

CURVAS DE ABSORCIÓN DE MACRONUTRIENTES EN TRES VARIETADES DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.) PARA PANELA, EN LA HOYA DEL RÍO SUÁREZ

MACRONUTRIENT ABSORPTION CURVES IN THREE VARIETIES OF SUGARCANE (*Saccharum officinarum* L.) FOR PANELA IN THE HOYA DEL RÍO SUÁREZ

Felipe González Chavarro¹, Marco Cabezas Gutiérrez², Margarita Ramírez-Gómez³, Julio Ramírez Durán⁴

¹Ing. Agrónomo, estudiante M.Sc. Fisiología Vegetal. Profesional de apoyo a la investigación, Agrosavia. Centro de Investigación Tibaitatá sede Cimpa, km 2 vía antigua Cite, Barbosa, Santander, código postal 684511, Colombia. e-mail: cfgonzalez@agrosavia.co, <https://orcid.org/0000-0002-1720-5067>; ²Ing. Agrónomo, M.Sc. Universidad Nacional de Colombia. Carrera 45 No. 26-85, Bogotá, Cundinamarca, código postal 111321, Colombia. e-mail: mcabzasg@unal.edu.co, <https://orcid.org/0000-0001-9072-7681>; ³Ing. Agrónomo, Ph.D. Investigador Ph.D. Senior, Agrosavia. Centro de Investigación Tibaitatá, km 14 vía Mosquera, Cundinamarca, código postal 250047, Colombia. e-mail: mmramirez@agrosavia.co, <https://orcid.org/0000-0002-7407-7321>; ⁴ Ing. Agrónomo, M.Sc. Asociado. Desarrollo Rural. Investigador Máster Asociado, Agrosavia. Centro de Investigación Tibaitatá, km 14 vía Mosquera, Cundinamarca, código postal 250047, Colombia. e-mail:jramirez@agrosavia.co, <https://orcid.org/0000-0002-3385-5748>

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 21(2):395-404, Julio-Diciembre, 2018
<https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.995>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica bajo una licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

RESUMEN

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) es una fuente importante de carbohidratos para la panela. En Colombia, la principal región panelera está ubicada en la Hoya del Río Suárez; sin embargo, falta aún consolidar una producción suficientemente rentable, competitiva y amigable con el ambiente. Uno de los aspectos más determinante en la producción de panela es la nutrición mineral, debido a que, actualmente, se hace de forma convencional, desconociendo los niveles de extracción de los materiales genéticos utilizados. El objetivo fue determinar el requerimiento nutricional, producción de biomasa y productividad en segundo corte, en el municipio de Suaita (Santander). El diseño empleado fue bloques al azar (BCA), con 3 tratamientos (las variedades CC 93-7711, CC 93-7510 y RD 75-11) y 5 repeticiones. Se realizaron 4 muestreos, a los 118, 252, 335 y 392 días después de corte (ddc). Se observó que la mayor absorción de N, Ca y Mg ocurrió a los 335 ddc, mientras que para P y K, aconteció a los 392. Los nutrientes se acumularon, especialmente, en los tallos; la CC 93-7711 superó a las otras variedades, con una absorción total en kilogramos por hectárea, de 448 N, 296 K, 85 Ca, 43 P y 40 Mg, seguida por RD 75-11, que presentó, aproximadamente, 16% menos en N-K-Ca-P-Mg. El

patrón de absorción de los nutrientes fue $N > K > Ca > P > Mg$ y, referente a la productividad, se destacó RD 75-11, luego CC 93-7711 y CC 93-7510, con 172,6, 171,1 y 159,9 toneladas de caña por hectárea, respectivamente.

Palabras clave: biomasa, eficiencia, fertilización, nutrición mineral, productividad.

ABSTRACT

Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) is a primary carbohydrates source for panela; in Colombia the main panela region is located in the Hoya del Río Suárez, however, it has not been consolidated a production sufficiently profitable, competitive and environmentally friendly production. One of the most decisive aspects in the production of panela is mineral nutrition, due to the fact that it is currently done in a conventional way without knowing the levels of extraction of the genetic materials used. The objective was to determine the nutritional requirement, production of biomass and productivity in second cut in the municipality of Suaita (Santander), the design used was blocks at random, with 3 treatments (the varieties CC 93-7711, CC 93-7510 and RD 75-11) and 5 repetitions, 4 samplings were made at 118, 252, 335 and

392 days after cutting (ddc). It was observed that the highest absorption of N, Ca and Mg occurred at 335 ddc, while for P and K, occurred at 392 ddc; nutrients accumulated especially in the stems; CC 93-7711 outperformed the other varieties with a total absorption in kilograms per hectare of 448 N, 296 K, 85 Ca, 43 P and 40 Mg, followed by RD 75-11 that presented approximately 16% less in N-K-Ca-P-Mg, the nutrient absorption pattern was N>K>Ca>P>Mg and as for productivity, RD 75-11 stood out, then CC 93-7711 and CC 93-7510 with 172.6, 171,1 and 159.9 tons of cane per hectare, respectively.

Keywords: biomass, efficiency, fertilization, mineral nutrition, productivity.

INTRODUCCIÓN

El primer productor de panela en Suramérica es Colombia y, a nivel mundial, es segundo, después de la India (FAOSTAT, 2016): Colombia alcanza 137 mil hectáreas sembradas de caña de azúcar para panela y presentó, en el 2013, una producción mundial de 10,5 millones de toneladas de panela, de las cuales, Colombia tuvo el 13,2% y estuvo distribuido en 70 mil fincas (FAOSTAT, 2016; FEDEPANELA, 2016; DANE, 2013). La agroindustria panelera es una importante actividad socioeconómica, que genera ingresos cercanos a los 1.000 millones de dólares y aporta el 7% al PIB agrícola (DANE, 2013).

Para el proceso semi-industrial de la panela existen 18 mil trapiches, como infraestructura para el procesamiento (MADR, 2015); además, participa con el mayor consumo per cápita, con 24,5kg por año, en el 2013 (FAOSTAT, 2016) y responde a una significativa demanda nacional, a un consumo arraigado en los sectores urbanos y rurales del país (Rodríguez, 2000; DANE, 2013; FEDEPANELA, 2016).

