

Materia seca y macroelementos primarios en la biomasa foliar de la caña de azúcar fertilizada con diferentes dosis de fósforo **Dry matter and primary macroelements on the foliar biomass of sugarcane with different fertilizer rates of phosphorus**

Juan Alejandro Villazón Gómez¹, George Martín Gutiérrez² y Yakelín Cobo Vidal²

¹ Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Holguín (UHO), Ave. XX Aniversario, vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba, Tel: (53) (24) 48 3228. CP 80 100.

² Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (EPICA), Guaro S/N, Mayarí, Holguín, Cuba. CP 83 000.

E-mail: villazon@fca.uho.edu.cu

RESUMEN. Con el objetivo de determinar el contenido de materia seca y macroelementos primarios en la biomasa foliar de la caña de azúcar fertilizada con diferentes dosis de fósforo se realizó un experimento en un diseño de bloque al azar y seis réplicas, sobre un Vertisol Crómico. Antes de cada cosecha, fueron cortadas cinco plantas en los surcos 2 y 3 de cada parcela de la tercera repetición. Al cogollo de las muestras se le determinó el porcentaje de materia seca y macronutrientes primarios. Se realizó un conteo de tallos en las parcelas para expresar los porcentajes en magnitudes de masa. Se efectuó un Análisis de Varianza y la prueba de rangos múltiples de Duncan a un 95 % de probabilidad. Las fertilizaciones anuales con 50 y 25 kg ha⁻¹ de fósforo desde el primer ciclo y la aplicación al inicio de ciclo de 125 kg ha⁻¹ mostraron los mayores contenidos de materia seca y el segundo retoño fue la que mayor influencia en la producción de materia seca. Se apreció que la influencia de la cepa fue mayor que la de la fertilización sobre el contenido de materia seca. Los tratamientos y la cepa con mayor contenido de macroelementos primarios fueron aquellos donde la materia seca se encontró en mayores cantidades. En la interacción dosis de fósforo-cepa, los mayores contenidos de fósforo y potasio se concentraron en el segundo retoño con aplicaciones anuales y al inicio de ciclo.

Palabras claves: aportes de nutrientes al suelo, elementos esenciales, nitrógeno, potasio, residuos de cosecha

ABSTRACT. With the objective of determining the quantities of dry matter and primary macroelements on the foliar biomass of the sugar cane fertilized with different phosphorus rates was carried out a in an experiment in blocks at random (8 treatments x 6 replications) on a Chromic Vertisol. Five plants per plot at the 3rd replication and crop cycle were cut before harvesting. To the sugarcane top of the samples were determined the percentages of dry matter, nitrogen, phosphorus and potassium; was carried out a count of sugarcane stalk in each plot to express the percentages in magnitudes of mass. An Analysis of Variance of simple classification and the test of multiple status of Duncan to 95 % of probability was executed. The yearly fertilizations with 50 and 25 kg ha⁻¹ of phosphorus from the 1rst cycle and the application at the start of a cycle of 125 kg ha⁻¹ showed the bigger dry matter contents and the second ratoons had the biggest influence in the matter production. It was appreciated that the influence of the crop cycle was bigger than that rates of phosphorus on the dry matter content. The rate of phosphorus and the crop cycle with bigger content of primary macroelements were those where the dry matter was in bigger quantities. In the interaction rates of phosphorus-crop cycle the bigger contents of phosphorus and potassium was obtained on the 2nd ratoon with yearly and to the start of crop cycle applications of phosphorus.

Keywords: contributions of nutrients to the soil, essential elements, nitrogen, potassium, sugarcane crop residues

INTRODUCCIÓN

Numerosos autores han mencionado la importancia de los restos de cosecha dejados en el campo como fuente de materia orgánica para el suelo; así como el papel fundamental que juega el fósforo en el caso específico de los rendimientos agrícolas de la caña de azúcar (Bertsch, 1998). Además, según Cuéllar *et al.* (2003) este es un macroelemento esencial para el crecimiento, desarrollo y reproducción de la caña de azúcar; al participar en la brotación, el desarrollo radical, la elongación de los tallos y el ahijamiento; así como en los procesos de intercambio de energía. Forma parte, además, de los ácidos nucleicos, los fosfolípidos y coenzimas respiratorias. Este nutriente al ser retenido en el suelo puede influenciar sobre los rendimientos de las plantaciones durante varios años (Syers *et al.*, 2008).

