



## Respuesta alométrica de dos cultivares de caña para panela a la fertilización foliar en vivero<sup>1</sup>

### Allometric response of two sugarcane cultivars for panela to foliar fertilization in the nursery

Leidy Yibeth Deantonio-Florido<sup>2</sup>, Luis Gabriel Bautista-Montealegre<sup>2</sup>, Juan Carlos Lesmes-Suárez<sup>2</sup>,  
William Andrés Cardona<sup>2</sup>

- <sup>1</sup> Recepción: 18 de agosto, 2020. Aceptación: 14 de diciembre, 2020. Este trabajo se desarrolló en el proyecto “Conformación de núcleos productores de semilla de caña a partir de plantas obtenidas mediante la extracción de yemas y establecimiento de semilleros comerciales en los departamentos de Santander, Boyacá y otras regiones que demanden la tecnología” financiado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia y ejecutado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).
- <sup>2</sup> Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Centro de Investigación Tibaitatá – Km. 14, vía Mosquera – Bogotá, Colombia. Ideantonio@agrosavia.co (autor para la correspondencia, <https://orcid.org/0000-0002-8520-1340>); lbautista@agrosavia.co (<https://orcid.org/0000-0001-9305-5630>); jlesmes@agrosavia.co (<https://orcid.org/0000-0002-1322-2783>); wcardona@agrosavia.co (<https://orcid.org/0000-0001-9610-4135>).

## Resumen

**Introducción.** En Colombia la agroindustria de la panela se destaca por sus aportes sociales, económicos y de seguridad alimentaria; sin embargo, demanda mejoras tecnológicas en el manejo de la fertilización de los cultivares de caña. **Objetivo.** Determinar el efecto de la fertilización foliar en etapa de vivero sobre parámetros de crecimiento de dos cultivares de caña de azúcar para elaboración de panela. **Materiales y métodos.** El experimento se llevó a cabo en 2018 en la sede Cimpa de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Se estableció un diseño experimental completamente aleatorizado para evaluar en los cultivares CC 93-7510 y CC 93-7711 el crecimiento de plantas expuestas a tres tratamientos de fertilización foliar: (1) fuente nitrogenada, (2) fuente con macro y micronutrientes (completa), (3) mezcla de las fuentes, y el testigo absoluto. Se registraron variables alométricas en el tiempo (altura, diámetro, número de hojas y peso seco de raíz) e índices de crecimiento; con las primeras se construyeron modelos lineales mixtos generalizados y modelos Poisson, y con los índices un análisis de varianza uni y multivariado. **Resultados.** Los factores de evaluación (fertilización y tiempo) presentaron efectos significativos ( $p \leq 0,05$ ) sobre las variables alométricas en los dos cultivares en comparación con el control (sin fertilización); mientras que los índices de crecimiento presentaron diferencias estadísticamente significativas por efecto de las fuentes de fertilización. Las plantas de caña CC 93-7510 fertilizadas con la mezcla de fuentes nitrogenadas y completa presentaron mayor altura y diámetro de los tallos, número de hojas y peso seco de raíces. Las plantas de caña CC 93-7711 fertilizadas con la fuente completa mostraron mayor diámetro del tallo y acumulación de peso seco de raíces. **Conclusiones.** La fertilización foliar en plantas de caña de ambos cultivares permitió un mayor desarrollo alométrico en menor tiempo.

**Palabras clave:** *Saccharum officinarum* L., material de propagación, índices de crecimiento, macro y micronutrientes, nutrición foliar.



## Abstract

**Introduction.** In Colombia, the panela agribusiness stands out for its social, economic, and food security contributions; however it demands technological improvements in the management of the fertilization of sugarcane cultivars. **Objective.** To determine the effect of foliar fertilization in the nursery stage on the growth parameters of two sugarcane cultivars for the production of panela. **Materials and methods.** The experiment was carried out in 2018 at the Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) Cimpa headquarters. A completely randomized experimental design was established to evaluate in cultivars CC 93-7510 and CC 93-7711 the growth of plants exposed to three foliar fertilization treatments: (1) nitrogen source, (2) source with macro and micronutrients (complete), (3) mixture of sources, and an absolute control. Allometric variables (height, diameter, number of leaves, and root dry weight) and growth indices were recorded over time; with the former, generalized linear mixed models and Poisson models were constructed, and with the indices, a uni and multivariate analysis of variance. **Results.** The evaluation factors (fertilization and time) presented significant effects ( $p \leq 0.05$ ) on the allometric variables in the two cultivars compared to the control (without fertilization); while the growth indices presented statistically significant differences due to the effect of the fertilization sources. The CC 93-7510 sugarcane plants fertilized with the mixture of complete and nitrogen sources presented greater height and diameter of the stems, number of leaves, and dry weight of roots. As for the CC 93-7711 sugarcane plants fertilized with the complete source, they showed greater diameter of the stem and accumulation of dry weight of roots. **Conclusions.** Foliar fertilization in sugarcane plants of both cultivars allowed greater allometric development in less time.

**Keywords:** *Saccharum officinarum* L., propagation material, growth rates, macro and micronutrients, foliar nutrition.