La caña de azúcar para panela, se cultiva en 27 departamentos, pero dos de los más representativos son Santander y Boyacá, localizados en la subregión Hoya del Río Suárez (HRS), con producciones aproximadas de 100 toneladas de caña por hectárea (TCH) y 10 toneladas de panela por hectárea (TPH); en cuanto a la producción total en panela, aportan 347.500 toneladas anuales (MADR, 2016). Otras regiones, como Cundinamarca, Nariño, Caldas, Tolima, Cauca y Antioquia, reportan producciones inferiores a 50 TCH y 5 TPH (Rodríguez *et al.* 2004).

Parte de los bajos rendimientos de la caña de azúcar para panela y la baja competitividad del sector, se fundamenta en el desconocimiento de las cantidades de nutrientes extraídos y removidos por una cosecha, por tanto, actualmente, se usa la información de otras latitudes o en otros lugares del país. Para las zonas de producción de panela, en ocasio-

nes, se usan resultados obtenidos del Valle del Cauca, donde el sistema productivo, el clima y los suelos, son diferentes; por ende, una de las principales limitantes de producción está relacionado con la falta de información en la dinámica de acumulación de nutrientes y los tiempos de aplicación (Mattsson, 2000; Muñoz, 2011), lo que conlleva a realizar inadecuadas recomendaciones de uso de fertilizantes, con el consecuente incremento en el costo de producción y sin encontrar los niveles óptimos de productividad (Mattsson, 2000).

De acuerdo con Mosquera (2012), la absorción de nutrientes en la caña ha sido investigada en las regiones productoras del mundo, siendo altamente influenciada por diversos factores, como la variedad, la edad y las condiciones edafoclimáticas. En Colombia, se han realizado estudios de fertilización en caña de azúcar para panela, mediante dosis de N-P-K, en variedades antiguas y suelos específicos en cada región, los cuales, quedan carentes de aplicabilidad para las nuevas variedades, debido a que se deben determinar, puntualmente, los requerimientos nutricionales en suelos representativos de las zonas paneleras que, principalmente, son terrenos de laderas.

Es así, que el objetivo de este trabajo, se fundamentó en determinar las curvas de absorción de nutrientes (N, P, K, Ca y Mg), la producción de biomasa y la productividad para las variedades CC 93-7711, CC 93-7510 y RD 75-11 de caña de azúcar para panela (*Saccharum officinarum* L.), en el municipio de Suaíta, representativo de la Hoya del Río Suárez.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo, se realizó en una finca ubicada en el municipio de Suaíta (Santander), coordenadas N 73°28'04,06" y E 6°08'28,78, temperatura promedio anual de 20°C, altitud 1.233m s.n.m. y precipitación promedio anual de 2.400mm. Los suelos de la región se clasifican, taxonómicamente, como Dyptropets y Troporthents (CORPES, 1991). La caracterización física tuvo 4 horizontes: Ap (perturbado), 18cm de longitud, color pardo oscuro y textura franco-arcillosa; B1 (Transición B-A), 10cm de longitud; B2 (Máxima iluviación de hierro o arcilla de máximo desarrollo de estructura prismoidal o de bloques), 21cm de longitud; Bw (pérdida total de la estructura inicial de roca), 28cm de longitud; en estas 3 últimas, el color fue pardo y la textura arcillosa. En cuanto a caracterización química, presentó un pH de 4,6, extremadamente ácido; aluminio intercambiable restrictivo, con 3,23cmol kg⁻¹; un contenido de materia orgánica media de 4,14%, al igual que calcio, con 3,14cmol kg⁻¹; la capacidad de intercambio catiónico "CICE" fue baja, con 8,59ppm, asimismo el fósforo, con 13,84ppm; azufre, con 6,39ppm; magnesio, con 1,15cmol kg⁻¹ y potasio, con 0,18cmol kg⁻¹.

El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar (BCA), cuyo factor de bloqueo fue la pendiente, con 3 tratamientos (las variedades CC 93-7711, CC 93-7510 y RD 75-11) y 5 repeticiones; en total, se tuvieron 15 unidades experimentales (UE). Cada UE estuvo constituida por 7 surcos, con una longitud de 7m lineales y una distancia entre surcos de 1,3m.

Se utilizó un lote experimental que, anteriormente, había sido establecido para evaluarlo en primer corte (plantilla), con el sistema de siembra de chorrillo sencillo; la distancia de siembra entre surcos fue de 1,3m y, para esta evaluación, se utilizó en el segundo corte (soca I), una vez cortada a los 15 días; luego de realizar el encalle y cepillado, se aplicó cal dolomita (3,5t ha⁻¹); se realizaron 2 controles químicos de malezas con hexazinona (Hexazinona 75 WG®), 1kg ha⁻¹; diuron (Karmex WG ®), 4kg ha⁻¹ y metsulfuron metil (Partner 50 WP ®), 15g ha⁻¹; posterior a cada control de malezas, se hizo la fertilización química, teniendo en cuenta los resultados del análisis de suelos y según un ajuste, que integra los requerimientos reportados por estudios anteriores de fertilización en caña de azúcar para panela (Mattsson, 2000) y estudios para caña de azúcar (Muñoz, 2011), estimando una producción de 100 TCH.

El plan de fertilización tuvo como base los siguientes aportes nutricionales: N (170kg), P₂O₅ (50kg), K₂O (240kg), CaO (90kg), MgO (60kg), S (45Kg), SiO₂ (320kg), Fe (12kg), Mn (1,5kg), Cu (0,128kg), Zn (1,8kg) y B (0,522kg); la fertilización, se fraccionó en dos dosis, una a los 60 ddc y la segunda a los 120 ddc.