El cultivo de la caña de azúcar provoca, en un corto período de tiempo, la disminución del fósforo asimilable en el suelo, por lo que son necesarias constantes aplicaciones de este nutriente para evitar el agotamiento del mismo (Arzola y Machado, 2013). Por otra parte, el uso desmedido del fósforo trae aparejado efectos nocivos sobre el medioambiente como pueden ser la eutrofización de las aguas (Meyer *et al.*, 2011) o la posibilidad de acumulación de cadmio en el suelo, presente en las rocas fosfóricas con las que se elabora el fertilizante (Johnston, 2000; Zapata y Roy, 2004; Aini Azu *et al.*, 2012). La aplicación de fósforo puede incrementar, en un corto período de tiempo, la concentración de cadmio en las plantas sin tener en cuenta su concentración en el fertilizante (Gao *et al.*, 2011). Las aplicaciones excesivas de fósforo en la agricultura se han vuelto tan generalizadas que las clasificaciones de suelo (*United States Department of Agriculture y Natural Resources Conservation Service*, 2010) incluyen, entre sus criterios, un horizonte de diagnóstico sometido a alteraciones por la actividad antrópica debido al cultivo intensivo, en el que los niveles de fosfatos en el suelo igualan o superan los 1 500 mg kg⁻¹.

El objetivo de este trabajo es determinar el contenido de materia seca y de macroelementos primarios en la biomasa foliar de la caña de azúcar fertilizada con diferentes dosis de fósforo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se estudió la variedad C120-78, plantada en un área experimental perteneciente a la Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de

Azúcar (EPICA) de Holguín. El experimento, que es de larga duración, se encuentra asociado al perfil 889, perteneciente a la Red Geográfica Experimental del INICA. El suelo es un Vertisol Crómico cálcico gléyico en profundidad (Hernández *et al.*, 2015), sobre un material de origen de corteza arcillosa carbonatada y variablemente salinizada. El horizonte superficial es un Ap, con una profundidad de 0-18 cm, pardo amarillento, arcilloso, compactado, con muchas raíces y transición notable. Los resultados de los análisis de suelo, a una profundidad de 0-20 cm, al comenzar y al finalizar el 3^{er} ciclo se muestran en la tabla 1.

El trabajo se realizó durante el tercer ciclo de un experimento con un diseño de bloque al azar (8 tratamientos x 6 repeticiones). Los abonos aplicados fueron urea, superfosfato triple y cloruro de potasio. La fertilización se realizó de forma localizada en bandas al costado de la cepa. El experimento consistió en la evaluación de 8 tratamientos (tabla 2).

Las muestras fueron tomadas una semana antes de la cosecha de las cepas 1^{er}, 2^{do}, 3^{er} y 4^{to} retoño en los surcos 2 y 3 de cada una de las 8 parcelas correspondientes a la 3^{ra} réplica. Para conformar las muestras se seleccionaron 5 plantas (tallo y cogollo) por cada surco. Los 5 cogollos de cada muestra fueron pesados y molidos, tomándose porciones representativas de entre 500-700 g, que fueron secadas en estufa a 85 °C para determinar el contenido de materia seca y de nutrientes; se realizó un conteo de tallos en cada una de las parcelas para expresar los porcentajes en magnitudes de masa (t ha⁻¹ y kg ha⁻¹).

Se realizó un análisis bifactorial donde se estudiaron las variables Dosis de fósforo y Cepa y la interacción Dosis de fósforo por Cepa. Se efectuó un Análisis de Varianza de clasificación simple y las medias de los tratamientos se compararon mediante la prueba de rangos múltiples de Duncan a un 0,05 % de probabilidad de error, para determinar si el conjunto de factores considerados produce un efecto estadísticamente diferenciado en cuanto al comportamiento de los mismos en cada una de las variables analizadas. Para el procesamiento de los datos obtenidos fue utilizado el software Statística 7.

Las precipitaciones caídas por cepas se muestran en la tabla 3. Los datos fueron tomados de la estación meteorológica de Guaro, ubicada a 3 km del experimento.

Tabla 1. Propiedades químicas del suelo al inicio y final del 3^{er} ciclo

Tratamientos	pH		M.O.	Fósforo total	Fósforo asimilable	Potasio asimilable
	en H ₂ O	en KCl				
Inicio						
			(%)		----- (cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹) -----	
I	7,80	6,60	2,29	0,20	18,81	24,02
II	8,00	6,80	2,31	0,20	20,29	26,38
III	7,80	6,50	2,15	0,19	22,99	21,20
IV	7,70	6,60	2,29	0,19	19,42	24,49
V	7,60	6,50	2,44	0,21	21,66	23,55
VI	7,70	6,40	2,35	0,21	23,94	24,96
VII	7,30	6,00	2,33	0,21	21,20	24,96
VIII	7,20	6,00	2,51	0,23	28,31	23,55
Final						
			(%)		----- (cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹) -----	
I	6,70	6,00	3,21	0,42	15,28	29,30
II	6,88	6,25	3,06	0,43	17,10	26,95
III	7,16	6,34	2,84	0,46	25,10	35,21
IV	7,20	6,47	2,91	0,42	21,52	32,25
V	6,70	5,93	3,36	0,47	17,21	33,43
VI	6,46	5,67	3,51	0,43	17,21	31,07
VII	6,92	5,97	2,84	0,44	16,50	26,36
VIII	6,82	5,97	2,91	0,43	14,35	35,80