## Introducción

El área cosechada de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) para la producción de panela en Colombia ascendió a 196 711 ha al finalizar 2019, de estas se obtuvo una producción de 1 220 441 t con un rendimiento promedio nacional de 6,20 t ha<sup>-1</sup>, siendo los principales departamentos productores Santander, Boyacá, Antioquia y Cundinamarca (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020). Según la Federación Nacional de Productores de Panela (2019), las exportaciones del producto procesado hacia destinos como España, Estados Unidos, Italia y Francia pasaron de 3503 t en 2018 a 4911 t en 2019, lo cual representó un incremento de 30 % en el valor comercial, económicamente representó 5,73 y 7,44 millones de USD en 2018 y 2019, respectivamente. En el país, la agroindustria de la panela se considera una de las más tradicionales e importantes desde el punto de vista social, económico y de seguridad alimentaria, ya que genera cerca de 350 000 empleos y agrupa a más de 70 000 agricultores de pequeña a mediana escala, los cuales llevan a cabo el procesamiento de la caña en cerca de 18 000 trapiches, ubicados en la región Andina de Colombia (Rodríguez-Borray et al., 2020).

Los cultivares de *Saccharum officinarum* L. destinados a la producción de panela en Colombia son considerados como tradicionales o de vieja introducción, ya que desde hace más de cinco décadas se reporta su siembra en la mayoría de los veintinueve departamentos productores (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020). Los materiales empleados para el establecimiento de nuevas plantaciones provienen de lotes comerciales con edades superiores a los 10 y 20 años, lo que representa alto desgaste genético, debido a la baja tasa de renovación y mezcla de cultivares, incremento de la susceptibilidad a insectos plaga y patógenos, y aplicación de prácticas de manejo inadecuadas, que pueden causar reducción del rendimiento por unidad de área, disminución en los ciclos de cultivos aprovechables y baja calidad del producto final.

Entre los años 2007 a 2012, la Corporación Colombiana de investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) y el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (CENICAÑA) identificaron diez cultivares promisorios con potencial productivo, esto después de evaluar 78 materiales (Ramírez-Durán et al., 2014b). Como resultado de estos estudios experimentales, AGROSAVIA introdujo y caracterizó los cultivares CENICAÑA COLOMBIA CC 93-7510, CC 93-7711, CC 91-1555 y CC 93-714 en los departamentos de Boyacá, Santander, Cundinamarca, Tolima, Nariño y Antioquia; y en los cuales se observó buena adaptación a suelos de fertilidad natural baja, germinaciones superiores al 80 %, producción de caña entre 180 a 270 t ha<sup>-1</sup> y producción de panela entre 21,5 t a 30,8 t ha<sup>-1</sup> (Ramírez-Durán et al., 2014a; 2019).

Para potencializar las características productivas y agroindustriales de los cultivares de caña, y garantizar un manejo adecuado de patógenos e insectos plaga que afectan el cultivo (Tarazona-Parra, 2011; Bustillo-Pardey, 2013), se requiere del mejoramiento de las prácticas de multiplicación y manejo en vivero del material de siembra o propagativo, el cual, posteriormente puede ser empleado en la multiplicación masiva y/o establecimiento de cultivos comerciales (Ramírez-Durán et al., 2019). Con base en lo anterior, AGROSAVIA con el acompañamiento de CENICAÑA, ajustó la metodología de producción de plantas germinadas a partir de yemas individuales en vivero del sector azucarero de Colombia (Viveros et al., 1997) para el sector panelero (Ramírez-Durán et al., 2019). Las plantas obtenidas en vivero constituyen el material vegetal base de los semilleros (Ramírez-Durán et al., 2019). Para el manejo de dichas plantas es necesario implementar monitoreo de plagas, realización de podas, control de arvenses y suministro de riego según las condiciones climáticas de cada zona; también se ha recomendado generar planes de fertilización líquida nitrogenada aplicados a la parte aérea, acompañados de la aspersión de fertilizantes foliares cada tres días (Ramírez-Durán et al., 2019).

Acorde con lo anterior, el nitrógeno (N) es uno de los elementos requeridos en grandes cantidades por las plantas, en etapas iniciales de desarrollo favorece el incremento de la actividad meristemática de las yemas vegetativas o brotes, lo que estimula la multiplicación y el crecimiento de tallos, el macollamiento o ahijamiento, aumento del área foliar y número de hojas, por ende, induce una mayor tasa de fijación de dióxido de carbono y aumento en la acumulación de materia seca (de Oliveira et al., 2018).

Con relación al fósforo (P), este es un elemento esencial de los ácidos ribonucleicos (ARN) y es indispensable para procesos bioquímicos y fisiológicos, incluida la transferencia de energía, el metabolismo de proteínas, entre otros (Prabhu et al., 2007). En caña de azúcar, de Olivera et al. (2018) indicaron que el P influye en la absorción y metabolismo de N, y con un suministro inadecuado, se presenta disminución en la absorción de nitrato de la solución del suelo y su translocación de las raíces a los brotes; mientras que, González-Chavarro et al. (2018) reportaron que el P participa en la brotación, desarrollo radical, elongación y el grosor de los tallos, y que su contenido en los tejidos facilita la clarificación en procesos agroindustriales de elaboración de la panela.

