaluaron las variedades CP 72-2086 y MEX 79-431 en los ciclos de soca 2010- 2011 en lotes cañeros establecidos en dos localidades: Ejido La Muralla y Ejido Las Flores respectivamente; ambas localidades bajo secano. El clima del lugar es subtropical con una temperatura promedio durante el experimento de 25 °C y una precipitación de 1 685 mm. Antes y después del establecimiento del experimento se realizaron las labores recomendadas en la zona después del corte: destroncone, subsoleo, dos cultivos y control de malezas.

Para generar los tratamientos de fertilización se utilizó como base la dosis recomendada por el ingenio 120-60-70 y mediante el diseño San Cristóbal (Martínez, 1986) se generaron los siguientes niveles de exploración; N: 103, 112, 120 y 128; P: 41, 51, 60 y 69 y K: 46, 58, 70 y 82 kg ha⁻¹, respectivamente. La combinación de estos factores originó 12 tratamientos de acuerdo a las recomendaciones del diseño utilizado, además del testigo sin fertilizante. Los 13 tratamientos se distribuyeron en campo bajo un arreglo de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. El fertilizante se aplicó en dos partes; la primera el 13 de febrero de 2010, 50% del N y el total de P y K; la segunda el 18 de julio de 2010, el resto del N.

El fertilizante se aplicó en banda a un lado del surco en una zanja de 10 cm de profundidad y posteriormente se tapó. El tamaño de la parcela experimental fue de cuatro surcos de 1.3 m de ancho por 10 m de longitud y la parcela útil de dos surcos centrales. La cosecha se realizó de manera manual cuando la caña tenía entre 12 y 13 meses de edad en las variedades CP 72-2086 y MEX 79-431 respectivamente. Las variables de estudio fueron: diámetro de tallo (mm) y longitud de entrenudos (cm); a la cosecha se midió la altura de los tallos molederos, calidad de la caña basada en determinaciones de °Brix con un refractómetro digital (Model 300051, Thomas Scientific) y el 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 y se transformaron a Mg ha⁻¹.

En todas las variables se aplicó un análisis de varianza (SAS, 2010), la prueba de separación de medias de Tukey ($p=0.05$) se aplicó para establecer diferencias estadísticas. Para el análisis económico se utilizó el método propuesto por el CIMMYT (1988). Se consideraron los costos de fertilizante (\$kg⁻¹ de nutrimento: N= \$21.95; P= \$19.5;

The local climate is subtropical with an average temperature during the experiment at 25 °C and rainfall of 1685 mm. Before and after the establishment of the experiment the recommended tasks were performed in the area after the cut: destroncone, ripping, two crops and weed control.

In order to generate the fertilization treatments we used as the basis the recommended dose by the ingenio 120-60-70 and through the design by San Cristóbal (Martínez, 1986) the following levels of exploration were generated; N: 103, 112, 120 and 128; P: 41, 51, 60 and 69 and K: 46, 58, 70 and 82 kg ha⁻¹, respectively. The combination of these factors led to 12 treatments according to the recommendations of the design used, in addition to the control treatment. The 13 treatments were distributed in accordance field under a randomized complete block with four replications. The fertilizer was applied in two parts; the first on February 13, 2010, 50% of N and total P and K; the second on July 18, 2010, the rest of N.

The fertilizer was applied at one side of the band in a trench groove 10 cm deep and then capped. The size of the experimental plots were four rows 1.3 m wide by 10 m long and useful plot two central rows. The harvest was performed manually when the cane was between 12 and 13 months of age in CP 72-2086 and Mex 79-431 respectively. The study variables were: stem diameter (mm) and length of internodes (cm); at harvest height stems were measured, the quality based on determinations of °Brix with a digital refractometer (Model 300051, Thomas Scientific) and field yield (Mg ha⁻¹), for which the stems of the useful plot were weighed on a clock balance of 100 kg capacity and were converted to Mg ha⁻¹.