M.O.: Materia orgánica

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 1 muestra que las dosis que propiciaron una mayor cantidad de materia seca en el cogollo de las plantas fueron los tratamientos T VI, T VII y T V (con 9,56, 9,53 y 9,31 t ha⁻¹ respectivamente). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre estos tratamientos y aquellos en los que se fertilizó con fósforo, a razón de 250 kg ha⁻¹ de fósforo al inicio de cada ciclo, a 50 kg ha⁻¹ aplicado anualmente desde el 2^{do} ciclo, 50 kg ha⁻¹ aplicado anualmente desde el 3^{er} ciclo y el testigo. Los tres primeros tratamientos mencionados sí difieren de forma significativa del testigo absoluto (T I), el cual solo produjo 7,55 t ha⁻¹ de materia seca en la parte aérea a dejar en el campo.

Salgado *et al.* (2011) en Vertisoles del estado de Tabasco (México) que ocupan 42 030 ha pertenecientes al ingenio “Benito Juárez” y

plantados con caña de azúcar, encontraron un contenido de materia seca de 4,75 y 6,01 t ha⁻¹ en la paja de este cultivo, en dependencia de la unidad de suelo comprendido dentro del gran grupo mencionado.

La figura 2 muestra que los mejores resultados, se obtuvieron en el 2^{do} retoño (12,28 t ha⁻¹ de materia seca), con diferencias altamente significativas con el resto de las cepas. Un comportamiento intermedio se determinó en el 3^{er} y 4^{to} retoños, con 8,61 y 8,26 t ha⁻¹, sin que se encontraran diferencias significativas entre ellos. Los más bajos resultados (5,75 t ha⁻¹) se apreciaron en la soca.

El comportamiento de la producción de materia seca a todo lo largo del ciclo está dado por la producción de tallos en cada una de las cepas. Toledo *et al.* (2008) en un suelo *Haplic Feozem* plantado con caña de azúcar en el estado de Chiapas (México) encontraron una relación lineal

Tabla 2. Dosis de potasio aplicadas más dosis de fondo en cada tratamiento

Tratamientos	Dosis de P_2O_5 ($kg\ ha^{-1}$)	Dosis de fondo		Observaciones
		N_2 ($kg\ ha^{-1}$)	K_2O ($kg\ ha^{-1}$)	
I	0	0	0	Control absoluto (testigo absoluto)
II	0	120	120	Control (testigo)
III	50	120	120	Aplicación anual de P_2O_5 desde el 2 ^{do} ciclo
IV	50	120	120	Aplicación anual de P_2O_5 desde el 3 ^{er} ciclo
V	25	120	120	Aplicación anual de P_2O_5 desde el 1 ^{er} ciclo
VI	50	120	120	Aplicación anual de P_2O_5 desde el 1 ^{er} ciclo
VII	125	120	120	Aplicación de P_2O_5 al inicio de cada ciclo
VIII	250	120	120	Aplicación de P_2O_5 al inicio de cada ciclo

Tabla 3. Precipitaciones por cepas

Cepas	Precipitaciones (mm)
Soca (1 ^{er} retoño)	909,7
2 ^{do} retoño	1089,8
3 ^{er} retoño	982,7
4 ^{to} retoño	1214,9

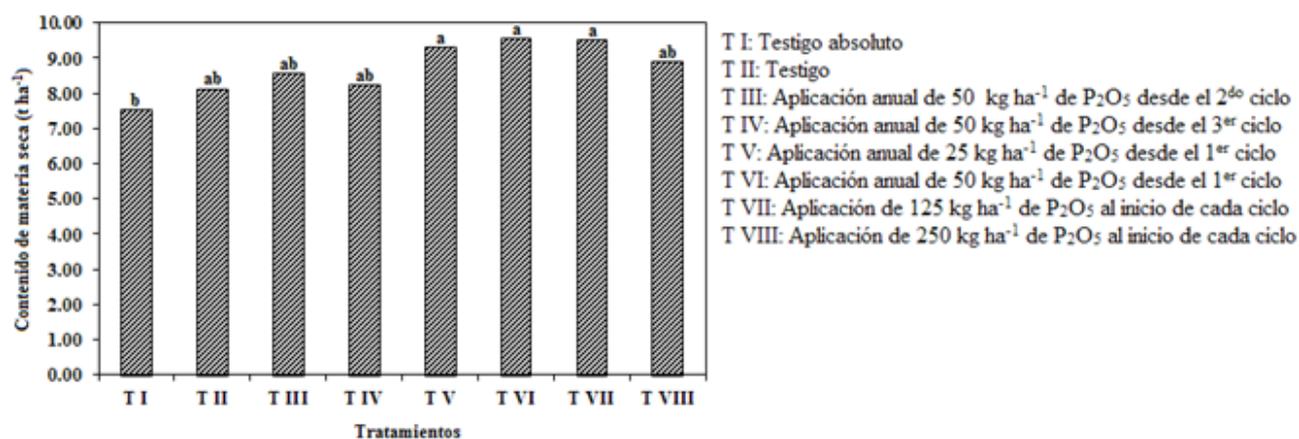


Figura 1. Influencia de la dosis de fertilizante fosfórico en la producción de materia seca