Procedimiento de muestreo. El muestreo, se realizó siguiendo la metodología de Bertsch (2003); en cada UE, se realizó un monitoreo a los 118, 252, 335 y 392 ddc, hasta completar la madurez fisiológica, así, en cada edad de monitoreo, se cosecharon 2m lineales completos distribuidos al azar. Las variables dependientes evaluadas fueron las siguientes:

- **Materia seca (MS):** Se tomó una muestra de 250 gramos de tejido fresco por órgano (hojas, yaguas, cogollos y tallos) de la planta. Las muestras fueron pesadas antes de ingresar al horno y después de ser secadas a 70°C, por 72 horas, obteniendo el porcentaje de materia seca (%MS), mediante la ecuación 1 y, para determinar la cantidad de materia seca por hectárea (MS), se multiplicó el %MS por la materia fresca por hectárea (MF), con la ecuación 2, así:

$$\% MS = \left(\frac{\text{Peso inicial}}{\text{Peso final}} \right) \times 100 \quad (1)$$

$$MS = \%MS \times MF \quad (2)$$

- **Análisis de tejido vegetal:** A cada muestra proveniente de los órganos de la planta, se le determinó la concentración y la extracción de nutrientes (N-P-K-Ca-Mg), a través de los métodos de extracción y de cuantificación, usados por el laboratorio de química de suelos, aguas y plantas de AGROSAVIA C.I. Tibaitatá.

El valor obtenido para el contenido de cada nutriente, en cada órgano de la planta fue convertido a kg ha⁻¹, considerando el valor de MS en kg ha⁻¹, de acuerdo con la siguiente ecuación 3, así: N, P, K, Ca y Mg (expresados en %):

$$\text{Nutriente (kg ha}^{-1}\text{)} = \left(\frac{\text{Contenido de nutriente en el órgano (\%)} \times \text{MS órgano}}{100} \right) \quad (3)$$

- **Toneladas de caña por hectárea (TCH):** Fue calculado, de acuerdo con la ecuación 4:

$$TCH = \left(\frac{\text{Masa fresca de los tallos por 2m lineales} \times 7692,3^1}{2} \right) / 1000000 \quad (4)$$

¹metros lineales que tiene una hectárea de terreno con la distancia de siembra de 1,3 metros, entre surcos.

Los datos obtenidos de cada variable fueron sometidos a los supuestos de normalidad y de homogeneidad; luego, se hizo el análisis de varianza (anova), mediante el programa SAS 9.4 (SAS, 2015); se utilizaron pruebas de comparación múltiple Tukey, para realizar la correspondiente diferencia entre tratamientos, con un nivel de confiabilidad del 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Nitrógeno (N). La absorción de nitrógeno, no presentó diferencias estadísticas entre las variedades evaluadas; sin embargo, a los 118 ddc, los valores estuvieron entre 40±1,98kg ha⁻¹ y 50,9±3,56kg ha⁻¹; a los 252, entre 122,3±16,3kg ha⁻¹ y 150,64±13,3kg ha⁻¹; a los 335 ddc oscilaron de 347,9±37,7kg ha⁻¹ a 447,7±51,3kg ha⁻¹ y, por último, para los 392 ddc, quedaron entre 230,3±21,7kg ha⁻¹ y 279,2±26,5kg ha⁻¹ (Figura 1).

Cabe mencionar, que todas las variedades presentaron su mayor absorción a los 335 ddc; este aumento gradual hasta el punto de máxima absorción tiene una estrecha correlación con el ciclo fenológico de la especie, debido a que el nitrógeno está implicado en el desarrollo de los tallos, tanto en su ahijamiento como elongación y grosor (Borden, 1943; Moore & Botha, 2013), que comprende de los 2 a 12 meses y, por último, a los 392 ddc, todas las variedades redujeron su absorción; esta reducción, se puede deber a que la planta entra en proceso de maduración, a su vez, minimizando su requerimiento, porque que se ralentiza el crecimiento vegetativo (Pérez *et al.* 2015).

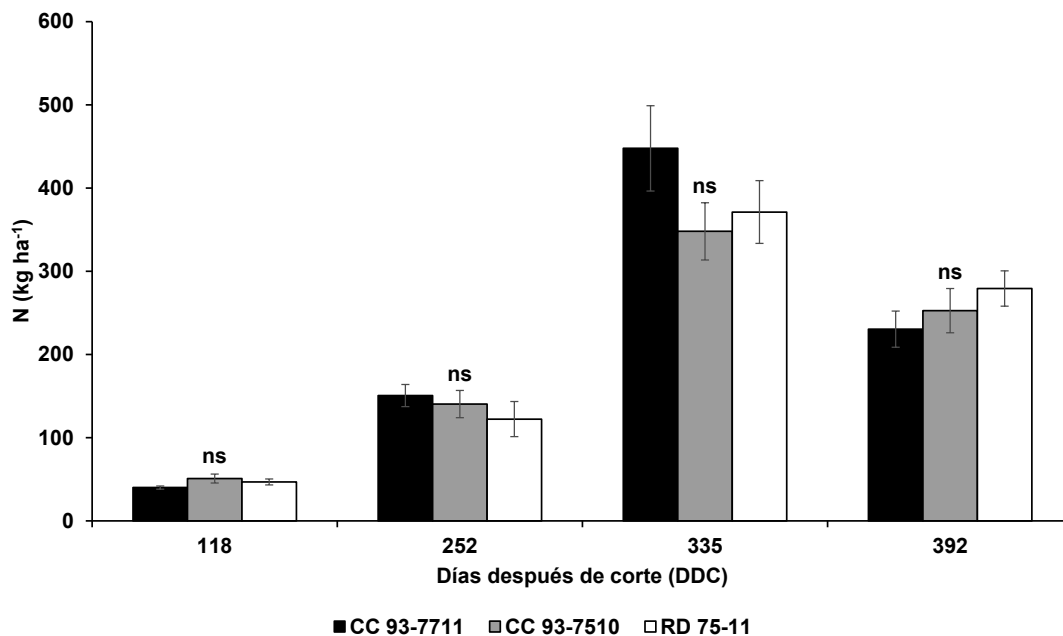


Figura 1. Absorción de nitrógeno total de tres variedades de caña de azúcar para panela, en la Hoya del Río Suárez (HRS). Presenta diferencias estadísticamente significativas (*) y no presenta diferencias estadísticamente significativas (ns), de acuerdo con la prueba de Tukey, con un nivel de confianza de 95%.

Estos resultados son superiores a los obtenidos por Oliveira (2008), quien estudió diez variedades de caña y la máxima absorción presentada fue 94,89kg ha⁻¹; Rengel *et al.* (2011), en la variedad RB 85-5035, obtuvo una absorción de 120kg ha⁻¹.