La nutrición de la caña de azúcar para la producción de panela demanda también el aporte de otros elementos. La fertilización con potasio (K) se lleva a cabo en la siembra y después de cada corte, esto para suplir la pérdida por desplazamiento en el perfil del suelo (González-Chavarro et al., 2018) y contribuir a fortalecer las raíces y tallos a partir de la producción de celulosa. El K participa, entre otros, en la formación y acumulación de carbohidratos en los tallos, el movimiento de compuestos orgánicos, la formación y neutralización de ácidos orgánicos e influye en el tiempo de maduración de los tejidos (Pérez et al., 2015). El azufre (S) contribuye en el metabolismo de las plantas (Hawkesford et al., 2012); sin embargo, a pesar de tener impactos positivos sobre el rendimiento de la caña de azúcar en condiciones de campo, presenta un efecto negativo en la densidad y altura de la planta (Abdelrahman & Abdelrahman, 2014). La aplicación de calcio (Ca) por vía foliar en cultivos de caña de azúcar está relacionada con el retraso en las fases de desarrollo del cultivo, debido a la acumulación que presenta en los ápices vegetativos, lo que induce una reducción en los niveles de este elemento (Endres et al., 2015).

El magnesio (Mg) es componente estructural de la clorofila, por lo que es requerido para la fotosíntesis y la síntesis de proteínas, además de la formación de sacarosa (Hawkesford et al., 2012). El suministro de Mg a las

plantas de caña de azúcar contribuye al incremento del contenido de clorofila en los tejidos foliares, de la longitud y del diámetro medio de la raíz; así como, de la acumulación de materia seca, contenido de carbohidratos y azúcares solubles.

Dentro de los micronutrientes, el hierro (Fe) juega un papel crucial en las reacciones de oxidación-reducción (o reacción redox) de las células, mientras que el manganeso (Mn) es activador de varias enzimas involucradas en la desintoxicación de radicales superóxidos y la síntesis de lignina (Broadley et al., 2012). La aplicación foliar de estos elementos ( $\text{FeSO}_4$  y  $\text{MnSO}_4$ ) en la caña de azúcar en fase productiva, contribuye a incrementar el ahijamiento y el rendimiento agrícola (Mishra et al., 2014).

El boro (B) es importante para la integridad de la membrana y pared celular (Broadley et al., 2012), pero la mayoría de los estudios realizados en caña de azúcar mencionan poco efecto sobre el rendimiento bajo fertilización edáfica de este elemento, en parte debido a pérdidas por lixiviación (Rosolem & Biscaro, 2007) y toxicidad por dosis elevadas (Franco et al., 2011).

El zinc (Zn) desempeña un papel fundamental en la integridad de la membrana, así como la síntesis de proteínas y de la fitohormona ácido indolacético (IAA) (Broadley et al., 2012), su deficiencia en la caña de azúcar puede causar macollamiento reducido, entrenudos cortos y tallos delgados (Filho et al., 2015), es así como su aplicación mejora los atributos industriales, aumentando la biomasa aérea, producción y rendimiento de tallos por hectárea (Franco et al., 2011).

La aplicación de molibdeno (Mo) en caña de azúcar incrementa el rendimiento agrícola y la producción de azúcar en determinados cultivares (dos Santos et al., 2018), debido al estímulo del metabolismo del N y la asimilación de amoníaco por actividad enzimática de la nitrogenasa, nitrato reductasa y glutamina sintetasa (Broadley et al., 2012; Li-Ping et al., 2007).

Finalmente, González-Chavarro et al. (2018) registraron en los principales cultivares de caña de azúcar para panela en Colombia, los requerimientos primordiales de N, K, Ca, P y Mg en campo; sin embargo, al reconocer la importancia de la nutrición mineral en cultivos de caña para panela es necesario también contar con más información sobre la optimización de la fertilización en fase de vivero de los cultivares que darán origen a semilleros y posteriormente a los nuevos cultivos comerciales en el país. Asimismo, es fundamental realizar ajuste técnico sobre las tecnologías existentes y garantizar la producción de plantas sanas, vigorosas, bien nutridas y, de ser posible, en menor tiempo.

Con el fin de contribuir a los avances en nutrición de los principales cultivares comerciales de caña empleados en la producción de panela (González-Chavarro et al., 2018; Ramírez-Durán et al., 2019; Wilches-Ortiz et al., 2019), el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de la fertilización foliar en etapa de vivero sobre parámetros de crecimiento de cultivares de caña de azúcar para elaboración de panela.

## Materiales y métodos

### Localización

El experimento se llevó a cabo en el segundo semestre del año 2018, durante un ciclo de producción de plantas germinadas correspondiente a noventa días, en las áreas de germinación y crecimiento del vivero no protegido de la sede Cimpa de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), ubicado en el municipio de Barbosa (Santander, Colombia), a  $05^{\circ} 55' 57''$  latitud norte y  $73^{\circ} 37' 16''$  longitud oeste y a 1550 m de altitud, con temperaturas promedio de  $20^{\circ}\text{C}$  y precipitación media anual de 1800 mm.

## Material vegetal

Se emplearon plantas de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) para la producción de panela de los cultivares comerciales CC 93-7510 y CC 93-7711, obtenidas mediante la técnica de extracción de yemas individuales descrita por Ramírez-Durán et al. (2019). El material de propagación se sembró en bandejas germinadoras con dimensiones de 60 x 40 x 12 cm, con una mezcla de ceniza de caña y gravilla en relación 1:1, previamente tratada con un fungicida preventivo-curativo de acción sistémica y de contacto, a base de Carboxin + Thiram en dosis de 3 g l<sup>-1</sup> de agua. Finalmente, veinte días después de germinadas, las plantas se trasplantaron en bandejas de crecimiento de 67 alveolos, se empleó como sustrato tierra negra previamente cernida y tratada mediante la aspersión de los fungicidas sistémicos de efecto preventivo y curativo: Benomil y Procimidone, en dosis de 1 g l<sup>-1</sup>.

