

# PRODUCTIVIDAD DE LA CAÑA DE AZÚCAR POR RÉGIMEN HÍDRICO Y USO DE FERTILIZANTES EN SUELOS SOMEROS

Teresa M. Hernández-Mendoza y Arturo Galvis-Spinola

## RESUMEN

Se evaluó el efecto de la disponibilidad de humedad y manejo de la fertilización sobre la productividad de la caña de azúcar en la zona central del estado de Veracruz, México ( $18^{\circ}51'24''$  y  $19^{\circ}05'47''$ N;  $96^{\circ}26'52''$  y  $96^{\circ}48'25''$ O), en un área de  $1024\text{km}^2$  donde predominan suelos con  $<50\text{cm}$  de profundidad. La región se clasificó en cuatro ambientes, tres por su pluviometría anual (seca:  $1085\pm 258\text{mm}$ ; transicional:  $1517\pm 313\text{mm}$ ; y húmeda:  $2104\pm 390\text{mm}$ ) y una con riego. Para generar información del uso de fertilizantes, se elaboró una encuesta exprofeso y se aplicó a 500 agricultores que constituyen 20% del total en la zona de interés. En la parcela de cada uno de ellos se registró el ciclo de la caña y se midió su rendimiento, agrupando los resultados por ambiente hídrico.

El gradiente de lluvia fue significativo, pero no influyó en el uso de fertilizantes, ya que no hubo diferencias estadísticas en el nitrógeno ( $F_{3, 500}=0,67$ ;  $p<0,57$ ), fósforo ( $F_{3, 500}=2,13$ ;  $p<0,10$ ) o potasio ( $F_{3, 500}=0,45$ ;  $p<0,72$ ) aplicados, a consecuencia de que en toda la región se aporta la misma dosis de nutrientes por tonelada de caña ( $2,5\pm 1,1\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}\text{N}$ ;  $0,55\pm 0,31\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}\text{P}_2\text{O}_5$ ;  $1,01\pm 0,75\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}\text{K}_2\text{O}$ ) y fuente de fertilizante (20-05-25) sin importar el ciclo de producción o régimen hídrico. Esto explica la baja eficiencia en las toneladas de caña producidas por mm de lluvia (de  $17\text{mm}\cdot\text{t}^{-1}$  en la zona seca a  $25\text{mm}\cdot\text{t}^{-1}$  en la zona húmeda y riego), por lo que resulta indispensable promover un manejo de nutrientes acorde al ciclo de cultivo y las condiciones ambientales predominantes.

## Introducción

Las estadísticas oficiales en México (Infoazúcar, 2016) permiten inferir que la moleda bruta de caña ha crecido a razón de  $750000\text{t}$  anuales durante las 18 zafra más recientes a la fecha, pero sin mejorar el rendimiento ( $70,7\pm 4,0\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$  en promedio). Por ello, la producción se atribuye al aumento de la superficie cañera nacional en  $10400\text{ha}$  cada año, en el que el estado de Veracruz contribuyó con una tasa de  $51000\text{ha}$  nuevas por zafra, donde 72% es de secano y 28% de riego (Oeídrus, 2014).

Las plantaciones cañeras en secano son más vulnerables a las condiciones climáticas y en particular a la lluvia (Ibarra *et al.*, 2015), porque el estrés hídrico es de los factores que más limitan al cultivo (Inman y Smith, 2005). Su

impacto varía según el estadio de desarrollo de la caña de azúcar, siendo más severo cuando está totalmente establecido el dosel que cuando coincide en sus primeras etapas de crecimiento (Robertson *et al.*, 1999). Durante la escasez de agua se reduce la tasa de crecimiento del follaje, se acelera la senescencia foliar y disminuye la producción de materia seca y sacarosa (Lopes *et al.*, 2011). La manifestación de la falta de agua inicia con la disminución de la conductancia estomática, lo que provoca menor tasa de asimilación de  $\text{CO}_2$  (Du *et al.*, 1996). Si continúa esta situación, mermará la actividad de diversas enzimas (Du *et al.*, 1996) hasta incluso inhibir la fotosíntesis (Ghannoum, 2009). En contraste, cuando el estrés hídrico ocurre durante la madurez es posible que se incremente el contenido de

azúcar en los tallos, pero si se prolonga ocasionará el efecto adverso (Robertson *et al.*, 1999).

Según Martin *et al.* (2007) el requerimiento hídrico varía de  $10$  a  $12\text{mm}\cdot\text{t}^{-1}$  de caña, lo que conlleva a una extracción considerable de nutrientes (Singh *et al.*, 2007). Esto ha obligado a emplear fertilizantes sintéticos para proveer aquellos elementos que demanda el cultivo cuando el suelo no es capaz de hacerlo en tiempo y forma; sin embargo, de acuerdo con Garside *et al.* (2005), cuando se procede sin prevenir el deterioro del suelo, se corre el riesgo de abatir el rendimiento del cultivo o de ocasionar problemas de contaminación (Landeros *et al.*, 2016). Por ello, se ha considerado al medio edáfico como otro factor principal que limita la producción (Singh *et al.*, 2007) e

incluso Sánchez *et al.* (2002) aseveran que el suelo afecta más a la caña de azúcar que la precipitación pluvial. También hacen énfasis en la relevancia de los aspectos edafológicos Palma *et al.* (2002) y Salgado *et al.* (2008), quienes proponen incluso ajustar las dosis de fertilizante por tipo de suelo en las áreas de abasto de los ingenios azucareros de la zona sur de México.