Fósforo (P). La absorción de fósforo no presentó diferencias significativas; en tanto, a los momentos particulares exhibió, para los 118 ddc, valores de 3,91±0,1kg ha⁻¹ a 4,82±0,5kg ha⁻¹; luego, a los 252 ddc, el menor fue 17,2±1,44kg ha⁻¹ y el mayor 19,2±1,74kg ha⁻¹; posteriormente, a los 335 ddc, estuvo entre 20,4±3,31kg ha⁻¹ y 20,1±4,01kg ha⁻¹ y, finalmente, en los 392 ddc, alcanzaron de 39,1±3,91kg ha⁻¹ a 42,6±2,56kg ha⁻¹ (Figura 2)

En general, su comportamiento fue ascendente durante todo el ciclo y la máxima absorción para todas las variedades fue a los 392 ddc. Esta absorción es influencia por su participación en la brotación, el desarrollo radicular, la elongación y el grosor de los tallos; adicionalmente, el fósforo está presente en el jugo y, de acuerdo con Pérez *et al.* (2015), una mayor cantidad de este elemento hace más fácil la clarificación; por ende, esto indicó que las variedades tuvieron una aceptable disponibilidad de fósforo.

En cuanto a la cantidad absorbida total, se encontró que las variedades estudiadas superan lo hallado por Schultz *et al.* (2010) y Oliveira *et al.* (2010), quienes reportaron valores de

absorción de P, entre 20 y 28kg ha⁻¹; Wagner de Oliveira *et al.* (2007) obtuvieron un requerimiento entre 24 a 36kg ha⁻¹, inferiores a lo obtenido por Velasco (2014), quien reportó valores de 80-100kg ha⁻¹.

Potasio (K). La absorción de potasio presentó diferencias estadísticas únicamente a los 118 ddc, entre la variedad CC 93-7510, que superó en 32% a CC 93-7711; no obstante, todas las variedades tuvieron un aumento progresivo en función del tiempo, de tal modo que, a los 252 ddc, se obtuvieron resultados de 117,6±15,8kg ha⁻¹ a 153,5±33,4kg ha⁻¹; después a los 335 ddc, los valores fluctuaron desde 161,7±29,4kg ha⁻¹ hasta 213,4±33,9kg ha⁻¹ y, por último, a los 392 ddc, el menor valor fue 204,4±51,9kg ha⁻¹ y el mayor 296,4±44,4kg ha⁻¹ (Figura 3).

La absorción del potasio está altamente ligada a una función metabólica y catalítica, participando en el transporte de azúcares, siendo fundamental para la fotosíntesis, por lo cual, la absorción de potasio es constante hasta el final, dada su intervención en la síntesis de carbohidratos, movimiento de compuestos orgánicos, formación y neutralización de ácidos orgánicos y maduración, debido al almacenamiento de sacarosa en los tallos, principalmente (Babu, 1990; Lazcano-Ferrat, 1999; Pérez *et al.* 2015).

Contrastando los resultados anteriores, se evidenció que fueron superiores al referenciado por Orlando Filho (1983),

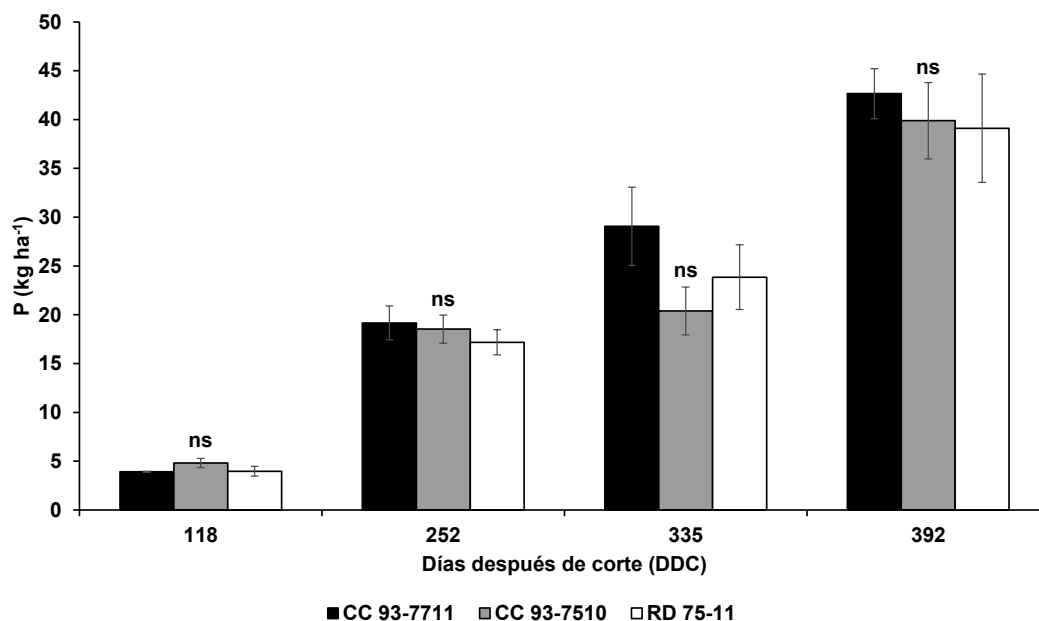


Figura 2. Absorción de fósforo total de tres variedades de caña de azúcar para panela, en la Hoya del Río Suárez. Presenta diferencias estadísticamente significativas (*) y no presenta diferencias estadísticamente significativas (ns), de acuerdo con la prueba de Tukey, con un nivel de confianza de 95%.