## Tratamientos

Se evaluaron cuatro tratamientos de fertilización foliar (T), compuestos por un fertilizante nitrogenado (T1), un fertilizante completo con macro y micronutrientes (T2), la mezcla de las fuentes nitrogenada y completa (T3) y un testigo o control sin fertilización (T4) (Cuadro 1). La fuente nitrogenada estuvo compuesta por 46 % N ureico, mientras que la fuente completa estaba compuesta por 180 g l<sup>-1</sup> N + 100 g l<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 40 g l<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O + 0,21 g l<sup>-1</sup> CaO + 12,5 g l<sup>-1</sup> MgO + 33 g l<sup>-1</sup> S + 1,35 g l<sup>-1</sup> B + 0,03 g l<sup>-1</sup> Co + 2,70 g l<sup>-1</sup> Cu + 0,32 g l<sup>-1</sup> Fe + 2,30 g l<sup>-1</sup> Mn + 0,09 g l<sup>-1</sup> Mo + 7,80 g l<sup>-1</sup> Zn. Se aplicó a las plantas de caña un volumen de 200 ml m<sup>-2</sup> de las soluciones de fertilizantes con atomizador (desde el día veintitrés después de siembra), con una frecuencia de aplicación de tres veces por semana hasta completar la octava semana (en promedio sesenta días). En todos los tratamientos se aplicó 2,5 cm<sup>3</sup> l<sup>-1</sup> de un aditivo a base de polisacáridos, alcoholes polivinílicos, siliconas, sustancias reguladoras del pH con una concentración de 79,45 g l<sup>-1</sup>.

**Cuadro 1.** Fuentes y dosis de fertilizantes foliares aplicados a plantas de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) para panela de los cultivares comerciales CC 93-7510 y CC 93-7711 en fase de vivero en Barbosa, Santander, Colombia. 2018.

**Table 1.** Sources and doses of foliar fertilizers applied to the sugarcane plants (*Saccharum officinarum* L.) for panela from commercial cultivars CC 93-7510 and CC 93-7711 in the nursery phase in Barbosa, Santander, Colombia. 2018.

Tratamiento	Fertilizante*	Dosis/aplicación
1	Fuente nitrogenada	3 g l <sup>-1</sup>
2	Fuente completa	7,5 cm <sup>3</sup> l <sup>-1</sup>
3	Fuente nitrogenada + completa	3 g l <sup>-1</sup> + 7,5 cm <sup>3</sup> l <sup>-1</sup>
4	Sin fertilización	0

\*Fuente nitrogenada: 46 % N ureico; fuente completa: 180 g l<sup>-1</sup> N + 100 g l<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 40 g l<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O + 0,21 g l<sup>-1</sup> CaO + 12,5 g l<sup>-1</sup> MgO + 33 g l<sup>-1</sup> S + 1,35 g l<sup>-1</sup> B + 0,03 g l<sup>-1</sup> Co + 2,70 g l<sup>-1</sup> Cu + 0,32 g l<sup>-1</sup> Fe + 2,30 g l<sup>-1</sup> Mn + 0,09 g l<sup>-1</sup> Mo + 7,80 g l<sup>-1</sup> Zn/ \*Nitrogen source: 46 % N ureic; complete source: 180 g l<sup>-1</sup> N + 100 g l<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 40 g l<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O + 0,21 g l<sup>-1</sup> CaO + 12,5 g l<sup>-1</sup> MgO + 33 g l<sup>-1</sup> S + 1,35 g l<sup>-1</sup> B + 0,03 g l<sup>-1</sup> Co + 2,70 g l<sup>-1</sup> Cu + 0,32 g l<sup>-1</sup> Fe + 2,30 g l<sup>-1</sup> Mn + 0,09 g l<sup>-1</sup> Mo + 7,80 g l<sup>-1</sup> Zn.

## VARIABLES EVALUADAS

Las variables alométricas registradas fueron: altura de la planta en cm, medición realizada con cinta métrica desde la base del tallo hasta la primera lígula o cuello visible de la hoja; diámetro del tallo en escala milimétrica (mm),

medición realizada en el tercio medio del tallo con un calibrador digital Mitutoyo 500-197-30B; conteo del número de hojas expandidas semanalmente y peso seco de raíces, este último con el gramaje (g) del material vegetal en una balanza analítica Mettler Toledo AB204-S/FACT previamente lavado y secado a 65 °C durante 24 h. Los registros de estas variables se realizaron durante ocho semanas iniciando con la primera aplicación de los tratamientos, a excepción de la variable peso seco de la raíz, la cual se registró en las semanas uno, cuatro y ocho. Adicionalmente, se calcularon índices correspondientes a las tasas de crecimiento absoluto de las plantas (ecuación 1):

$$TCA = \frac{X2 - X1}{T2 - T1} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

*TCA*: tasa absoluta de crecimiento; *X*: parámetro de crecimiento respectivo (altura de la planta, diámetro del tallo, número de hojas o peso seco de raíces); *T*: tiempo.

El registro de las variables se realizó durante la fase de crecimiento de las plantas y el mantenimiento del material vegetal como lo describieron Ramírez-Durán et al. (2019).