Es posible resolver la escasez de edulcorantes a corto plazo cuando se elige incrementar su producción mediante la disposición de más superficie agrícola, pero si no se prevé su impacto sobre la conservación de los recursos, ocasionará el deterioro de los ecosistemas y de la biodiversidad (Totten *et al.*, 2003). Como alternativa está el emplear prácticas de manejo eficaces que repercutan sobre la

## PALABRAS CLAVE / Manejo Nutricional / Precipitación / Rendimiento en Socas / *Saccharum officinarum* /

Recibido: 11/04/2016. Modificado: 02/03/2017. Aceptado: 06/03/2017.

**Teresa M. Hernández-Mendoza.** Doctora en Ciencias en Edafología, Colegio de Postgraduados (COLPOS), México. Profesora Investigadora, Uni-

versidad Autónoma Chapingo (UACH), México Dirección: Departamento de Irrigación, UACH. Km 38,5 Carretera México- Texcoco, Texcoco, Estado de Mé-

xico, CP 56230, México. e-mail: teresa\_hdz 2004@yahoo.com  
**Arturo Galvis-Spinola.** Doctor en Ciencias en Edafología, COLPOS, México. Profesor

Investigador, COLPOS, México. Dirección: km 35,5 Carretera México. Texcoco, Estado de México, CP 56230. e-mail: galvis@colpos.mx

## PRODUCTIVITY OF SUGARCANE BY WATER REGIME AND FERTILIZERS USED IN SHALLOW SOILS

Teresa M. Hernández-Mendoza and Arturo Galvis-Spinola

### SUMMARY

The effect of moisture availability and fertilization management on the productivity of sugarcane was evaluated in the central area of the state of Veracruz, Mexico (18°51'24" and 19°05'47"N; 96°26'52" and 96°48'25"W), in an area of 1024km<sup>2</sup> where dominated soils with less than <50cm deep predominate. The region was classified in four environments, three by annual rainfall (dry: 1085 ±258mm, transitional: 1517 ±313mm and wet: 2104 ±390mm) and another one where irrigation was applied. To generate information about fertilizer use, a survey was developed and applied to 500 farmers, who constitute 20% of the total in the area of interest. On the plot of each one, cycle cane it was recorded and its performance was measured by grouping the results

for water environment. The rainfall gradient was significant, but this did not influence fertilizer use, since there were no statistical differences in nitrogen ( $F_{3, 500}=0.67$ ;  $p<0.57$ ), phosphorous ( $F_{3, 500}=2.13$ ;  $p<0.10$ ) or potassium ( $F_{3, 500}=0.45$ ;  $p<0.72$ ) applied, which is a consequence of that throughout the region the same dose of nutrients is provided per ton of cane ( $2.5\pm 1.1\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}\text{N}$ ;  $0.55\pm 0.31\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}\text{P}_2\text{O}_5$ ;  $1.01\pm 0.75\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}\text{K}_2\text{O}$ ) and fertilizer source (20-05-25) regardless of the production cycle or water regime. This explains the low efficiency in tons of cane produced by mm of rain ( $17\text{mm}\cdot\text{t}^{-1}$  in the dry zone and  $25\text{mm}\cdot\text{t}^{-1}$  in the wet area), so it is essential to promote nutrient management according to the crop cycle and the prevailing environmental conditions.

## PRODUCTIVIDADE DA CANA DE AÇÚCAR EM REGIME HÍDRICO E USO DE FERTILIZANTES EM SOLOS RASOS

Teresa M. Hernández-Mendoza e Arturo Galvis-Spinola

### RESUMO

Foi avaliado o efeito da disponibilidade de umidade e manejo da fertilização sobre a produtividade da cana de açúcar na região central do estado de Veracruz, México (18°51'24" e 19°05'47"N; 96°26'52" e 96°48'25"O), em uma área de 1.024km<sup>2</sup> onde predominam solos com profundidade < 50cm. A região foi classificada em quatro ambientes, três segundo sua pluviometria anual (seco: 1085±258mm; transicional: 1517±313mm; e úmido: 2104±390mm) e um com irrigação. Para gerar informação do uso de fertilizantes, foi manifestamente elaborada uma pesquisa e aplicada em 500 agricultores que constituem 20% do total na área de interesse. Na área de terreno de cada um deles foi registrado o ciclo da cana e foi medido seu rendimento, agrupando os resultados por ambien-

te hídrico. O gradiente de chuva foi significativo, mas não influenciou no uso de fertilizantes, devido a que não houve diferenças estatísticas no nitrogênio ( $F_{3, 500}=0,67$ ;  $p<0,57$ ), fósforo ( $F_{3, 500}=2,13$ ;  $p<0,10$ ) ou potássio ( $F_{3, 500}=0,45$ ;  $p<0,72$ ) aplicados, com a consequência de que em toda a região se aplica a mesma dose de nutrientes por tonelada de cana ( $2,5\pm 1,1\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}\text{N}$ ;  $0,55\pm 0,31\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}\text{P}_2\text{O}_5$ ;  $1,01\pm 0,75\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}\text{K}_2\text{O}$ ) e fonte de fertilizante (20-05-25) sem importar o ciclo de produção ou regime hídrico. Isto explica a baixa eficiência nas toneladas de cana produzidas por mm de chuva (de  $17\text{mm}\cdot\text{t}^{-1}$  na zona seca a  $25\text{mm}\cdot\text{t}^{-1}$  na zona úmida e com irrigação), então resulta indispensável promover um manejo de nutrientes de acordo com o ciclo de cultivo e as condiciones ambientais predominantes.

rentabilidad agrícola sin afectar al ambiente (Singh *et al.*, 2007). Por ello, el objetivo de esta investigación fue evaluar la productividad de la caña de azúcar cultivada en secano en la zona central del estado de Veracruz, en tres distintas condiciones de pluviometría y una zona con riego como referencia, donde se plantea que además de la disponibilidad de humedad, el manejo de la fertilización es un factor adicional que pudiese limitar el éxito de las plantaciones cañeras.