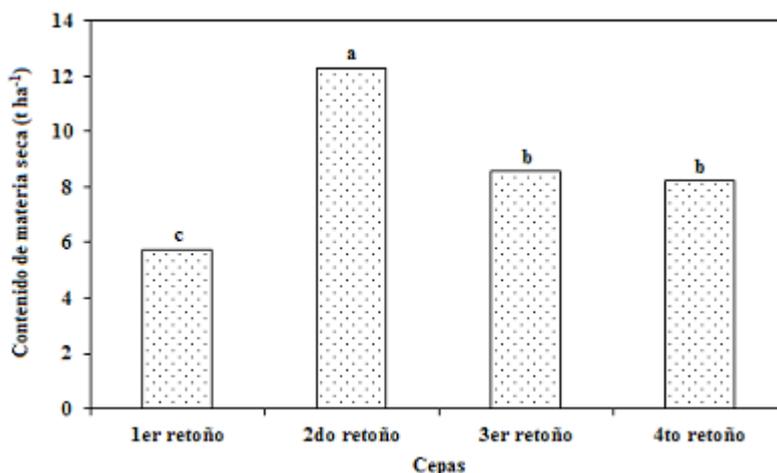


Figura 2. Influencia de la cepa en la producción de materia seca

y directa entre el número de tallos producidos por este cultivo y la cantidad de materia seca aportada al suelo a partir de los residuos agrícolas.

El-Tilib *et al.* (2004), en un Typic Chromustert plantado con caña de azúcar y ubicado dentro de la zona tropical cálida semiárida del centro de Sudán, encontraron una alta respuesta de este cultivo a la fertilización con fósforo. Los rendimientos agrícolas, tanto en caña planta como en retoños, se incrementaron notablemente debido a la aplicación de este nutriente.

Las constantes incorporaciones de los restos de cosecha al suelo implican un aumento de la materia orgánica del mismo (Bertsch, 1998). Este incremento, según Cabrera *et al.* (2001) y Cabrera *et al.* (2002), permite el mejoramiento del estado estructural de los Vertisoles, lo cual conlleva al aumento de la capacidad de conducción hídrica y aireación, por lo que incide sobre las posibilidades agroproductivas de los mismos.

Boivin *et al.* (2009), en estudios realizados sobre un Vertisol plantado con arroz, determinaron que existe una notable influencia de la materia orgánica del suelo sobre la estabilidad hidroestructural, el volumen específico aparente y la porosidad estructural.

De la misma forma, Graham *et al.* (2002) refieren que en un experimento de caña de azúcar plantado sobre un Vertisol Crómico sudafricano, en el que durante 59 años los tratamientos fueron (i) quema y eliminación de los residuos, (ii) quema y conservación de los residuos y (iii) conservación de los residuos sin quemar, encontraron que el contenido de carbono en los primeros 10 cm de profundidad era mayor donde se cosechaba verde y se conservaban los residuos. En este mismo

tratamiento también fue mayor la estabilidad de los agregados, lo que revalida la importancia de la materia orgánica como factor de estructuración de los suelos. A resultados similares arribaron Cerri *et al.* (2011) respecto a la cosecha verde de la caña de azúcar, la conservación de los residuos en el campo y la influencia positiva de este tipo de manejo sobre la materia orgánica del suelo.

Los constantes aportes de materia seca procedente de los residuos de cosecha dejados en el campo, disminuyen los efectos de la compactación a la que, según González *et al.* (2006) son tan propensos los Vertisoles, debido al tráfico de la maquinaria agrícola durante la cosecha.

La tabla 4 muestra los resultados obtenidos al evaluar la materia seca en la interacción Dosis de fósforo por cepa. El 2^{do} retoño agrupó de forma general, a las interacciones con mejores resultados; destacándose aquellas donde se fertilizó con 250 (residual), 125 (residual) y 50 (anual desde el 2^{do} ciclo) kg ha⁻¹ de P₂O₅. Entre los que no existen diferencias significativas. En esta cepa, todos los resultados, excepto los obtenidos en el testigo absoluto, superan las 11 t ha⁻¹ de materia seca. El comportamiento de los tratamientos donde se evalúa el efecto residual del fósforo puede estar dado por la poca movilidad de este elemento y a la casi nula erosión que presentan los Vertisoles. Todas las interacciones difieren de forma altamente significativa, excepto aquella donde se aplican 50 kg ha⁻¹ de fósforo todos los años, del testigo absoluto.