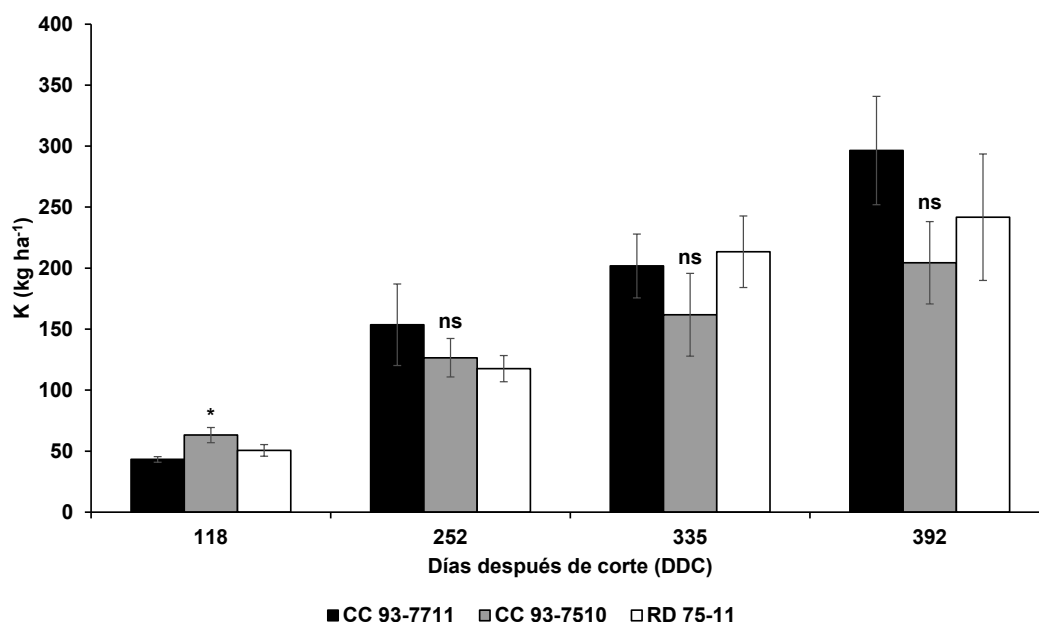


Figura 3. Absorción de potasio total de tres variedades de caña de azúcar para panela, en la Hoya del Río Suárez. Presenta diferencias estadísticamente significativas (*) y no presenta diferencias estadísticamente significativas (ns), de acuerdo con la prueba de Tukey, con un nivel de confianza de 95% ($\alpha = 5\%$).

quien presentó, como resultado, un valor de acumulación de 192kg ha^{-1} y Tasso Júnior (2007), quien obtuvo, en su investigación, valores entre 121 y 214kg ha^{-1} e inferiores a la absorción de K, obtenida por Oliveira (2008), que en un estudio de diez variedades de caña tuvo una extracción mínima de

297kg ha^{-1} y máxima 509kg ha^{-1} . Oliveira *et al.* (2010) obtuvieron, en la variedad SP 81-3250, una absorción de 400kg ha^{-1} ; Schultz *et al.* (2010), también superaron los resultados, tuvieron 518kg ha^{-1} y Velasco (2014), en su evaluación, exhibió valores entre 300 - 350kg ha^{-1} .

Calcio (Ca). La absorción de Calcio mostró diferencias significativas solamente a los 118 ddc, entre la variedad CC 93-7510 con CC 93-7711 y RD 75-11; no obstante, a los 252 ddc, sus valores iban desde $18,9 \pm 2,94 \text{ kg ha}^{-1}$ a $25,6 \pm 4,2 \text{ kg ha}^{-1}$; luego, para los 335 ddc, varió de $55,6 \pm 9,7 \text{ kg ha}^{-1}$ a $84,9 \pm 13,9 \text{ kg ha}^{-1}$ y, finalmente, a los 392 ddc, estuvo de $58,1 \pm 8,0 \text{ kg ha}^{-1}$ a $73,7 \pm 11,6 \text{ kg ha}^{-1}$ (Figura 4).

La absorción tuvo un aumento progresivo para todas las variedades hasta los 335 ddc, debido a su participación en el crecimiento, puesto que, conforme se incrementa el tamaño de los órganos, aumenta su requerimiento, porque el Ca hace parte estructural de las paredes celulares (membrana celular y lámina media); por otra parte, la disminución de CC 93-7711, para los 392 ddc, se puede explicar, posiblemente, como una deficiencia nutricional, debido a la baja movilidad del Ca (Malavolta *et al.* 1997).

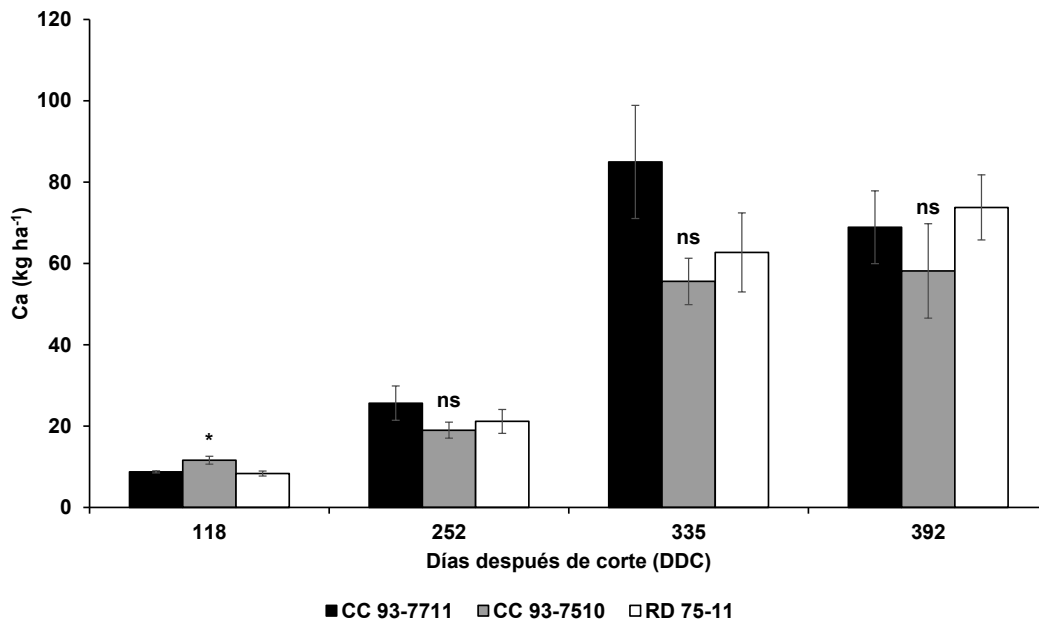


Figura 4. Absorción de calcio total de tres variedades de caña de azúcar para panela, en la Hoya del Río Suárez. Presenta diferencias estadísticamente significativas (*) y no presenta diferencias estadísticamente significativas (ns), de acuerdo con la prueba de Tukey, con un nivel de confianza de 95%.