### Materiales y Métodos

El estudio se llevó a cabo en la zona central del estado de

Veracruz, México, entre las coordenadas: 18°51'24" y 19°05'47"N; y 96°26'52" y 96°48'25"O, en una extensión territorial de 1024km<sup>2</sup>, cuyo nivel de aptitud cañera varía de acuerdo con Aguilar (2014) de media a baja en 70 y 30% del área, respectivamente. Para delimitar zonas razonablemente homogéneas por su precipitación pluvial se usaron los registros históricos de la precipitación total anual captada en la región evaluada (Tabla I) y con ello se definió un gradiente de humedad (Figura 1).

Como el conocimiento local es una herramienta que permite evaluar la problemática técnica de una región (Sánchez

*et al.*, 2002; Ramburan *et al.*, 2011), se elaboró una encuesta para captar la percepción del agricultor preguntando la cantidad aplicada de nitrógeno, fósforo y potasio, así como las fuentes de fertilizantes empleadas. Con base en su motivación para participar en la encuesta, se seleccionaron 490 cañeros. Aunque las condiciones de producción son de secano, hay algunos aprovechamientos hídricos que se utilizan para aplicar riegos de auxilio, por lo que a manera de referencia, se incluyó a 10 cañeros más que cultivan en dichas circunstancias, lo que dio una muestra total de 500 individuos, que abarcó al 20% de

los productores de la zona de interés.

La superficie de cada terreno es de  $5,6 \pm 3,4\text{ha}$  en promedio (62% ejidal y 38% pequeña propiedad). El suelo es arcilloso en 92% de los casos y 84% tiene piedras en alguna parte del perfil, cuya profundidad efectiva es de  $39,7 \pm 13,6\text{cm}$ . La variedad CP 72-2086 es la más frecuentemente utilizada y en 192 sitios estuvo en plantilla, en 176 en soca y 436 en resoca. Estas cifras no coinciden con el total de productores considerados porque en el momento del estudio 55,8% mantenían solo un ciclo y en otros casos había dos o más ciclos del cultivo de manera simultánea en la misma

TABLA I  
NOMBRE, CLAVE, COORDENADAS, AÑOS DE OBSERVACIÓN, PROMEDIO DE LA PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL (PP) DE LAS ESTACIONES CLIMÁTICAS UBICADAS EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA ZONA CAÑERA EN ESTUDIO Y COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV)

Nombre de la estación	Clave	Longitud Oeste (grados)	Latitud Norte (grados)	Tiempo (años)	PP (mm)	CV (%)
Villa Tejada	30364	-96,583	19,000	10	960	17,0
Acazonica, Paso de Ovejas	30002	-96,583	19,217	27	1044	22,6
El Coyal, Comapa (CFE)	30047	-96,700	19,117	36	1105	23,9
Paso Del Macho	30225	-96,717	18,967	11	1131	25,7
Campto. I. C.	30295	-96,533	18,967	7	1244	26,0
San Alejo, Paso del Macho	30145	-96,767	18,933	8	1432	15,7
Mata Tenatito, Omealca	30105	-96,650	18,733	24	1545	21,8
Amatitla, Axocuapan	30010	-96,583	19,217	14	1978	14,7
Ejido La Defensa	30296	-96,600	19,250	11	2162	26,1
Santa Anita, Atoyac	30155	-96,800	18,933	17	2171	14,6

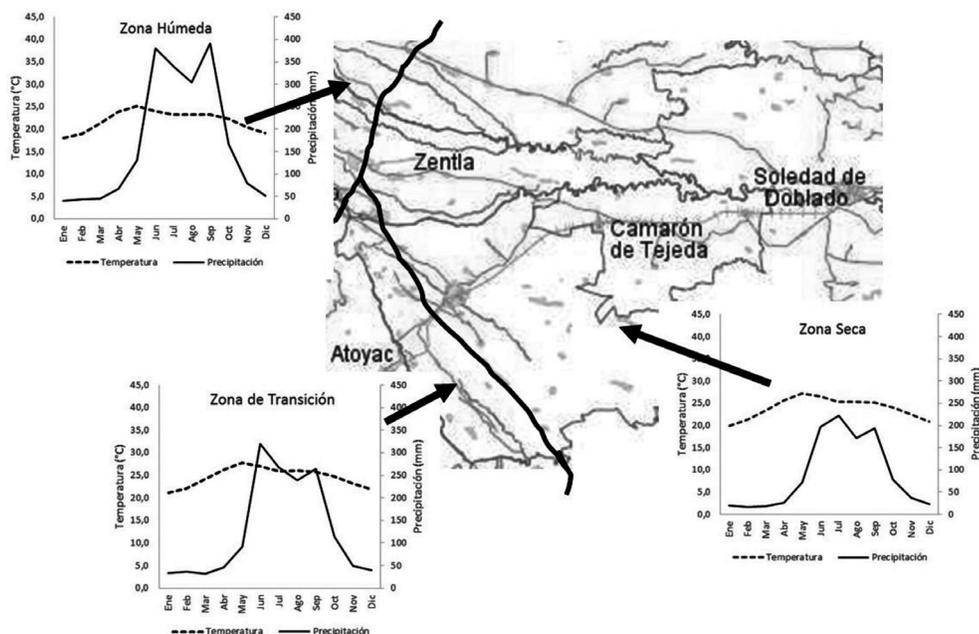


Figura I. Área de abasto del ingenio azucarero Central Progreso en Veracruz, México, los municipios que abarcó este estudio, así como las tres zonas de humedad identificadas con su correspondiente climograma de Thornthwaite. El mapa base se tomó de INEGI (2017).