In all variables an analysis of variance was applied (SAS, 2010), the mean separation test of Tukey ($p=0.05$) was used to establish statistical differences. For the economic analysis proposed by CIMMYT (1988) method was used. Fertilizer costs (\$kg⁻¹ of nourishment: N= \$21.95; P= \$19.5; K= \$14.83) were considered, cost of labour (\$3 010 00 ha), manual cutting cost (\$136.07); moving costs (\$65.00 t) and the price per ton of cane (\$776.99) for the year 2011.

The Figure 1 shows that in the period of the experiment, after the application of treatments, precipitation was 1 685 mm, mainly in the months of July to September 2010, which met the crop water requirements; this period coincides with the maturation stage of the crop. Temperatures during the growing period were averaged 32 and 17 °C as maximum

K= \$14.83), costo de labores (\$3 010 00 ha), costo de corte manual (\$136.07); flete (\$65.00 t) y el precio por tonelada de caña (\$776.99) correspondiente al año 2011.

En la Figura 1 se observa que en el periodo del experimento, a partir de la aplicación de los tratamientos, la precipitación fue de 1 685 mm, principalmente en los meses de julio a septiembre de 2010, lo cual satisfizo los requerimientos hídricos del cultivo; dicho período coincide con la etapa de maduración del cultivo. Las temperaturas durante el periodo de crecimiento fueron en promedio de 32 y 17 °C como máxima y mínima respectivamente, las cuales se consideran favorables para el cultivo (Moore y Botha, 2014). Con estas condiciones de temperatura y humedad en el suelo, de manera general la planta mostró un buen crecimiento y un desarrollo normal.

En el Cuadro 1 se presentan los resultados del análisis de varianza de las diferentes variables en estudio. Los tratamientos de fertilización tuvieron un efecto significativo ($p < 0.05$) en las variables estudiadas, excepto para °Brix. Las variedades respondieron a los tratamientos de fertilización NPK, pero no en rendimiento. Los coeficientes de variación (CV) fueron menores a 11%. Estos resultados confirman la necesidad de aplicar fertilizantes como una opción de incrementar el rendimiento de caña, como lo señalan Palma-López *et al.* (2000); Salgado *et al.* (2001) y Gopalasundaram *et al.* (2012). La respuesta en la interacción tratamiento x variedad indica que la dosis de fertilización está en función de la variedad.

Cuadro 1. Efecto de la aplicación combinada de N, P y K en dos variedades de caña de azúcar en diferentes variables de la planta, calidad del jugo y rendimiento bajo secano en el sur de Tamaulipas.

Table 1. Effect of combined application of N, P and K in two varieties of sugarcane in different variables of the plant, juice quality and low yield in rainfed in southern Tamaulipas.

Fuentes de variación	Longitud de tallos molederos (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Longitud de entrenudos (cm)	°Brix	Rendimiento (Mg ha ⁻¹)
Tratamientos	1764.549***	4.173413*	4.524791*	2.039167ns	1352.5776***
Variedades	29447.11538***	23.75087**	14.2524*	39.139***	269.7716ns
Trat x Var	1212.178***	1.2719ns	4.4568*	4.1030***	303.10955***
N	2425.816***	10.0401*	9.0208**	3.5677*	2422.8515***
P	2444.792***	1.526ns	3.3816ns	0.2855ns	287.8254*
K	455.625ns	0.7727ns	2.0263ns	2.7038ns	259.2678*
NP	1764.0*	4.1514ns	4.0ns	4.0502ns	368.64*
NK	1764.0*	0.6202ns	1.6256ns	0.0002ns	326.7056*
PK	1722.25*	0.0352ns	1.0506ns	0.0564ns	4176.3906***
NPK	420.25ns	0.5077ns	0.7225ns	0.1139ns	573.6025**
CV (%)	7.06	4.95	10.61	4.41	8.56
Media	230.71	28.61	13.81	24.88	97.60

*, **, *** significativo a $p < 0.05$, 0.01 y 0.001 respectivamente; ns= no significativo a $p > 0.05$

and minimum respectively, which are favourable for growing (Moore and Botha, 2014). With these conditions of temperature and soil moisture, the plant generally showed good growth and normal development.