La absorción total estuvo entre $58,1$ y $84,9 \text{ kg ha}^{-1}$, siendo similar a lo señalado por Quintero (1999), Bertsch (2003), Wagner de Oliveira *et al.* (2003) y Velasco (2014), quienes reportaron valores de $38-103 \text{ kg ha}^{-1}$; Oliveira *et al.* (2010) tuvieron, como resultado, una acumulación de 63 kg ha^{-1} y Orlando Filho (1983), en la investigación, obtuvo una acumulación de $72,5 \text{ kg ha}^{-1}$. Por otra parte, fue inferior al reportado por Mendes (2006), con 138 kg ha^{-1} y Oliveira (2008), quien obtuvo, estudiando diez variedades de caña, una mínima absorción de 142 kg ha^{-1} y máxima, de 273 kg ha^{-1} .

Magnesio (Mg). La absorción de Magnesio presentó diferencias estadísticas a los 118 ddc, entre la CC 93-7510, que tuvo $6,69 \pm 0,74 \text{ kg ha}^{-1}$ y CC 93-7711, con $4,55 \pm 0,22 \text{ kg ha}^{-1}$; también, a los 335 ddc, CC 93-7711 superó en 34% a CC 93-7510. Entre tanto, a los 252 y 392 ddc, no hubo diferencias significativas; sin embargo, a los 252 ddc, se evidenciaron valores de $14,6 \pm 1,11 \text{ kg ha}^{-1}$ a $16,7 \pm 2,31 \text{ kg ha}^{-1}$ y, por

último, a los 392 ddc, quedaron valores desde $28 \pm 3,46 \text{ kg ha}^{-1}$ hasta $31,2 \pm 4,15 \text{ kg ha}^{-1}$ (Figura 5).

El comportamiento, en general, fue creciente para RD 75-11 y CC 93-7510, que tuvieron la máxima absorción a los 392 ddc, mientras que CC 93-7711 aumentó progresivamente, hasta los 335 ddc, donde obtuvo su máxima absorción y, luego, presentó una disminución, la cual, se atribuye a una deficiencia nutricional, debido a la competencia iónica de cationes con altas concentraciones, como Ca y, principalmente de K, que inhiben su absorción (Malavolta *et al.* 1997); además, que inicia una disminución de la actividad fotosintética, dando, como resultado, un menor requerimiento de magnesio, como componente de la clorofila y su participación en la síntesis de ATP (Marschner, 1983).

Los valores de absorción Mg estuvieron entre 28 y $39,7 \text{ kg ha}^{-1}$, siendo similares al obtenido por Velasco (2014), que

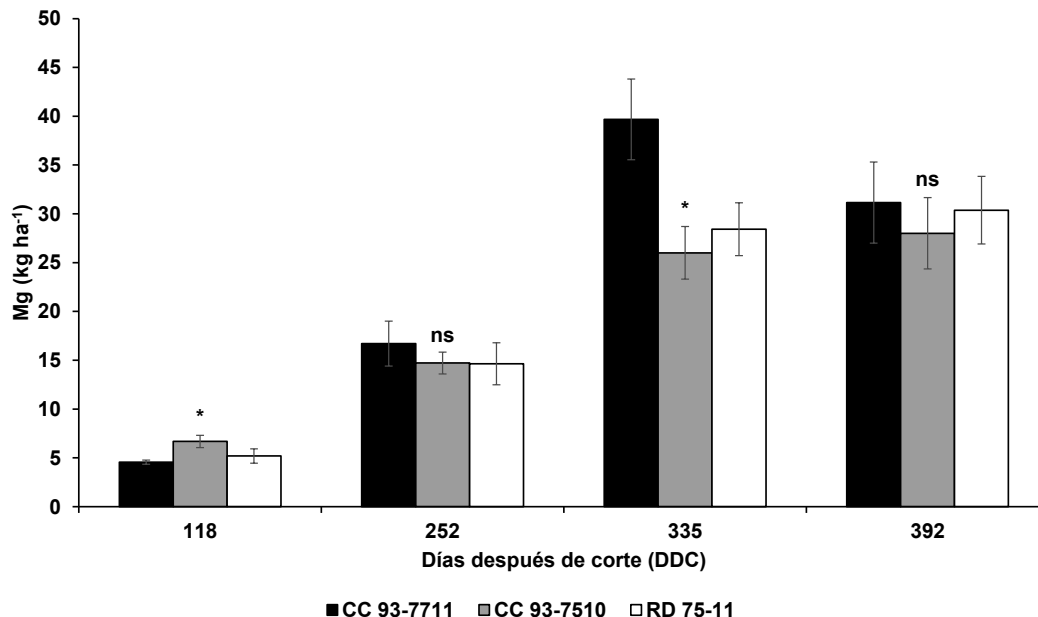


Figura 5. Absorción de magnesio total de tres variedades de caña de azúcar para panela, en la Hoya del Río Suárez. Presenta diferencias estadísticamente significativas (*) y no presenta diferencias estadísticamente significativas (ns), de acuerdo con la prueba de Tukey, con un nivel de confianza de 95%

fueron entre 35-45kg ha⁻¹; adicionalmente, los resultados del estudio superaron a las variedades RB72454 y RB763710, las cuales, tuvieron en promedio 7,3kg ha⁻¹, estudiadas por Oliveira (2008) y, por último, los resultados fueron inferiores a los presentados por Rengel *et al.* (2011), quienes reportaron una acumulación de 71 kg ha⁻¹. Quintero (1999) y Wagner de Oliveira *et al.* (2003) obtuvieron resultados en un rango de 46 a 65kg ha⁻¹ y Oliveira (2008), con una máxima absorción de Mg en caña, de 95,7kg ha⁻¹.

En los datos de productividad expresados como TCH (Figura 6), a los 252 ddc, no hubo diferencias estadísticas; sin embargo, los valores estaban de 72,3±5,46 TCH a 89,3±8,92 TCH; posteriormente, a los 335 ddc, presentó diferencias significativas, únicamente entre CC 93-7711, con 167,3±10,8 TCH y CC 93-7510, que obtuvo 127,9±13,2 TCH y, finalmente, a los 392 ddc, no hubo diferencias estadísticas, pero su menor valor fue 159,9±16,7 TCH y el mayor, 171,1±10,2 TCH.