parcela (30,2% con dos ciclos y 14% con tres ciclos). Cabe agregar que 9,8% de los productores conservan la caña durante cinco ciclos; 12,7% en seis, 22,3% en siete y 55,2% en ocho o más ciclos. En cada una de las 500 parcelas se midió el rendimiento de caña *in situ*. La información obtenida en campo (rendimientos y ciclo actual) y de las encuestas realizadas (sobre uso y manejo de los fertilizantes) se agrupó según la condición de humedad donde se ubicó cada terreno en el área de abasto del Ingenio Central Progreso.

TABLA II  
COMPARACIÓN DEL PROMEDIO DE LA PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL (mm) ENTRE ESTACIONES †

	Clave de las estaciones climáticas del área de estudio (Ver Tabla I)									
	30002	30364	30047	30225	30295	30105	30145	30155	30296	30010
30002	--	363	250	351	416	275	395	303	351	323
30364	84	--	350	428	483	369	465	391	428	406
30047	61	146	--	338	405	258	383	288	338	309
30225	87	171	26	--	474	357	455	379	418	395
30295	199	284	138	113	--	421	507	440	474	454
30105	501*	585*	440*	414*	301	--	400	311	357	330
30145	388	472*	327	301	188	113	--	420	455	434
30155	1127*	1211*	1066*	1040*	928*	626*	739*	--	379	354
30296	1118*	1202*	1057*	1031*	918*	617*	730*	9	--	395
30010	934*	1018*	873*	847*	734*	433*	546*	193	184	--

† Los números en la parte superior derecha representan las diferencias mínimas significativas de la prueba Tukey-Kramer ( $P < 0,05$ ). En la parte inferior se presenta el valor absoluto de la diferencia de las medias entre cada par, si es significativamente diferente se indica con asterisco.

Se calcularon las medidas de tendencia central de las variables estudiadas (precipitación pluvial, rendimientos en plantilla, soca y resoca, fuente de fertilizante y nutrientes aplicados). Para evaluar el tipo de fertilizante empleado por zona climática del área cañera de interés se empleó la prueba de la bondad de ajuste (Sokal y Rohlf, 1994) y con el análisis de varianza se probó la tendencia de las variables en los ambientes considerados y se compararon las diferencias de las medias por pares ( $\alpha = 0,05$ ) a través del método de Tukey-Kramer (Zar, 2010).

## Resultados y Discusión

La comparación de la precipitación total anual promedio registrada entre las diez estaciones climáticas fue significativamente heterogénea ( $F_{9,165} = 36,962$ ;  $p < 0,001$ ), lo que indica que existe un gradiente de humedad notorio, cuyas diferencias estadísticas se presentan en la Tabla II.

Las diferencias estadísticas en el volumen que precipita anualmente en la región en estudio permitió delimitar la variación de la lluvia en tres zonas climáticas, las cuales fueron i) zona seca:  $1085 \pm 25$ mm (estaciones 30002, 30364, 30047, 30225 y 30295); ii) zona de transición:  $1517 \pm 313$ mm (estaciones 30105 y 30145); y iii) zona húmeda:  $2104 \pm 390$ mm (estaciones 30155, 30296 y 30010).

Con base en el análisis de la distribución de la lluvia y por las condiciones de secano en que se cultiva la caña de azúcar en la región, es de esperarse que también existan diferencias en el rendimiento del cultivo (Tabla III).

La comparación del rendimiento promedio por ciclo de la caña de azúcar entre zonas climáticas fue significativamente heterogénea para plantilla ( $F_{3, 192}=7,3$ ;  $p<0,001$ ), soca ( $F_{3, 176}=7,4$ ;  $p<0,001$ ) y resoca ( $F_{3, 436}=6,5$ ;  $p<0,001$ ), cuyas diferencias se muestran en la Tabla IV.

Los rendimientos de la caña de azúcar cambian en razón directa al gradiente de humedad en la que se ubica cada parcela, donde los promedios de lluvia total anual y rendimiento en plantilla son: riego =zona húmeda (2104mm y 83t·ha<sup>-1</sup>) >zona de transición =zona seca (1301mm y 74,5t·ha<sup>-1</sup>). La tendencia anterior coincide con lo señalado por diversos autores, ya que según Ramburan *et al.* (2011), la variación genotipo × ambiente es explicada por la precipitación pluvial de una región, porque la producción de

caña de azúcar es función de la disponibilidad de agua (Wiedenfeld, 2000). En riego, Méndez (2012) considera que el rendimiento de la caña de azúcar aumenta si se suspende el mismo de 45 a 60 días antes de su cosecha. Sin embargo, hay discrepancias en los valores del volumen de agua requerido para este cultivo, ya que Dabrowski *et al.* (2009) reportan que la planta consume 1252mm de agua durante todo su ciclo, mientras que Goldemberg *et al.* (2008) indican entre 1500 y 2500mm por año, con lo cual podría suponerse que la zona seca en el área cañera en evaluación no sería viable para la producción de caña de azúcar; pero esto es discutible, ya que en regiones como el sur de Asia se producen en promedio 60t·ha<sup>-1</sup> en 4,2×10<sup>6</sup>ha (Singh *et al.*, 2007), cuyo gradiente de lluvia anual fluctúa de 775 a 2160mm del noroeste al noreste de la India, respectivamente (Sontakke *et al.*, 2008).