### Diseño experimental y análisis estadístico

Se estableció un diseño experimental completamente al azar con cuatro tratamientos, dos cultivares y tres repeticiones para un total de veinticuatro unidades experimentales, compuestas por bandejas de crecimiento con diez plantas. Los datos se analizaron mediante el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS) V. 9.4. Se utilizaron modelos lineales mixtos generalizados (MLMG) para estimar los efectos fijos e interacciones de los factores. Se seleccionó un modelo ajustado a cada variable con el procedimiento Backward basado en el valor-p de 5 %. Las comparaciones de los niveles de los factores (tratamiento, cultivar y semana) se realizaron a través de medias de mínimos cuadrados de Fisher, con estadígrafos t de Student y basados en la aproximación de Satterthwaite. Para verificar el ajuste de cada modelo y la normalidad de los datos, se evaluó la distribución de los residuales de Pearson en cada variable, indicando la distribución Gaussiana como adecuada para todas las variables. Estos modelos se diseñaron usando Proc GLIMMIX de SAS. Los datos obtenidos para la variable número de hojas se analizaron a través de modelos tipo Poisson y Binomial Negativo (BN), empleando Proc COUNTREG de SAS; se seleccionó el modelo Poisson por mejor ajuste mediante comparación de prueba chi cuadrado de Pearson, verosimilitud log completa, AIC y SBC. Los parámetros de este modelo se consideraron significativos cuando presentaron un valor  $p \leq 0,05$ . Después de comprobar los supuestos estadísticos para los índices de crecimiento (normalidad y homogeneidad de varianza), se realizó un análisis de varianza multivariado (MANOVA) de dos vías, en el cual se evaluó el efecto de los factores, cultivar ( $n=2$ ) y tratamiento ( $n=4$ ); finalmente, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) y para detectar diferencias significativas, se procedió a aplicar la prueba de Dunnett con un nivel de significancia del 5 %.

## Resultados

Las comparaciones entre los factores indicaron efectos significativos ( $p \leq 0,05$ ) de los tratamientos de fertilización y el tiempo sobre las variables alométricas de los dos cultivares:

**Altura de la planta (cm)**

Fertilizaciones foliares con la fuente completa de macro y micronutrientes (T2) y la fuente nitrogenada + completa (T3) en plantas de caña del cultivar CC 93-7510, permitieron aumentos significativos ( $p \leq 0,05$ ) de la altura en las semanas 6 a 8, con respecto a las plantas control del mismo cultivar que no recibieron nutrientes por vía foliar (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Efecto de la fertilización foliar sobre la altura de plantas (cm) del cultivar de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) CC 93-7510 en Barbosa, Santander, Colombia. 2018.

**Table 2.** Effect of foliar fertilization on plant height (cm) of the sugarcane cultivar (*Saccharum officinarum* L.) CC 93-7510 in Barbosa, Santander, Colombia. 2018.

Tratamiento*	Semana	Tratamiento	Semana	Estimación**	Pr >  t
1	1	4	1	-0,090	0,7157
1	2	4	2	-0,502	0,0423
1	3	4	3	-0,623	0,0117
1	4	4	4	-0,223	0,3661
1	5	4	5	-0,892	0,0003
1	6	4	6	-0,040	0,8714
1	7	4	7	-0,053	0,8291
1	8	4	8	0,876	0,0004
2	1	4	1	-0,490	0,0475
2	2	4	2	-0,493	0,0460
2	3	4	3	-0,316	0,2001
2	4	4	4	-0,046	0,8502
2	5	4	5	0,123	0,6177
2	6	4	6	0,680	0,0060
2	7	4	7	0,966	<0,0001
2	8	4	8	1,020	<0,0001
3	1	4	1	-0,173	0,4830
3	2	4	2	-0,080	0,7461
3	3	4	3	0,106	0,6660
3	4	4	4	0,150	0,5438
3	5	4	5	0,176	0,4747
3	6	4	6	0,646	0,0089
3	7	4	7	0,910	0,0002
3	8	4	8	1,233	<0,0001

\*1. Fuente nitrogenada: 46 % N ureico; 2. Fuente completa: 180 g l<sup>-1</sup> N + 100 g l<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 40 g l<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O + 0,21 g l<sup>-1</sup> CaO + 12,5 g l<sup>-1</sup> MgO + 33 g l<sup>-1</sup> S + 1,35 g l<sup>-1</sup> B + 0,03 g l<sup>-1</sup> Co + 2,70 g l<sup>-1</sup> Cu + 0,32 g l<sup>-1</sup> Fe + 2,30 g l<sup>-1</sup> Mn + 0,09 g l<sup>-1</sup> Mo + 7,80 g l<sup>-1</sup> Zn; 3. Fuente nitrogenada + completa; y 4: control sin fertilización / \*1. Nitrogen source; 2. Complete source; 3. Nitrogen source + complete; and 4. Control without fertilization.

\*\*aumento o disminución en cm, con respecto a las plantas control que no recibieron fertilización (T4). Las filas resaltadas ( $p \leq 0,05$ ) con color verde indican aumento y las de color rojo indican disminución de la altura con respecto a las plantas control. / \*\*increase or decrease in cm, with respect to the control plants that did not receive fertilization (T4). The highlighted rows ( $p \leq 0,05$ ) with green color indicate increase and those with red color indicate decrease in height with respect to control plants.