Un comportamiento diametralmente opuesto se observa en las interacciones de las dosis de fertilización con la cepa 1^{er} retoño, la cual tuvo los

Tabla 4. Producción de materia seca en las interacciones dosis de fósforo por cepa

Tratamientos	Materia seca (t ha ⁻¹)			
	1 ^{er} retoño	2 ^{do} retoño	3 ^{er} retoño	4 ^{to} retoño
0-0-0 testigo absoluto	5,83jkl	8,70fghijk	8,41fghijk	7,25hijkl
120-0-120 testigo	5,57kl	11,38cdef	8,03ghijk	7,55ghijkl
120-50-120 anual desde el 2 ^{do} ciclo	5,86jkl	12,71abc	9,80cdefgh	5,99ijkl
120-50-120 anual desde el 3 ^{er} ciclo	6,24ijkl	11,86bcde	7,15hijkl	7,64ghijkl
120-25-120 anual	5,73kl	12,27bcd	8,94efghij	10,31cdefgh
120-50-120 anual	6,46ijkl	11,47cdef	9,83cdefgh	10,49cdefg
120-125-120 al inicio de cada ciclo	5,58kl	14,70ab	10,16cdefgh	7,69ghijkl
120-250-120 al inicio de cada ciclo	4,77l	15,20a	6,53ijkl	9,16defghi

más bajos tenores de materia seca en el cogollo de las plantas. Aquí se encontraron diferencias altamente significativas con respecto a las interacciones que corresponden al 2^{do} retoño, excepto en el testigo absoluto.

La figura 3 muestra que el nitrógeno contenido en la materia seca de la biomasa aérea que aporta al suelo la caña de azúcar no tuvo diferencias significativas en los tratamientos V, VII y VI (todos con 75 kg ha⁻¹) que fueron los de mayores resultados. Tampoco se encontraron diferencias entre dichos tratamientos y T IV, T VIII y T III (67, 66 y 64 kg ha⁻¹ de N, en cada caso). Los tratamientos testigo y testigo absoluto fueron los de menor contenido de nitrógeno en la materia seca del cogollo de la caña de azúcar (60 y 56 kg ha⁻¹, respectivamente).

En el caso del fósforo los mejores tratamientos fueron T III, T V, T VI, T VII, T IV y T VIII, cuyos contenidos del nutriente antes mencionado oscilaron fueron de 13 kg ha⁻¹ los cuatro primeros y 12 kg ha⁻¹ los dos últimos. Entre estos tratamientos no se encontraron diferencias significativas. Los más bajos tenores de P₂O₅ se observaron en los tratamientos testigo absoluto y testigo (9 y 8 kg ha⁻¹, respectivamente), los cuales no difieren estadísticamente entre ellos, pero si muestran diferencias altamente significativas al compararlos con los tratamientos de mayor contenido de fósforo.

Un proceder similar al observado con el nitrógeno, tuvieron los tratamientos T VII, T VI y T V en lo que atañe al potasio, pues fueron los de mayor contenido de K₂O en la materia seca de la biomasa aérea de la caña de azúcar (184, 183 y 177 kg ha⁻¹, correspondientemente). No se encontraron diferencias significativas entre

ellos, ni con los tratamientos T VIII (167 kg ha⁻¹) y T IV (155 kg ha⁻¹). Los dos últimos tampoco manifestaron diferencias al ser cotejados con T II (145 kg ha⁻¹), T I (142 kg ha⁻¹) y T III (139 kg ha⁻¹).

La figura 4 muestra que los mayores contenidos de N₂ se encontraron en el 3^{er} y 2^{do} retoños, con 83 y 80 kg ha⁻¹, en cada caso, de este nutriente contenido en la materia seca de los cogollos de la caña de azúcar. Sin diferencias significativas entre ellas, ni entre la última cepa mencionada y el 4^{to} retoño (71 kg ha⁻¹). Todas las cepas difieren de forma altamente significativa del 1^{er} retoño (35 kg ha⁻¹).

Al evaluar el comportamiento del fósforo, se aprecia que los mayores valores se encontraron en el 2^{do} retoño (16 kg ha⁻¹). Esta cepa difiere de forma altamente significativa de los resultados obtenidos en el resto del ciclo, donde le siguieron, en orden decreciente, el 3^{er} y 4^{to} retoños (con 13 y 12 kg ha⁻¹, respectivamente, y sin diferencias significativas entre ellos). La última posición la ocupó el 1^{er} retoño, con 6 kg ha⁻¹ de fósforo. Este nutriente fue el que en menor cantidad se encontró en la materia seca de los cogollos de la caña de azúcar.