Las diferencias en rendimiento son más evidentes al comparar la productividad por ciclo en las plantaciones evaluadas, porque la comparación

del promedio de la producción del cultivo sin distinción de la zona climática resultó significativamente heterogénea ( $F_{2, 804}=246,802$ ;  $p<0,001$ ), de tal manera que las diferencias absolutas de las medias de cada par fueron mayores que el valor mínimo significativo de la prueba Tukey-Kramer ( $p<0,05$ ), donde:  $\text{plantilla} > \text{soca} = 16,4\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ;  $\text{plantilla} > \text{resoca} = 20,6\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ; y  $\text{soca} > \text{resoca} = 4,3\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . En adición a lo anterior, todo indica una productividad baja en la zona de estudio puesto que es viable alcanzar eficiencias de 10 a 12mm·t<sup>-1</sup> (Martin *et al.*, 2007) o incluso 8mm·t<sup>-1</sup> (Stone *et al.*, 2010), cifras muy alejadas de las observadas en este estudio porque en el ciclo plantilla se calculó 17mm·t<sup>-1</sup> para la zona seca y 25mm·t<sup>-1</sup> en la zona húmeda, que es donde se observó el mayor rendimiento.

En la zona cañera evaluada, 65% de los productores usan únicamente la fórmula de fertilizante 20-05-25 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O), lo que equivale a una aplicación en promedio de 122 ±22, 31 ±6 y 31 ±6kg·ha<sup>-1</sup> de N, P y K. El resto de los agricultores (35%) la complementan con

otra fuente o modifican el insumo en su totalidad aportando 195 ±66kg·ha<sup>-1</sup> de N, 36 ±28 kg·ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 107±33kg·ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, lo cual es coincidente con los resultados reportados por Moreno *et al.* (2016) para la zona central de Veracruz. Cuando se generaliza el uso de fórmulas de fertilizantes para una región, como en el caso actual, puede convenir desde el punto de vista económico por su facilidad en el acopio y distribución, pero en el aspecto técnico se limita la versatilidad para aportar los nutrientes que se amerite en cada caso. Para verificar lo anterior, se evaluó el criterio para decidir el uso del material fertilizante y si se modifica por la zona climática donde se ubica cada terreno (Tabla V).

La hipótesis nula es que el número de observaciones en cada situación es igual al que se tiene en toda la zona cañera. La diferencia de la relación observada no fue significativa en ningún caso, por lo que se rechaza la hipótesis alterna, esto es, el gradiente de humedad no influye en la decisión del agricultor para elegir la fuente del fertilizante que emplea en su plantación, ya que las decisiones técnicas sobre el uso de fertilizantes en las áreas de abasto de los ingenios azucareros en México suelen quedar supeditadas a razones de índole económica y de ahí la escasa diversidad en las fuentes empleadas, situación que corrobora lo que ya habían mencionado Salgado *et al.* (2003). En la Tabla VI se reporta el promedio de las dosis de nutrientes aplicados en el área de estudio.

La variación de la cantidad de nutrientes aplicados por zona climática no fue estadísticamente diferente para nitrógeno ( $F_{3, 500}=0,67$ ;  $p<0,57$ ), fósforo ( $F_{3, 500}=2,13$ ;  $p<0,10$ ) y potasio ( $F_{3, 500}=0,45$ ;  $p<0,72$ ). Más aún, los productores emplean la misma dosis de fertilizante, independientemente del ciclo de la caña de azúcar. Debido a que se observaron diferencias en el rendimiento entre zonas y ciclos del cultivo, se esperaba que también esto afectara la

TABLA III  
RENDIMIENTO PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR POR CICLO DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN CADA UNA DE LAS ZONAS CLIMÁTICAS ESTUDIADAS

Zona Climática	Plantilla		Soca		Resoca	
	n	Promedio (t·ha <sup>-1</sup> )	n	Promedio (t·ha <sup>-1</sup> )	n	Promedio (t·ha <sup>-1</sup> )
Riego	5	86,0 ±13,4	4	65,5 ±17,4	7	60,7 ±14,3
Húmeda	20	80,0 ±14,0	22	65,6 ±8,5	56	58,3 ±11,2
Transición	24	73,3 ±15,5	24	55,2 ±10,9	51	53,9 ±11,3
Seca	143	75,8 ±10,4	126	59,6 ±9,9	322	55,3 ±10,0

n= número de observaciones.

TABLA IV  
COMPARACIÓN DEL PROMEDIO DE RENDIMIENTO (t·ha<sup>-1</sup>) POR CICLO ENTRE ZONAS CLIMÁTICAS

	Plantilla				Soca				Resoca			
	H	T	S	R	H	T	S	R	H	T	S	R
H	--	9,2	7,6	15,7	--	7,5	5,9	13,9	--	4,4	3,2	8,7
T	12,7*	--	6,2	15,1	10,4*	--	5,7	13,8	5,9*	--	3,5	8,8
S	10,8*	1,8	--	14,2	6,0*	4,4	--	13,0	3,7*	2,1	--	8,3
R	4	16,7*	14,8*	--	9,4	19,8*	15,4*	--	4,7	10,6*	8,4*	--

H: zona húmeda, T: zona de transición, S: zona seca, R: riego. Los números en la parte superior derecha representan las diferencias mínimas significativas de la prueba Tukey-Kramer ( $P<0,05$ ). En la parte inferior se presenta el valor absoluto de la diferencia de las medias entre cada par, si es significativamente diferente se indica con asterisco.