La aplicación foliar del N (T1) generó un aumento significativo ( $p \leq 0,05$ ) de la altura de las plantas en la semana 8 (Cuadro 2). Con relación al mejor tratamiento de fertilización foliar, se evidenció que las plantas que recibieron aplicaciones independientes de N (T1) y la fuente completa de nutrientes (T2) no presentaron diferencias

significativas en la altura de las plantas durante la evaluación registrada entre las semanas 1 a 5; e incluso, en algunas semanas, la altura de las plantas control (sin fertilización) fue significativamente superior ( $p \leq 0,05$ ) (Cuadro 2). En contraste, las plantas de caña del cultivar CC 93-7510 que recibieron las fuentes combinadas de N ureico con macro y micronutrientes (T3) presentaron mayor altura promedio y diferencia respecto a las plantas control.

Para el caso del cultivar CC 93-7711, se presentó un aumento significativo ( $p \leq 0,05$ ) de la altura de las plantas que recibieron fuente completa de macro y micronutrientes (T2) y la fuente con N ureico en conjunto con macro y micronutrientes (T3) en las semanas 7 y 8, con respecto a las plantas sin fertilización foliar (Cuadro 3). Igualmente, la aplicación de N ureico (T1) permitió un aumento significativo ( $p \leq 0,05$ ) de la altura de las plantas en la semana 8, en comparación con las plantas control (Cuadro 3). Al igual que sucedió con las plantas de caña del cultivar CC 93-7510, la fuente combinada de N ureico con macro y micronutrientes (T3) permitió la mayor ganancia de altura

**Cuadro 3.** Efecto de la fertilización foliar sobre la altura de plantas (cm) del cultivar de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) CC 93-7711 en Barbosa, Santander, Colombia. 2018.

**Table 3.** Effect of foliar fertilization on plant height (cm) of the sugarcane cultivar (*Saccharum officinarum* L.) CC 93-7711 in Barbosa, Santander, Colombia. 2018.

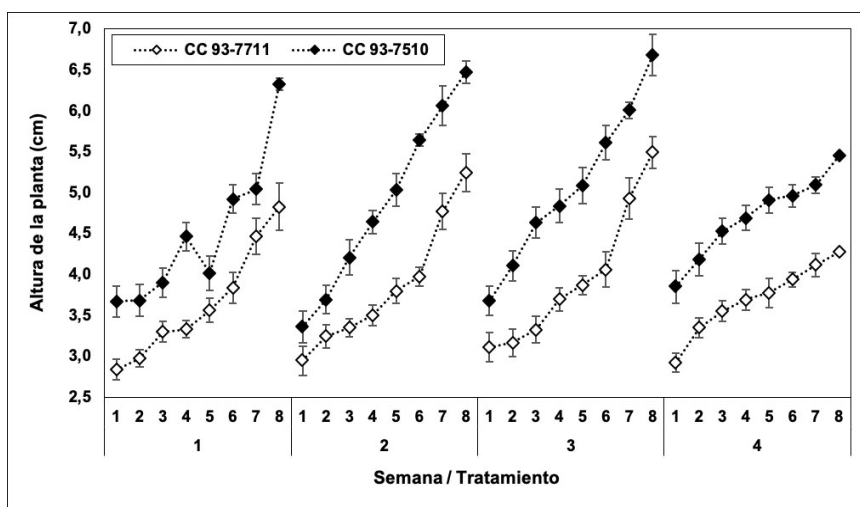
Tratamiento*	Semana	Tratamiento	Semana	Estimación**	Pr >  t
1	1	4	1	-0,083	0,7359
1	2	4	2	-0,376	0,1275
1	3	4	3	-0,253	0,3053
1	4	4	4	-0,360	0,1453
1	5	4	5	-0,216	0,3806
1	6	4	6	-0,100	0,6857
1	7	4	7	0,350	0,1568
1	8	4	8	0,553	0,0252
2	1	4	1	0,022	0,9269
2	3	4	3	-0,203	0,4106
2	4	4	4	-0,186	0,4500
2	5	4	5	0,020	0,9355
2	6	4	6	0,036	0,8820
2	7	4	7	0,650	0,0086
2	8	4	8	0,970	<0,0001
3	1	4	1	0,190	0,4420
3	2	4	2	-0,183	0,4582
3	3	4	3	-0,226	0,3590
3	4	4	4	0,003	0,9892
3	5	4	5	0,090	0,7157
3	6	4	6	0,123	0,6177
3	7	4	7	0,810	0,0011
3	8	4	8	1,217	<0,0001

\*1. Fuente nitrogenada: 46 % N ureico; 2. Fuente completa: 180 g l<sup>-1</sup> N + 100 g l<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 40 g l<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O + 0,21 g l<sup>-1</sup> CaO + 12,5 g l<sup>-1</sup> MgO + 33 g l<sup>-1</sup> S + 1,35 g l<sup>-1</sup> B + 0,03 g l<sup>-1</sup> Co + 2,70 g l<sup>-1</sup> Cu + 0,32 g l<sup>-1</sup> Fe + 2,30 g l<sup>-1</sup> Mn + 0,09 g l<sup>-1</sup> Mo + 7,80 g l<sup>-1</sup> Zn; 3. Fuente nitrogenada + completa; y 4: Control sin fertilización / \*1. Nitrogen source; 2. Complete source; 3. Nitrogen source + complete; and 4. Control without fertilization.