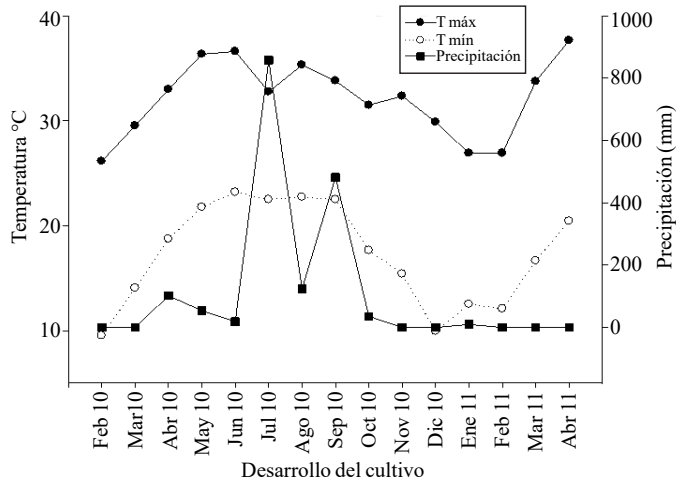


Figura 1. Precipitación y temperaturas máximas y mínimas durante el periodo de desarrollo del cultivo de la caña de azúcar. 2010-2011.

Figure 1. Precipitation and maximum and minimum temperatures during the development of the cultivation of sugarcane. 2010-2011.

The Table 1 shows the results of analysis of variance of the different variables under study are presented. The fertilization treatments had a significant effect ($p < 0.05$) in the studied variables, except for °Brix. The

La altura de planta es muy importante en la producción de la caña de azúcar y en el proceso de selección de nuevas variedades. La altura de la planta, expresada como la longitud de tallos molederos (LTM) se presenta en el Cuadro 2, la cual muestra que el tratamiento T6 ($N_1P_1K_3$) tuvo la máxima y el tratamiento T1 ($N_0P_0K_0$) tuvo la mínima longitud de tallos molederos; esta respuesta representó un incremento de 25%. El incremento en la longitud de tallos molederos (4-25%) como resultado de la aplicación de los tratamientos (NPK), también fue consecuencia del incremento en el diámetro del tallo (9-11%) y la longitud de los entrenudos (9-23%) dependiendo de esto del tratamiento y la variedad.

varieties responded to NPK fertilization treatments but not in yield. The coefficients of variation (CV) were less than 11%.

These results confirm the need for fertilizers as an option to increase the yield of sugarcane, as indicated by Palma-López *et al.* (2000); Salgado *et al.* (2001) and Gopalasundaram *et al.* (2012). The response to treatment x variety interaction indicates that fertilization depends on the variety.

Plant height is quite important in the production of sugarcane and the selection of new varieties. The plant height, expressed as the length of crushing stems (LTM) is

Cuadro 2. Efecto de la aplicación combinada de tratamientos de NPK en caña de azúcar bajo secano en el rendimiento y otras variables en el sur de Tamaulipas.

Table 2. Effect of combined application of NPK treatments in sugarcane under rainfed yield and other variables in southern Tamaulipas.

Número de Tratamiento	Tratamiento NPK	Longitud de tallos molederos (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Longitud de entrenudos (cm)	°Brix	Rendimiento (Mg ha ⁻¹)
1	$N_0P_0K_0$	198.6 c	26.6 b	11.9 b	25.9 a	66.1 e
2	$N_1P_1K_1$	236.3 a	28.5 ab	14.6 a	24.3 a	112.2 a
3	$N_3P_1K_1$	246.1 a	29.0 ab	14.4 a	25.2 a	110.1 a
4	$N_1P_3K_1$	207.4 bc	28.9 ab	14.4 a	24.8 a	104.3 ab
5	$N_3P_3K_1$	228.0 ab	28.0 ab	13.7 ab	24.6 a	81.4 d
6	$N_1P_1K_3$	248.3 a	29.0 ab	13.3 ab	24.8 a	93.8 bcd
7	$N_3P_1K_3$	226.9 ab	28.7 ab	14.2 ab	25.6 a	89.5 cd
8	$N_1P_3K_3$	229.9 ab	29.1 a	14.1 ab	25.1 a	106.3 ab
9	$N_3P_3K_3$	239.8 a	28.2 ab	13.6 ab	25.0 a	104.4 ab
10	$N_2P_2K_2$	239.8 a	29.2 a	14.0 ab	25.0 a	102.5 abc
11	$N_4P_2K_2$	228.8 ab	28.5 ab	14.4 a	24.6 a	96.4 bc
12	$N_2P_4K_2$	223.1 abc	29.5 a	13.0 ab	24.4 a	107.5 ab
13	$N_2P_2K_4$	246.5 a	28.6 ab	14.2 ab	24.2 a	93.7 bcd