TABLE V  
CANTIDAD DE AGRICULTORES QUE SOLO EMPLEAN LA MEZCLA DE FERTILIZANTE 20-05-25 (FI) RESPECTO A LOS QUE USAN OTRAS FUENTES (OF), YA SEA QUE COMPLEMENTEN LA FÓRMULA MENCIONADA O QUE LA MODIFIQUEN TOTALMENTE

Zona climática	Observados		Esperados*		Valor de P
	FI	OF	FI	OF	
Húmedo	37	29	42	24	0,250
Transición	37	18	35	20	0,675
Seco	236	133	234	135	0,829
Riego	7	3	6	4	0,756

\* Valores esperados de acuerdo con la prueba de bondad de ajuste.

relación de los kilogramos de nutriente aplicado por tonelada de caña producida (Tabla VII).

La comparación de la cantidad de nutrientes aplicados por tonelada de caña producida entre ciclos (plantilla, soca y resocas) por zona climática fue diferente estadísticamente para

nitrógeno ( $F_{11, 804}=8,04$ ;  $p<0,001$ ), fósforo ( $F_{11, 804}=5,92$ ;  $p<0,001$ ) y potasio ( $F_{11, 804}=1,87$ ;  $p=0,039$ ). Las medias que explican los resultados en comentario se presentan en la Tabla VIII.

Con el propósito de tener una referencia de la variación en la cantidad de nutrientes

TABLE VI  
PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA DOSIS DE NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO QUE SE APLICA A LA CAÑA DE AZÚCAR POR ZONA CLIMÁTICA ESTUDIADA

Zona climática	Nitrogeno aplicado		Fósforo aplicado		Potasio aplicado	
	n	kg·ha <sup>-1</sup>	n	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ; kg·ha <sup>-1</sup>	n	K <sub>2</sub> O; kg·ha <sup>-1</sup>
Húmeda	66	156 ±63	66	36 ±20	66	65 ±46
Transición	55	151 ±51	55	30 ±11	55	57 ±42
Seca	369	148 ±56	369	32 ±18	369	59 ±42
Riego	10	164 ±54	10	43 ±25	10	51 ±29

n: número de observaciones.

aplicados por tonelada de caña, se compararon los resultados de este estudio con lo reportado por diversos autores en otras áreas cañeras (Tabla IX).

La respuesta de la caña de azúcar a la aplicación de fertilizantes es función de la cantidad de nutrientes que requie-

re el cultivo para producir una determinada biomasa y de la disponibilidad del nutriente en el suelo, sin menoscabo desde luego de la calidad del producto a cosechar. Si la demanda de la planta resulta mayor que el suministro del suelo, el déficit deberá superarse a través de la aplicación de fertilizantes, cuya dosis dependerá de la eficiencia con la que la planta aproveche los nutrientes de los insumos adicionados (Rodríguez *et al.*, 2001). Por lo anterior, dada la heterogeneidad de las condiciones edáficas, climáticas y de manejo agronómico, hasta cierto punto es obvio que haya discrepancias entre los valores reportados por los distintos autores listados en la Tabla IX; sin embargo, resaltan las diferencias en la aplicación de nitrógeno con las del presente estudio, lo que indicaría que este nutriente se adiciona en exceso en la zona evaluada o bien, dada la naturaleza del suelo (ácido, arcilloso, pedregoso y somero), es posible que predomine la desnitrificación o escorrentía y que se compensen las pérdidas nitrogenadas con el incremento en la cantidad de fertilizante aportado.

## Conclusiones

Se detectó un gradiente significativo de precipitación pluvial, por lo que fue factible delimitar la zona de estudio en tres zonas ambientales; no obstante lo anterior, el rendimiento de caña de azúcar sólo fue estadísticamente diferente entre las áreas con mayor disponibilidad de humedad (riego y

TABLE VII  
PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA RELACIÓN ENTRE LA DOSIS APLICADA DE NUTRIENTES POR TONELADA DE CAÑA PRODUCIDA POR CICLO Y RÉGIMEN DE HUMEDAD

Ciclo	Régimen de humedad	Número de observaciones	Nitrógeno (kg·t <sup>-1</sup> )	Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ; kg·t <sup>-1</sup> )	Potasio (K <sub>2</sub> O; kg·t <sup>-1</sup> )
Plantilla	Húmeda	20	1,98 ±0,82	0,56 ±0,42	0,89 ±0,64
Plantilla	Transición	24	2,35 ±0,95	0,43 ±0,20	0,96 ±0,66
Plantilla	Seca	143	1,96 ±0,62	0,41 ±0,15	0,79 ±0,57
Plantilla	Riego	5	2,26 ±0,66	0,58 ±0,30	0,78 ±0,35
Soca	Húmeda	22	2,27 ±0,91	0,64 ±0,50	0,97 ±0,69
Soca	Transición	24	2,75 ±1,03	0,49 ±0,14	0,96 ±0,63
Soca	Seca	126	2,54 ±0,86	0,53 ±0,23	1,02 ±0,74
Soca	Riego	4	2,72 ±0,44	0,88 ±0,29	0,88 ±0,29
Resoca	Húmeda	56	2,65 ±1,13	0,67 ±0,48	1,12 ±0,82
Resoca	Transición	51	2,94 ±1,16	0,60 ±0,28	1,11 ±0,82
Resoca	Seca	322	2,77 ±1,26	0,60 ±0,33	1,10 ±0,81
Resoca	Riego	7	2,60 ±0,31	0,76 ±0,25	0,76 ±0,25