El comportamiento de los macroelementos primarios en el 2^{do} retoño con respecto a las demás cepas está dado por la elevada producción de biomasa, y consecuentemente de materia seca de este retoño, no por las diferencias en cuanto a los porcentajes de nitrógeno, fósforo y potasio encontrados en dicha materia seca.

El mayor contenido de potasio se obtuvo en el 2^{do} retoño (230 kg ha⁻¹), seguido por el 3^{er}, 4^{to} y 1^{er} retoños, con 175, 144 y 99 kg ha⁻¹, respectivamente. Entre todas las

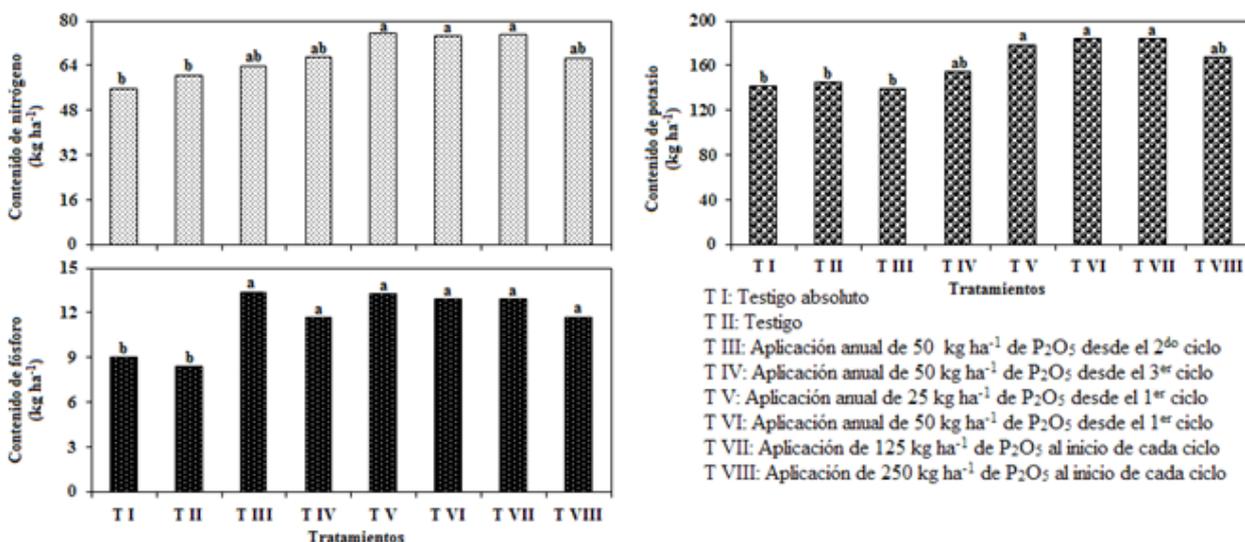


Figura 3. Influencia de la fertilización fosfórica en el contenido de NPK en la materia seca

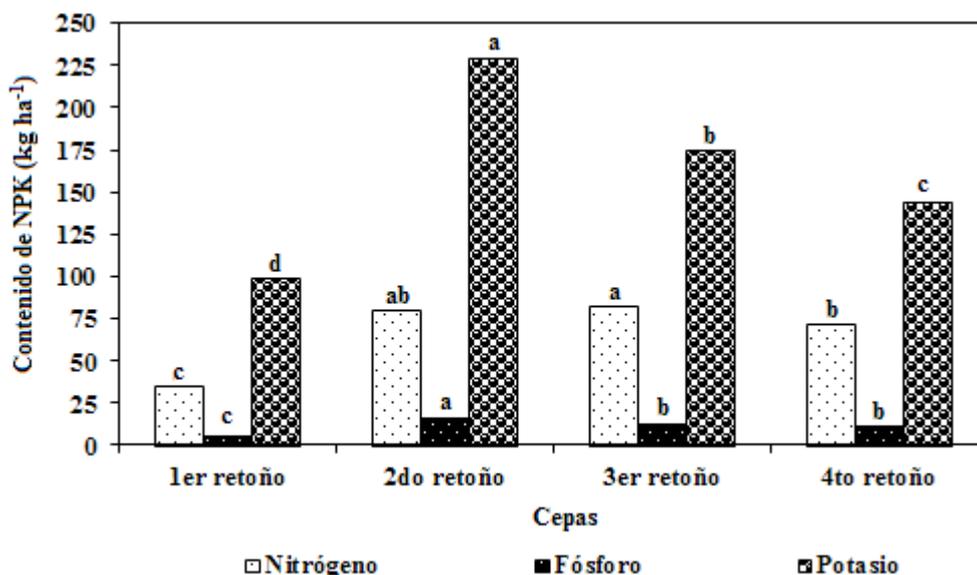


Figura 4. Influencia de la cepa en el contenido de NPK en la materia seca

cepas se encontraron diferencias altamente significativas. El potasio fue el nutriente que en mayores cantidades se halló en la materia seca de la biomasa aérea que aporta el suelo la caña de azúcar.