En columnas, letras iguales indican no diferencias entre tratamientos (Tukey, 0.05).

Esto confirma que la dosis óptima de NPK estará en función del tipo de suelo y la variedad (Palma-López *et al.*, 2001; Salgado-García *et al.*, 2011). Sin embargo, esto sugiere la necesidad de continuar con esta investigación en la zona cañera del sur de Tamaulipas. La longitud de tallos molederos fue incrementada hasta 19% por incrementos en la aplicación de N desde el nivel 0 ($N_0P_0K_0$) hasta el nivel 1 ($N_1P_nK_n$) de manera significativa ($p < 0.05$), pero incrementos mayores de N no fueron significativamente diferentes ($p > 0.05$) al nivel 1.

Respuestas similares a incrementos en las dosis de N fueron reportadas por Muchovej y Newman (2004); Madhuri *et al.* (2011); Saleem *et al.* (2012) y McCray *et al.* (2014). Para el efecto del P, el nivel 1 ($N_nP_2K_n$) mostró una longitud de tallos

presented in Table 2, which shows that the T6 ($N_1P_1K_3$) had the highest and treatment T1 ($N_0P_0K_0$) had the minimum length of crushing stems; this response represented an increase of 25%. The increase in the length of crushing stems (4-25%) resulting from the application of treatments (NPK) was also a result of increased stem diameter (9-11%) and internode length (9-23%) depending on this treatment and variety.

This confirms that, the optimal dose of NPK will depend on soil type and variety (Palma-López *et al.*, 2001; Salgado-García *et al.*, 2011). However, this suggests the need to continue this research in sugarcane area of southern Tamaulipas. The length of crushing stems was increased to

molederos significativamente más alta ($p < 0.05$) que el nivel 0 ($N_0P_0K_0$) y similar al nivel 2 ($N_nP_2K_n$). La aplicación de K en sus diferentes niveles incrementaron significativamente ($p < 0.05$) la longitud de tallos molederos, pero dentro de los niveles no existieron diferencias significativas, por lo que se asume que el mejor nivel de K fue el nivel 1 ($N_nP_nK_1$) con un incremento de 16% en relación al nivel 0 ($N_0P_0K_0$).

Los diferentes tratamientos de fertilización no modificaron significativamente la calidad del jugo de la caña de azúcar ($^{\circ}$ Brix) al momento de la cosecha. La respuesta en la calidad del jugo de la caña también fue observado por Salgado-García *et al.* (2000), aunque Xu *et al.* (2010) encontraron que a altas dosis de N, P y K sí hubo un incremento significativo en la calidad del jugo. Los datos del Cuadro 2 muestran que el rendimiento de caña más bajo (66.1 Mg ha^{-1}) fue en el tratamiento $N_0P_0K_0$ (testigo) el cual es muy similar al promedio del ingenio San Miguel del Naranjo en la zafra 2012-2013 de 69 Mg ha^{-1} (Cañeros, 2014). Diferentes niveles de N, P y K tuvieron un efecto muy variado sobre el rendimiento de caña.

El rendimiento más alto fue observado en el tratamiento $N_1P_1K_1$ con 112.2 Mg ha^{-1} y difiere significativamente de otros tratamientos y mejora el rendimiento de caña en 41% comparado con el tratamiento $N_0P_0K_0$ y difiere del tratamiento recomendado por el ingenio San Miguel del Naranjo (7 %) ($N_3P_3K_3$). Esto significa que la dosis recomendada no fue la más adecuada para la producción de caña de azúcar, por lo que es necesario continuar con la investigación en esta zona de Tamaulipas y definir las dosis óptima y económica por tipo de suelo y para cada variedad. Situaciones similares en la respuesta a la fertilización han sido observadas en otras investigaciones (Salgado *et al.*, 2003).