TABLE VIII

COMPARACIONES QUE RESULTARON ESTADÍSTICAMENTE SIGNIFICATIVAS EN LA RELACIÓN DE LOS DE NUTRIENTES APLICADOS POR TONELADA DE CAÑA COSECHADA, POR CICLO Y ZONA CLIMÁTICA (PRUEBA TUKEY-KRAMER,  $P<0,05$ )

Comparaciones por ciclo y zona	
Nitrogeno (kg·t <sup>-1</sup> )	
Plantilla en zona húmeda (1,98 ±0,82)	< Resoca en zona seca (2,77 ±1,26)
Plantilla en zona seca (1,96 ±0,62)	< Resoca en zona húmeda (2,65 ±1,13)
Plantilla en zona seca (1,96 ±0,62)	< Soca en zona de transición (2,75 ±1,03)
Plantilla en zona seca (1,96 ±0,62)	< Resoca en zona de transición (2,94 ±1,16)
Plantilla en zona seca (1,96 ±0,62)	< Soca en zona seca (2,54 ±0,86)
Plantilla en zona seca (1,96 ±0,62)	< Resoca en zona seca (2,77 ±1,26)
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ; kg·t <sup>-1</sup> )	
Plantilla en zona seca (0,41 ±0,15)	< Soca en zona húmeda (0,64 ±0,50)
Plantilla en zona seca (0,41 ±0,15)	< Resoca en zona húmeda (0,67 ±0,48)
Plantilla en zona seca (0,41 ±0,15)	< Resoca en zona de transición (0,60 ±0,28)
Plantilla en zona seca (0,41 ±0,15)	< Resoca en zona seca (0,60 ±0,33)
Potasio (K <sub>2</sub> O; kg·t <sup>-1</sup> )	
Plantilla en zona seca (0,79 ±0,57)	< Resoca en zona seca (1,10 ±0,81)

**TABLA IX**  
**NUTRIENTES APLICADOS POR TONELADA DE CAÑA**  
**PRODUCIDA REPORTADA POR DIVERSOS AUTORES**  
**Y PROMEDIOS OBTENIDOS EN ESTE ESTUDIO SIN**  
**DISTINGUIR ENTRE CICLOS O ZONAS CLIMÁTICAS**

Nitrógeno (kg·t <sup>-1</sup> )	Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ; kg·t <sup>-1</sup> )	Potasio (K <sub>2</sub> O; kg·t <sup>-1</sup> )	Referencia
2,5 ±1,1	0,55 ±0,31	1,01 ±0,75	Este estudio
0,66 ±0,29	0,50 ±0,18 <sup>1</sup>	0,93 ±0,35	Paneque <i>et al.</i> (2005)
0,95 - 1,45	0,45 - 0,94	0,45 - 1,21	Salgado <i>et al.</i> (2008)
1,2 - 1,5	0,50 - 0,80	0,50 - 0,80	Palma <i>et al.</i> (2002)
2,05	0,55	2,75	Singh <i>et al.</i> (2007)

zona húmeda) respecto a las de menor pluviometría (zona de transición y seca). El manejo de la fertilización no es apropiado porque se generaliza la misma fuente y dosis en toda la superficie cañera sin importar el ciclo (plantilla, soca o resoca), meta de rendimiento ni volumen de lluvia captado, por lo que es indispensable que se promueva un manejo de nutrientes acorde a cada caso, conciliando el requerimiento nutrimental de cada plantación cañera (aspectos técnicos) con el acopio y distribución de insumos en la región.

#### REFERENCIAS

Aguilar RN (2014) Reconversión de la cadena agroindustrial de la caña de azúcar en Veracruz, México. *Nova Sci.* 6(12): 125-161.  
 Dabrowski JM, Murray K, Ashton PJ, Leaner JJ (2009) Agricultural impacts on water quality and implications for virtual water trading decisions. *Ecol. Econ.* 68: 1074-1082.  
 Du YC, Kawamitsu Y, Nose A, Hiyane S, Murayama S, Wasano K, Uchida Y (1996) Effects of water stress on carbon exchange rate and activities of photosynthetic enzymes in leaves of sugarcane (*Saccharum sp.*). *Funct. Plant Biol.* 23:719-726.  
 Garside AL, Bell MJ, Robotham BG, Magarey RC, Stirling GR (2005) Managing yield decline