\*\*aumento o disminución en cm, con respecto a las plantas control que no recibieron fertilización (T4). Las filas resaltadas ( $p \leq 0,05$ ) con color verde indican aumento de la altura con respecto a las plantas control. /\*\*increase or decrease in cm, with respect to the control plants that did not receive fertilization (T4). The rows highlighted ( $p \leq 0,05$ ) with green color indicate an increase in height with respect to the control plants.

en las plantas del cultivar CC 93-7711, con respecto a las plantas de este cultivar que no recibieron fertilizaciones foliares en el tiempo.

Al analizar la altura a través del tiempo, se pudo observar un crecimiento lineal pronunciado de los dos cultivares que recibieron las diferentes fuentes de fertilización; asimismo, en las plantas de caña del cultivar CC 93-7711 que recibieron la fuente completa de macro y micronutrientes (T2) y la fuente nitrogenada + completa (T3), se observó un crecimiento exponencial desde el trasplante del material vegetal hasta la sexta semana, el cual se tornó lineal hasta el final de las evaluaciones. Adicionalmente, al comparar la variable altura de las plantas para los dos cultivares de caña, los valores más altos se registraron en las plantas del cultivar CC 93-7510 durante las ocho semanas de evaluación independientemente del tratamiento (Figura 1).



**Figura 1.** Altura de las plantas (cm) de los cultivares de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) CC 93-7510 y CC 93-7711 sometidas a cuatro tratamientos de fertilización durante ocho semanas, en Barbosa, Santander, Colombia, 2018.

\*1. Fuente nitrogenada: 46 % N ureico; 2. Fuente completa: 180 g l<sup>-1</sup> N + 100 g l<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 40 g l<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O + 0,21 g l<sup>-1</sup> CaO + 12,5 g l<sup>-1</sup> MgO + 33 g l<sup>-1</sup> S + 1,35 g l<sup>-1</sup> B + 0,03 g l<sup>-1</sup> Co + 2,70 g l<sup>-1</sup> Cu + 0,32 g l<sup>-1</sup> Fe + 2,30 g l<sup>-1</sup> Mn + 0,09 g l<sup>-1</sup> Mo + 7,80 g l<sup>-1</sup> Zn; 3. Fuente nitrogenada + completa; y 4: Control sin fertilización. Valores son promedios (n = 30) ± error estándar.

**Figure 1.** Plant height (cm) of the sugarcane cultivars (*Saccharum officinarum* L.) CC 93-7510 and CC 93-7711 subjected to four fertilization treatments for eight weeks, in Barbosa, Santander, Colombia, 2018.

\*1. Nitrogen source: 46 % N ureic; 2. Complete source: 180 g l<sup>-1</sup> N + 100 g l<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 40 g l<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O + 0,21 g l<sup>-1</sup> CaO + 12,5 g l<sup>-1</sup> MgO + 33 g l<sup>-1</sup> S + 1,35 g l<sup>-1</sup> B + 0,03 g l<sup>-1</sup> Co + 2,70 g l<sup>-1</sup> Cu + 0,32 g l<sup>-1</sup> Fe + 2,30 g l<sup>-1</sup> Mn + 0,09 g l<sup>-1</sup> Mo + 7,80 g l<sup>-1</sup> Zn; 3. Nitrogen source + complete; and 4. Control without fertilization. Values are averages (n = 30) ± standard error.

### Diámetro del tallo (mm)

Los diferentes tratamientos de fertilización foliar permitieron un aumento significativo ( $p \leq 0,05$ ) del diámetro del tallo de los dos cultivares de caña evaluados, con respecto a las plantas que no fueron tratadas (T4). Para el cultivar CC 93-7510, el aumento significativo ( $p \leq 0,05$ ) con respecto a las plantas control, se observó a partir de la segunda semana en las plantas fertilizadas con la fuente completa (T2) y a partir de la tercera semana para las plantas que recibieron la fuente nitrogenada ureica + completa (T3), este último tratamiento permitió la mayor diferencia en el diámetro del tallo en las dos últimas semanas, con respecto a las plantas no fertilizadas (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Efecto de la fertilización foliar sobre el diámetro del tallo (mm) del cultivar de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) CC 93-7510 en Barbosa, Santander, Colombia. 2018.

**Table 4.** Effect of foliar fertilization on stem diameter (mm) of the sugarcane cultivar (*Saccharum officinarum* L.) CC 93-7510 in Barbosa, Santander, Colombia. 2018.

Tratamiento*	Semana	Tratamiento	Semana	Estimación**	Pr >  t
1	1	4	1	0,186	0,3052
1	2	4	2	0,248	0,1716
1	3	4	3	0,708	<0,0001
1	4	4	4	0,779	<0,0001
1	5	4	5	0,814	<0,0001
1	6	4	6	0,984	<0,0001
1	7	4	7	1,007	<0,0001
1	8	4	8	1,367	<0,0001
2	1	4	1	0,144	0,4251
2	2	4	2	0,329	0,0698
2	3	4	3	0,989	<0,0001
2	4	4	4	1,183	<0,0001
2	5	4	5	1,270	<0,0001
2	6	4	6	1,294	<0,0001
2	7	4	7	1,259	<0,0001
2	8	4	8	1,412	<0,0001
3	1	4	1	0,040	0,8226
3	2	4	2	-0,100	0,5801
3	3	4	3	0,846	<0,0001
3	4	4	4	0,874	<0,0001
3	5	4	5	0,914	<0,0001
3	6	4	6	1,030	<0,0001
3	7	4	7	1,287	<0,0001
3	8	4	8	1,428	<0,0001