El orden de absorción de los nutrientes de caña de azúcar para panela fue N>K>Ca>P>Mg; en cuanto al valor de la absorción total, teniendo como patrón este orden N-K-Ca-P-Mg, CC 93-7711, alcanzó 448-296-85-43-40kg ha⁻¹; RD 75-11, obtuvo 371-242-74-39-30kg ha⁻¹ y CC 93-7510, presentó 348-204-58-40-28kg ha⁻¹; finalmente, la extracción de nutrientes por cada tonelada producida, teniendo este orden (N-K-Ca-P-Mg) fue, para CC 93-7711: 2,62-1,73-0,50-0,25-

0,23kg t⁻¹ caña; CC 93-7510: 2,18-1,28-0,36-0,25-0,18kg t⁻¹ caña y RD 75-11 2: 15-1,40-0,43-0,23-0,17kg t⁻¹ caña.

Dentro del análisis expuesto, se evidenció una relación entre la producción final con la extracción total; se observó que, CC 93-7711, tuvo los mayores valores de requerimiento; asimismo, su productividad se encontró cercana a la obtenida por RD 75-11; CC 93-7510 ocupó la segunda posición en absorción, pero su productividad fue la menor; en tanto RD 75-11 fue la variedad con mayor eficiencia nutricional, debido a que mostró una menor extracción, mientras tuvo la mayor producción.

El conocimiento de los requerimientos nutricionales por cada material genético es una herramienta con alta confiabilidad, la cual, permitirá proyectar un ajuste a los planes de fertilización, teniendo en cuenta que las aplicaciones deberán ser inferiores a los 180 ddc, debido a que afectan los contenidos nutricionales de los jugos, repercutiendo en la elaboración de panela con mieles de baja textura y, por consiguiente, panela con baja consistencia (Pérez *et al.* 2015).

Por tanto, se sugieren tres momentos de aplicación, a los 50, 100 y 150 ddc y también un porcentaje de aplicación para cada nutriente, de la siguiente manera: para los 50 ddc, se deberá aplicar 40% N, 70% P, 30% K, 35% Ca y Mg; 100 ddc: 30% N, 30% P, 40% K, 35% Ca y Mg y, por último, a los 150 ddc: 30% N, 30% K, 30% Ca y Mg. El aporte de Ca y Mg, ade-

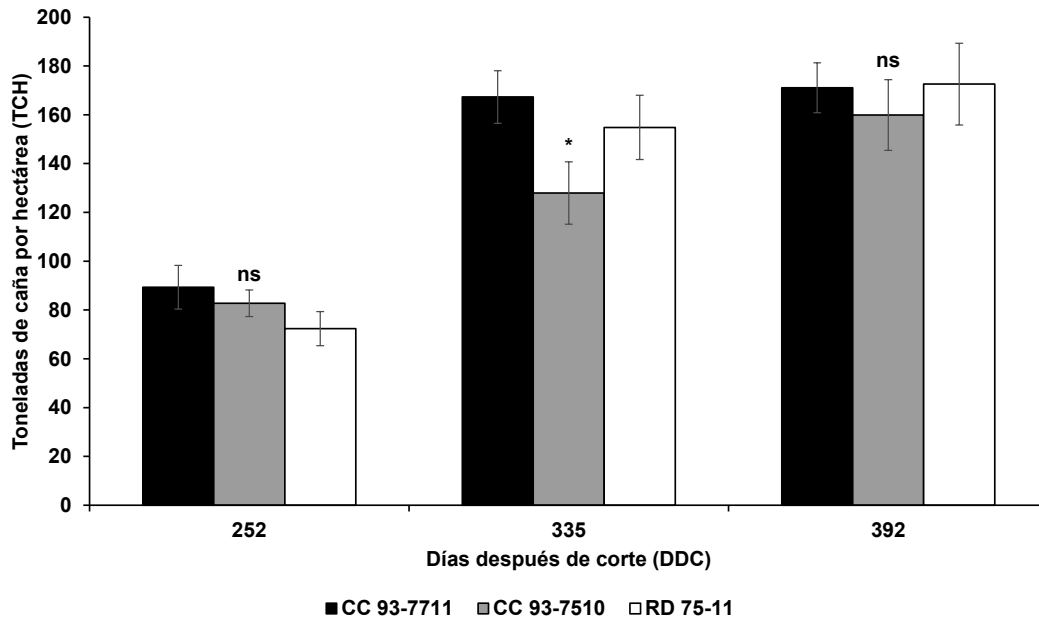


Figura 6. Toneladas de caña por hectárea (TCH) producidas por las tres variedades de caña de azúcar para panela, en la Hoya del Río Suárez. Presenta diferencias estadísticamente significativas (*) y no presenta diferencias estadísticamente significativas (ns), de acuerdo con la prueba de Tukey, con un nivel de confianza de 95%.

más de suministrarse a través de enmiendas específicamente para el ajuste de la saturación de aluminio, también debe ser aportado por medio de fuentes simples o compuestas, sin perder la relación 3 Ca por 1 Mg o 2 Ca por 1 Mg.

Agradecimientos: Al Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña), por permitir el uso del material vegetal (CC 93-7711 y CC 93-7510), mediante acuerdos de entrega para actividades de investigación. **Conflictos de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. **Financiación:** Este estudio fue financiado con fondos públicos de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), en el macroproyecto de Generación de recomendaciones agronómicas y nuevas tecnologías en la producción de panela en Colombia.

REFERENCIAS

1. BABU, C. 1990. Sugarcane. Allied Publishers. New Delhi. India. p.252.
2. BERTSCH, F. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. Ed. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (San José, Costa Rica). p.306.
3. BORDEN, R. J. 1943. Nitrogen effects upon the yield and crop of sugar cane. Haw. Planters Records. 52:1-54.
4. CORPES. 1991. Atlas Ambiental del Departamento de Santander. Gobernación de Santander. Departamento Nacional de Planeación. 1989. Plan de Acción Forestal para Colombia. Gobierno de Holanda; Gobierno Alemán; FAO; Gobierno de Colombia. Bogotá.
5. Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE-. 2013. Disponible desde Internet en: <http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario> (con acceso 26/06/2018).
6. FAOSTAT. 2016. Food Agriculture Organization of the United Nations Statistics. Disponible desde Internet en: <http://faostat3.fao.org/home/E> (con acceso 26/06/2018).
7. Federación Nacional de Productores de Panela –FE-DEPANELA-. 2016. Sistema estadístico. Disponible desde Internet en: <http://www.fedepanela.org.co/index.php/informacion-especializada> (con acceso 02/07/2018).