in sugarcane cropping systems. *Int. Sugar J.* 107(1273): 16-26.  
 Ghannoum O (2009) C4 photosynthesis and water stress. *Ann. Bot.* 103: 635-644.  
 Goldemberg J, Coelho ST, Guardabassi P (2008) The sustainability of ethanol production from sugarcane. *Energy Policy* 36: 2086-2097.  
 Ibarra RJ, Cruz MM, Serrano GA, Hernández PG, Cruz SR (2015) Influencia de variables climáticas en los rendimientos agrícolas de la caña de azúcar en la empresa azucarera de Holguín. *Granma Ciencia* 19: 1-9.  
 INEGI (2017) *Mapas Climatológicos, Escala 1:250,000*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. [www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/climatologica/](http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/climatologica/) (Cons. 23/03/2017).  
 Infoazucar (2016) *Estadísticas sobre la Caña de Azúcar en México*. [www.campomexicano.gob.mx/azcf/reportes/reportes.php?tipo=OTROS](http://www.campomexicano.gob.mx/azcf/reportes/reportes.php?tipo=OTROS) (Cons. 29/02/2016).  
 Inman BNG, Smith DM (2005) Water relations in sugarcane and response to water deficits. *Field Crops Res.* 92: 185-202.  
 Landeros SC, Moreno SJC, Castañeda ChR, Lango RF, Hernández PJM, Hernández LO, Caballero HAJ (2016) Manejo del nitrógeno en la caña de azúcar de la zona centro de Veracruz, México. *Rev. Iberoam. Bioecon. Cambio Climát.* 2: 43-52.  
 Lopes MS, Arous JL, Van Heerden PD, Foyer CH (2011) Enhancing drought tolerance in C4 crops. *J. Exp. Bot.* 62: 3135-3153.

Martin EC, Stephens W, Wiedenfeld R, Bittensbender HC, Beasley JP, Moore JM, Neibling H, Gallian JJ (2007) Sugar, oil and fiber. En Loscano RJ, Sojka RE (Eds.) *Irrigation of Agricultural Crops*. 2ª ed. ASA, CSSA, SSSA. Madison, WI, EEUU. pp. 279-335.  
 Méndez AJM (2012) *Suspensión del Riego en Caña de Azúcar Durante la Maduración: Efecto en el Rendimiento y Calidad del Jugo*. Tesis. Colegio de Postgraduados. México. 73 pp.  
 Moreno SJC, Landeros SC, Vázquez AP, Palacios VOL, Chávez MDRC, Collado CJL (2016) Manejo y actitud del productor sobre la fertilización nitrogenada en caña de azúcar: un estudio de caso. *Rev. Int. Des. Reg. Sustent.* 1: 26-34.  
 Oeidrux (2014) Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable. Gobierno del estado de Veracruz. México. [www.oeidrux-veracruz.gob.mx/](http://www.oeidrux-veracruz.gob.mx/) (Cons.29/02/2016).  
 Palma LDJ, Salgado GS, Obrador OJJ, Trujillo NA, Lagunes ELDC, Zavala CJ, Ruiz BA, Carrera MMA (2002) Sistema integrado para recomendar dosis de fertilización en caña de azúcar (SIRDF). *Terra* 20: 347-358.  
 Paneque VM, Calaña JM, Rodríguez L, Castellanos ER (2005) Estudio de la fertilización nitrogenada en variedades de la caña de azúcar cultivadas en diferentes tipos de suelos (caña planta). *Cult. Trop.* 26(4): 95-100.  
 Ramburan S, Zhou M, Labuschagne M (2011) Interpretation of genotype×environment interactions of sugarcane: Identifying significant environmental factors. *Field Crops Res.* 124: 392-399.  
 Robertson MJ, Inman BNG, Muchow RC, Wood AW (1999) Physiology and productivity of sugarcane with early and mid-season water deficit. *Field Crops Res.* 64: 211-227.  
 Rodríguez SJ, Pinochet TD, Matus BF (2001) *Fertilización de los Cultivos*. LOM. Santiago, Chile. 117 pp.

Salgado GS, Palma LDJ, Zavala CJ, Lagunes ELDC, Castelán EM, Ortiz GCF, Juárez LJF, Rincón RJA, Hernández NE (2008) Programa sustentable de fertilización para el ingenio Pujiltilic, Chiapas, México. *Terra Latinoam.* 26: 361-373.  
 Salgado S, Núñez R, Peña CJJ, Etchevers BJD, Palma LDJ, Soto MR (2003) Manejo de la fertilización en el rendimiento, calidad del jugo y actividad de invertasas en caña de azúcar. *Interciencia* 28: 576-580.  
 Sánchez GP, Ortiz SCA, Gutiérrez CC, Gómez JD (2002) Clasificación campesina de tierras y su relación con la producción de caña de azúcar en el sur de Veracruz. *Terra* 20: 359-369.  
 Singh KP, Suman A, Singh PN, Lal M (2007) Yield and soil nutrient balance of a sugarcane plant-ratoon system with conventional and organic nutrient management in sub-tropical India. *Nutr. Cycling Agroecosyst.* 79: 209-219.  
 Sokal RR, Rohlf FJ (1994) *Biometry: The Principles and Practice of Statistics in Biological Research*. 3ª ed. Freeman. Nueva York, EEUU. 880 pp.  
 Sontakke NA, Singh N, Singh HN (2008) Instrumental period rainfall series of the Indian region (AD 1813-2005): Revised reconstruction, update and analysis. *Holocene* 18: 1055-1066.  
 Stone KC, Hunt, PG, Cantrell KB, Ro KS (2010) The potential impacts of biomass feedstock production on water resource availability. *Bioresource Technol.* 101: 2014-2025.  
 Totten M, Pandya SI, Janson ST (2003) Biodiversity, climate, and the Kyoto Protocol: risks and opportunities. *Front. Ecol. Environ.* 1: 262-270.  
 Wiedenfeld RP (2000) Water stress during different sugarcane growth periods on yield and response to N fertilization. *Agric. Water Manag.* 43: 173-182.  
 Zar JH (2010) *Biostatistical Analysis*. 5ª ed. Prentice Hall. Englewood Cliffs, NJ, EEUU. 944 pp.