Las dos variedades de caña mostraron un rendimiento estadísticamente similar ($p > 0.05$) en su respuesta a la fertilización con N (Cuadro 3). Se observaron incrementos significativos del rendimiento a dosis crecientes de N hasta 103 kg ha^{-1} (104.2 Mg ha^{-1}), mientras que a dosis mayores el rendimiento tiende a disminuir. El tratamiento de fertilización con la dosis 103-41-46 presentó el mayor rendimiento de caña de azúcar superando al testigo sin fertilizante en 70% y al tratamiento 120-60-70, recomendada por el ingenio San Miguel del Naranjo 7%. El mejor tratamiento de fertilización satisfizo los requerimientos de ambas variedades ya que a dosis muy altas, la respuesta de las plantas fue una disminución. Sin embargo, Muchovej y Newman (2004) indican que con dosis superiores a 170

19% by increases in N application from level 0 ($N_0P_0K_0$) to level 1 ($N_1P_nK_n$) significantly ($p < 0.05$) but higher increases in N were not significantly different ($p > 0.05$) at level 1.

Similar responses to increases in N rates were reported by Muchovej and Newman (2004); Madhuri *et al.* (2011); Saleem *et al.* (2012) and McCray *et al.* (2014). For the effect of P, level 1 ($N_nP_2K_n$) showed a significantly higher length on crushing stems ($p < 0.05$) than the level 0 ($N_0P_0K_0$) and similar to level 2 ($N_nP_2K_n$). The application of K at different levels increased significantly ($p < 0.05$) on crushing length stems, but within levels no significant differences, so it is assumed that the best level of K was level 1 ($N_nP_nK_1$) with an increase of 16% over the level 0 ($N_0P_0K_0$).

The different fertilization treatments did not significantly modify the quality of cane juice sugar ($^{\circ}$ Brix) at the time of harvest. The answer in the quality of cane juice was also observed by Salgado-García *et al.* (2000); although, Xu *et al.* (2010) found that high doses of N, P and K itself had a significant increase in the quality of the juice. Data in Table 2 shows that, the lowest cane yield (66.1 Mg ha^{-1}) was in treatment $N_0P_0K_0$ (control) which is quite similar to the average of engenho San Miguel del Naranjo in the harvest 2012 -2013 of 69 Mg ha^{-1} (Cañeros, 2014). Different levels of N, P and K had a varied effect on yield of sugarcane.

The highest yield was observed in treatment $N_1P_1K_1$ with 112.2 Mg ha^{-1} differing significantly from other treatments and cane improves yield by 41% compared to treatment $N_0P_0K_0$ and differs from treatment recommended by engenho San Miguel del Naranjo (7%) ($N_3P_3K_3$). This means that, the recommended dose was not adequate for the production of sugarcane, so it is necessary to continue research in this area of Tamaulipas and define the optimal dose and economical soil type and for each variety. Similar situations in response to fertilization have been observed in other studies (Salgado *et al.*, 2003).

Both varieties of sugarcane showed a statistically similar yield ($p > 0.05$) in its response to N fertilization (Table 3). Significant yield increases with increasing doses of N were observed up to 103 kg ha^{-1} (104.2 Mg ha^{-1}), while at higher doses yield tends to decrease. Fertilization treatment dose 103-41-46 had the highest yield of sugarcane outperforming the control treatment in 70% and treatment 120-60-70 recommended by engenho San Miguel del Naranjo 7%. The best fertility treatment met the requirements of both varieties because at very high doses, the response of plants

kg ha⁻¹ no hubo incrementos en biomasa y rendimiento de sacarosa. Por otra parte, el efecto del fósforo tuvo una respuesta significativa a una dosis de 69 kg ha⁻¹ (107.5 Mg ha⁻¹), aunque similar a la dosis de 41 kg ha⁻¹ (101.4 Mg ha⁻¹) lo que indica la posibilidad de considerar como aceptable el nivel 1 de fósforo. La variedad Mex 79-431 fue superior ($p < 0.05$) a CP 72-2086 en diámetro de tallo y °Brix pero con un rendimiento similar ($p > 0.05$).