8. LAZCANO-FERRAT, I. 1999. El potasio esencial para un buen rendimiento en la caña de azúcar. *Informaciones Agronómicas* 35:1-3.
9. MADR. 2016. Evaluaciones Agropecuarias municipales. <https://www.minagricultura.gov.co/Paginas/default.aspx> (con acceso 02/07/2018).
10. MADR. 2015. Bullets cadena agroindustrial de la panela. Sistema de Información de Gestión y Desempeño de Organizaciones de Cadenas-MADR. Disponible desde Internet en: <http://sioc.minagricultura.gov.co> (con acceso 09/07/2018).
11. MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas. Princípios e aplicações, 2 ed. Piracicaba: Potafós. p.319.
12. MARSCHNER, H. 1983. General introduction to the mineral nutrition of plants. In *Inorganic plant nutrition*. Springer, Berlin, Heidelberg (Alemania). p.5-60.
13. MATTSSON, R. 2000. Suelos, Nutrición y Fertilización de la caña de azúcar para panela. EN: Manrique, R.; Insuasty, O.; Mora, C.; Rodríguez, G.; Blanco, R.; Mejía, L.; Pinto, L.; Sandoval, G. (eds). Manual de caña de azúcar para la producción de panela. Ed. Corpoica (Colombia). p.101-117.
14. MENDES, L.C. 2006. Eficiência nutricional de cultivares de cana-de-açúcar. Dissertação (Mestrado). Ed. Universidade Federal de Viçosa (Brasil). p.62.
15. MOORE, P.H.; BOTHA, F.C. 2013. Sugarcane: Physiology, Biochemistry, and Functional Biology. John Wiley & Sons. 716p.
16. MOSQUERA, C. 2012. Fertilización en tasa variada. *Rev. Tecnicaña* (Colombia). 1(28):1-6.
17. MUÑOZ, A. 2011. Importancia de la fertilización, de la nutrición y de la materia orgánica para la productividad de la caña de azúcar. Memorias Seminario Nacional de caña panelera, Santander, Barbosa. p.16.
18. OLIVEIRA, E.C.A. 2008. Dinâmica de nutrientes na cana-de-açúcar irrigado em sistema de produção. Dissertação (Doutoral). Ed. Universidade Federal Rural de Pernambuco (Brasil). 84p.
19. OLIVEIRA, E.C.; OLIVEIRA, R.I.D.; DE ANDRADE, B.M.; FREIRE, F.J.; LIRA JÚNIOR, M.A.; MACHADO, P.R. 2010. Crescimento e acúmulo de matéria seca em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. *Rev. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 14(9):951-960. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000900007>.
20. ORLANDO FILHO, J. 1983. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil. Ed. PLANALSÚCAR (Brasil). p.368.
21. PÉREZ, H.; SANTANA, I.; RODRÍGUEZ, I. 2015. Manejo sostenible de tierras en la producción de caña de azúcar (Tomo II). En Universidad Técnica de Machala. p.188.
22. QUINTERO, D.R. 1999. Extracción de nutrimentos por la caña de azúcar. *Rev. Carta Trimestral Cenicaña* (Calí, Colombia). 1(2):4-7.
23. RENGEL, M.; GIL, F.; MONTAÑO, J. 2011. Crecimiento y dinámica de acumulación de nutrientes en caña de azúcar. I. Macronutrientes. *Bioagro* (Venezuela). 23(1):43-50.
24. RODRÍGUEZ, G. 2000. La Panela en Colombia frente al nuevo milenio: Un análisis de la cadena agroindustrial. En CORPOICA-FEDEPANELA, Manual de caña de azúcar para la producción de panela. Bucaramanga.
25. RODRÍGUEZ, G.; GARCÍA, H.; ROA, Z.; SANTACOLOMA, P. 2004. Producción de panela como estrategia de diversificación en la generación de ingresos en áreas rurales de América Latina. FAO-AGROSAVIA. Roma. Italia. Disponible desde Internet en: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/ags/publications/AGSF_WD6s.pdf (con acceso 02/07/2018).
26. SAS. 2015. Base SAS 9.4 procedures guide. SAS Institute.
27. SCHULTZ, N.; LIMA, E.; PEREIRA, M.G.; ZONTA, E. 2010. Efeito residual da adubação na cana-planta e da adubação nitrogenada e potássica na cana-soca colhidas com e sem a queimada palhada. *Rev. Brasileira Ciência, do Solo Viçosa* (Brasil). 34(3):811-820. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000300023>
28. TASSO JÚNIOR, L.C.; MARQUES, M.O.; CAMILOTTI, F.; SILVA, T. 2007. Extração de macronutrientes em cinco variedades de cana-de-açúcar cultivadas na região centro-norte do estado de São Paulo. *Rev. STAB: Açúcar, álcool e Subprodutos* (Brasil). 25(6):6-8.

29. VELASCO-VELASCO, J. 2014. Los biofertilizantes y la producción de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) Campus Córdoba, Colegio de Postgraduados, México.
30. WAGNER DE OLIVEIRA, M.; CARVALHO MENDES, L.; PEREIRA BARBOSA, M.H.; CÉSAR VITTI, A.; OLIVEIRA FARIA, R. 2003. Avaliação do potencial produtivo de sete variedades de cana-de-açúcar sob irrigação complementar. Rev. Informações Agronômicas (Brasil). (101):9-10.
31. WAGNER DE OLIVEIRA, M.; FREIRE, F.M.; MACÊDO, G.A.; FERREIRA, J.J. 2007. Nutrição mineral e adubação da cana-de-açúcar. Informe Agropecuário (Belo Horizonte, Brasil). 28(239):30-43.

Recibido: Junio 7 de 2018

Aceptado: Octubre 19 de 2018

Cómo citar:

González Chavarro, F.; Cabezas Gutiérrez, M.; Ramírez-Gómez, M.; Ramírez Durán, J. 2018. Curvas de absorción de macronutrientes en tres variedades de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) para panela en la Hoya del Río Suárez. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 21(2):395-404. <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.99>