La tabla 5 muestra que la interacción en la que se encontró mayor contenido de fósforo en la materia seca del cogollo de la caña de azúcar fue donde se fertilizó con 125 kg ha⁻¹ de P₂O₅ al inicio de ciclo en el 2^{do} retoño. Esta interacción no mostró diferencias significativas con las interacciones con 250 kg ha⁻¹ de P al inicio de ciclo en el 2^{do} retoño, ni 50 kg ha⁻¹ del nutriente

mencionado desde el 2^{do} ciclo en el 3^{er} y 2^{do} retoños. Los peores resultados, independientemente del tratamiento, se concentraron en el 1^{er} retoño. Estas interacciones no difieren de forma significativa de las interacciones relacionadas con el testigo absoluto y el testigo en el 2^{do}, 3^{er} y 4^{to} retoños.

En cuanto al contenido de potasio, la interacción más sobresaliente fue donde se fertilizó con 250 kg ha⁻¹ de fósforo al inicio del ciclo en el 2^{do} retoño, la misma no difiere de forma significativa de los tratamientos con 125 kg ha⁻¹ al inicio del ciclo y 25 kg ha⁻¹ todos los

Tabla 5. Contenido de fósforo y potasio en la materia seca en la interacción dosis de fósforo por cepa

Tratamientos	Cepas			
	1 ^{er} retoño	2 ^{do} retoño	3 ^{er} retoño	4 ^{to} retoño
Fósforo (kg ha⁻¹)				
0-0-0 testigo absoluto	6lm	10ghijk	11ghijk	9hijkl
120-0-120 testigo	4m	12efghij	9ijkl	8jklm
120-50-120 anual desde el 2 ^{do} ciclo	7klm	18abc	19abc	9hijkl
120-50-120 anual desde el 3 ^{er} ciclo	7klm	16cde	12efghij	12efghij
120-25-120 anual	6lm	17bcd	14defg	17bcd
120-50-120 anual	6lm	16cde	13defgh	16cdef
120-125-120 al inicio de cada ciclo	5lm	21a	13defgh	12fghij
120-250-120 al inicio de cada ciclo	4m	20ab	9hijkl	13defghi
Potasio (kg ha⁻¹)				
0-0-0 testigo absoluto	104ijkl	178defgh	169defghi	116hijkl
120-0-120 testigo	94kl	200cdef	164defghij	122ghijkl
120-50-120 anual desde el 2 ^{do} ciclo	106ijkl	159efghijk	187cdefg	106ijkl
120-50-120 anual desde el 3 ^{er} ciclo	106ijkl	229bcd	144fghijkl	140fghijkl
120-25-120 anual	99jkl	253abc	183defgh	181defgh
120-50-120 anual	108ijkl	231bcd	200cdef	195cdef
120-125-120 al inicio de cada ciclo	94kl	288ab	217cde	137fghijkl
120-250-120 al inicio de cada ciclo	83l	301a	132fghijkl	152efghijkl

años, ambos en el 2^{do} retoño. La peor interacción donde se aplicaron 250 kg ha⁻¹ de fósforo al inicio del ciclo en el 1^{er} retoño. Esta interacción no difiere de forma significativa del resto de los resultados donde las diversas dosis interactúan con el 1^{er} retoño.

CONCLUSIONES

1. Las fertilizaciones anuales con 50 y 25 kg ha⁻¹ de fósforo desde el inicio del experimento de larga duración y la aplicación al inicio de ciclo de 125 kg ha⁻¹ mostraron los mayores contenidos de materia seca y la cepa 2^{do} retoño fue la que mayor influencia mostró en la producción de materia seca. Dicho tenor mostró una tendencia a la disminución durante todo el ciclo; aunque los menores resultados se encontraron en el 1^{er} retoño.

2. De forma general se apreció que la influencia de la cepa fue mayor que la de la fertilización sobre el contenido de materia seca; las interacciones con mejor comportamiento se concentraron en el 2^{do} retoño, en el extremo opuesto se encontraron

las dosis que interactuaron con el 1^{er} retoño.

4. En cuanto a los macroelementos primarios contenidos en la materia seca, los mejores tratamientos coincidieron con aquellos donde la materia seca se encontró en mayores cantidades. De la misma forma se comportaron estos nutrientes al tener en cuenta la influencia de la cepa.

5. En el caso de la interacción Dosis de fósforo por cepa el nitrógeno no mostró diferencias significativas, no ocurre lo mismo en lo que respecta al fósforo y al potasio, donde los mayores resultados se concentraron en el 2^{do} retoño con aplicaciones anuales y al inicio de cada ciclo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aini Azura, A.; Fauziah, C. I. and Samsuri, A. W. Cadmium and zinc concentrations in soils and oil palm tissues as affected by long-term application of phosphate rock fertilizers. *Soil and Sediment Contamination*, 21: 586-603, 2012.