Ambas variedades mostraron un comportamiento similar en su respuesta a la fertilización con K. Con la dosis de 46 kg ha⁻¹ se obtuvo el rendimiento máximo (102 Mg ha⁻¹) y con dosis mayores se observó que el rendimiento de campo fue similar a esta dosis o con una tendencia a disminuir. El análisis económico de los tratamientos de fertilización indica que para la dosis 103-41-46 que produjo el mejor rendimiento, se encontró una tasa de retorno al capital variable de \$1.85 y \$3.01 para las variedades CP 72-2086 y Mex 79-431 respectivamente, siendo en ambos casos la tasa de retorno más alta.

Conclusiones

Las variedades de caña de azúcar respondieron significativamente a la aplicación de las diferentes dosis de fertilizante. La dosis 103-41-46 produjo el rendimiento más alto, superando al testigo si fertilizar (70%) y al tratamiento 120-60-70 recomendado en la región (7%), siendo también la dosis óptima económica, lo que permitió incrementar el rendimiento sin disminuir la calidad del jugo de caña (°Brix).

Literatura citada

- Cañeros. 2014. Unión Nacional de Cañeros, A. C. CNPR: www.caneros.org.mx.
- CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: un manual metodológico de valuación económica. El Batán, Estado de México, D. F. 79 p.
- Franco, J. E. C. and Otto, R. 2011. Nitrogen in sugarcane derived from fertilizer under Brazilian field conditions. *Field Crops Res.* 121(1):29-41.
- Gopalsundaram, P.; Bhaskaran, A. and Rakkiyappan, P. 2012. Integrated nutrient management in sugarcane. *Sugar Tech.* 14(1):3-20.
- Lal, R. 2009. Soil quality impacts of residue removal for bioethanol production. *Soil Tillage Research.* 102:233-241.
- Madhuri, K.V. N.; Kumar, M. H. and Sarala, N. V. 2011. Influence of higher doses of nitrogen on yield and quality of early maturing sugarcane varieties. *Sugar Tech.* 13(1):96-98.

was reduced. However, Muchovej and Newman (2004) indicated that exceeding 170 kg ha⁻¹ per dose did not increase in biomass and yield of sucrose. Moreover, the effect of phosphorus had a significant response at a dose of 69 kg ha⁻¹ (107.5 Mg ha⁻¹); although, similar to the dose of 41 kg ha⁻¹ (101.4 Mg ha⁻¹) indicating the possibility of considering an acceptable level 1 phosphorus. The variety Mex 79-431 was higher ($p < 0.05$) CP 72-2086 in stem diameter and °Brix but with similar yield ($p > 0.05$).

Cuadro 3. Efecto de la aplicación combinada de NPK en dos variedades de caña de azúcar bajo secano en el rendimiento y otras variables en el sur de Tamaulipas.

Table 3. Effect of combined application of NPK on two sugarcane varieties under rainfed yield and other variables in southern Tamaulipas.

Variable	Mex 79-431	CP 72-2086
Longitud de tallos molederos (cm)	213.9 b	247.5 a
Diámetro de tallo (mm)	29.1 a	28.1 b
Longitud de entrenudos (cm)	13.4 b	14.2 a
°Brix	25.5 a	24.3 b
Rendimiento (Mg ha ⁻¹)	99.212 a	95.990 a

Medias de variedades con la misma letra son iguales (Tukey 0.05).

Both varieties showed a similar behaviour in response to fertilization K. At a dose of 46 kg ha⁻¹ the maximum yield was obtained (102 Mg ha⁻¹) and at higher doses was observed field yield was similar to this dose or a tendency to decrease. The economic analysis indicated that fertilization treatments 103-41-46 for the dose that produced the best yield, with a rate of return to variable capital of \$ 1.85 and \$ 3.01 for varieties CP 72-2086 and Mex 79-431 respectively, in both cases being higher return rate.