2. Arzola Pina, N. y Machado De Armas,

- J. Nuevo enfoque para el diagnóstico de la necesidad de fertilizantes fosfóricos de la caña de azúcar. *Centro Agrícola*, 40 (3): 23-28, 2013.
3. Bertsch Hernández, F. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, 1998. 157 p.
4. Boivin, P., Schäffer, B. and Sturny, W. Quantifying the relationship between soil organic carbon and soil physical properties using shrinkage modeling. *European Journal of Soil Science*, 60: 265-275, 2009.
5. Cabrera, S.; Fernández, N. y Abreu E. O. Relación de los índices estructurales tradicionales con los criterios energéticos de evaluación del estado físico del suelo. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 10 (2): 57-61, 2001.
6. Cabrera, S.; Pérez, C.; Plá, E. y Bernal, A. Permeabilidad y aireación en Vertisoles. I.-Relación con la materia orgánica y otros índices del estado físico. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 11 (2): 79-85, 2002.
7. Cerri, C. C.; Galdós, M. V.; Maia, S. M. F.; Bernoux, M.; Feigl, B. J.; Powlson, D. and Cerri, C. E. P. Effect of sugarcane harvesting systems on soil carbon stocks in Brazil: an examination of existing data. *European Journal of Soil Science*, 62: 23-28, 2011.
8. Cuellar, I.; M. León; A. Gómez; D. Piñón; R. Villegas; I. Santana: Caña de azúcar paradigma de sostenibilidad. Cuba. Edición Publicinca. INICA. La Habana, Cuba. 2003. 73p.
9. El-tilib, M. A.; Elnasikh, M. H.; Elamin, E. A. Phosphorus and potassium fertilization effects on growth attributes and yield of two sugarcane varieties grown on three soil series. *Journal of Plant Nutrition*, 27 (4): 663-699, 2004.
10. Gao, X.; Flaten, D. N.; Tenuta, M.; Grimmett, M. G.; Gawalko, E. J.; Graham, C. A. Soil solution dynamics and plant uptake of cadmium and zinc by durum wheat following phosphate fertilization. *Plant & Soil*, 338: 423-434, 2011.
11. González C.O.; Rodríguez O. M.; Herrera S.M. Compactación del suelo por tráfico de los medios de transporte durante la cosecha de caña de azúcar. *Centro Azúcar*, 33 (2): 85-88, 2006.
12. Graham, M. H.; Haynes, R. J. and Meyer, J. H. Changes in soil chemistry and aggregate stability induced by fertilizer applications, burning and trash on a long-term sugarcane experiment in South Africa. *European Journal of Soil Science*, 53: 589-598, 2002.
13. Hernández, A.; Pérez, J. y Rivero, L. D. Nueva versión de clasificación genética de suelos de Cuba. AGRINFOR, Minagri, Instituto de suelo. 2015, 91 p.
14. Johnston, A. E. Soil and plant phosphate. Published by the International Fertilizer Industry Association, Paris, Francia. 2000, 46 p. ISBN: 2-9506299-5-4.
15. Meyer, J.; Peter, R.; Peter, T. and Mathias, K. Good management practices manual for cane sugar industry. International Finance Corporation, Johannesburgo, Sudáfrica. 2011. 696 p.
16. Salgado García, S.; Palma López, d. J.; Zavala Cruz, J.; Lagunes Espinoza, I. C.; Castelán Estrada, M.; Ortiz García, C. F.; Juárez López, J. F.; Ruiz Rosado, O.; Armida Alcuía, L.; Rincón Ramírez, J. A. y Córdova Sánchez, S. Un programa de fertilización sustentable para el Ingenio "Presidente Benito Juárez" en Tabasco, México. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 15 (3): 45-65, 2011.
17. United States Department of Agriculture and Natural Resources Conservation Service. Soil Survey Staff. Key to Soil Taxonomy. Department of Agriculture & Natural Resources Conservation Service, 11th Edition, Washington, D.C., United States. 2010. 346 p.
18. Syers, J. K.; Johnson, A. E.; Curtin, D. Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use: reconciling changing concepts of soil phosphorus behavior with agronomic information. FAO Fertilization Plant Nutrition Bulletin 18. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, Italia. 2008. 108 p.
19. Toledo, E.; Cabrera, J. A.; Leyva, A.; Pohlan, H. A. J. Estimación de la producción de residuos agrícolas en agroecosistemas de caña de azúcar. *Cultivos Tropicales*, 29 (3): 17-21, 2008.
20. Zapata, F. y Roy, R. N. Use of phosphate

rocks for sustainable agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, Italia. 2004, 148 p.

Recibido el 10 de julio de 2014 y aceptado el 30 de abril de 2016