Conclusions

The varieties of sugarcane responded significantly to the application of different doses of fertilizer. The 103-41-46 dose produced the highest yield, surpassing the control if fertilization (70%) and treatment 120-60-70 recommended in the region (7%), and also the optimum economic dose, which allowed increasing yield without diminishing the quality of sugarcane juice (°Brix).

End of the English version



- Martínez, G. A. 1988. Diseños experimentales; Métodos y elementos de teoría. Primera edición. Ed. Trillas. México, D. F. 756 p.
- McCray, J. M.; Morgan, K. T.; Baucum, L. and Ji, S. 2014. Sugarcane yield response to nitrogen on sand soils. *Agron. J.* 106:1461-1469.
- Moore, P. H. and Botha, F. C. 2014. Sugarcane: Physiology, Biochemistry and Functional Biology. First Edition. John Wiley & Sons, Inc. Ames, Iowa, USA. 35-54 pp.
- Muchovej, R. M. and Newman, P. R. 2004. Nitrogen fertilization on a sandy soil: I. Yield and leaf mineral composition. *J. Am. Soc. Sugar Cane Technol.* 24:210-224.
- Palma-López, D. J.; Salgado, G. S.; Obrador, O. J. J.; Trujillo, N. A.; Lagunes, E. L. C.; Zavala, C. J.; Ruiz, B. A. y Carrera, M. M. A. 2000. Sistema integrado para recomendar dosis de fertilización en caña de azúcar (SIRDF). *Terra.* 20:347-358.
- Saleem, M. F.; Ghaffar, A.; Anjum, S. A.; Cheema, M. A. and Bilal, M. F. 2012. Effect of nitrogen on growth and yield of sugarcane. *J. Am. Soc. Sugar cane Technol.* 32:75-93.
- Salgado, G. S.; Núñez, E. R.; Peña, C. J. J.; Etchevers, B. J. D.; Palma, L. D. J. y Soto, R. M. 2001. Eficiencia de recuperación del nitrógeno fertilizante en soca de caña de azúcar sometida a diferentes manejos de fertilización. *Terra.* 19:155-162.
- Salgado-García, S.; Núñez-Escobar, R.; Peña-Cabriales, J. J.; Etchevers-Barra, J. D.; Palma-López, D. J. y Soto-Hernández, R. M. 2000. Respuesta de la caña de azúcar a la fertilización NPK. *Agrociencia.* 34:689-698.
- Salgado-García, S.; Palma-López, D. J.; Zavala-Cruz, J.; Lagunes-Espinoza, L. C.; Castelán-Estrada, M.; Ortiz-García, C. F.; Juárez-López, J.F.; Ruiz-Rosado, O.; Armida-Alcudia, L.; Rincón-Ramírez, J. A. y Córdoba-Sánchez, S. 2011. Un programa de fertilización sustentable para el ingenio "Presidente Benito Juárez" en Tabasco, México. *Avances en Investigación Agropecuaria.* 15(3):45-65.
- Salgado, S.; Núñez, M.; Peña, J. J.; Etchevers, J. D.; Palma, D. J. y Soto, R. M. 2003. Manejo de la fertilización en el rendimiento, calidad del jugo y actividad de invertasas en caña de azúcar. *Interciencia.* 28 (10):576-580.
- SAS Institute (2010) SAS/STAT User's guide: Version 9.2 SAS Institute, Inc. Cary, North Carolina, U.S.A. 1689 p.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera), SAGARPA. 2014. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>.
- Thorburn, P. A.; Webster, A. J.; Biggs, I. M.; Biggs, J. S.; Staunton, S. P. and Park, S. E. 2007. Systems to balance production and environmental goals of nitrogen fertilizer management. *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.* 26:302-309.
- Xu, L.; Huang, H. R.; Yang, L. T. and Li, Y. R. 2010. Combined application of NPK on yield quality of sugarcane applied through SSDI. *Sugar Tech.* 12(2):104-107.