\*1. Fuente nitrogenada: 46 % N ureico; 2. Fuente completa: 180 g l<sup>-1</sup> N + 100 g l<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 40 g l<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O + 0,21 g l<sup>-1</sup> CaO + 12,5 g l<sup>-1</sup> MgO + 33 g l<sup>-1</sup> S + 1,35 g l<sup>-1</sup> B + 0,03 g l<sup>-1</sup> Co + 2,70 g l<sup>-1</sup> Cu + 0,32 g l<sup>-1</sup> Fe + 2,30 g l<sup>-1</sup> Mn + 0,09 g l<sup>-1</sup> Mo + 7,80 g l<sup>-1</sup> Zn; 3. Fuente nitrogenada + completa; y 4: Control sin fertilización / \*\*1. Nitrogen source; 2. Complete source; 3. Nitrogen source + complete; and 4. Control without fertilization.

\*\*aumento o disminución en mm, con respecto a las plantas control que no recibieron fertilización (T4). Las filas resaltadas (p≤0,05) con color verde indican aumento del diámetro del tallo con respecto a las plantas control / \*\*increase or decrease in mm, with respect to the control plants that did not receive fertilization (T4). The rows highlighted (p≤0.05) with green color indicate an increase in the stem diameter with respect to the control plants.

Contrario a lo observado en el cultivar CC 93-7510, el mayor aumento significativo (p≤0,05) a partir de la quinta semana en el diámetro del tallo de las plantas del cultivar CC 93-7711 con respecto a las plantas control (T4), se obtuvo mediante la aplicación de la fuente completa con macro y micronutrientes (T2) (Cuadro 5). En contraste, durante la evaluación semanal del diámetro del tallo en plantas de caña fertilizadas con las fuentes de N ureico (T1) y la mezcla de nitrógeno ureico con macro y micronutrientes (T3) no se presentaron aumentos significativos en la octava semana (Cuadro 5).

El crecimiento en diámetro del tallo de las plantas de caña de los dos cultivares a través del tiempo y por efecto de los diferentes tratamientos de fertilización foliar, mostró una respuesta contraria a la registrada en la altura de las plantas. Los dos cultivares presentaron un crecimiento lineal desde el trasplante del material vegetal hasta el

**Cuadro 5.** Efecto de la fertilización foliar sobre el diámetro del tallo (mm) del cultivar de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) CC 93-7711 en Barbosa, Santander, Colombia. 2018.

**Table 5.** Effect of foliar fertilization on stem diameter (mm) of the sugarcane cultivar (*Saccharum officinarum* L.) CC 93-7711 in Barbosa, Santander, Colombia. 2018.

Tratamiento*	Semana	Tratamiento	Semana	Estimación**	Pr >  t
1	1	4	1	0,338	0,0620
1	2	4	2	0,440	0,0152
1	3	4	3	0,381	0,0355
1	4	4	4	0,647	0,0004
1	5	4	5	0,649	0,0003
1	6	4	6	0,324	0,0736
1	7	4	7	0,274	0,1300
1	8	4	8	0,172	0,3430
2	1	4	1	-0,042	0,8154
2	2	4	2	0,227	0,2108
2	3	4	3	0,506	0,0053
2	4	4	4	0,624	0,0006
2	5	4	5	0,733	<0,0001
2	6	4	6	0,498	0,0061
2	7	4	7	0,650	0,0003
2	8	4	8	0,566	0,0018
3	1	4	1	0,274	0,1310
3	2	4	2	0,487	0,0072
3	3	4	3	0,572	0,0016
3	4	4	4	0,593	0,0011
3	5	4	5	0,587	0,0012
3	6	4	6	0,353	0,0513
3	7	4	7	0,379	0,0366
3	8	4	8	0,276	0,1273

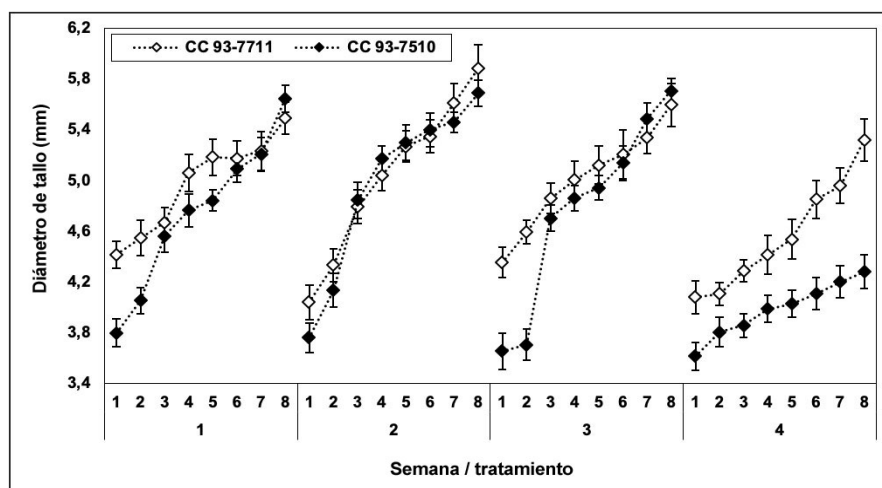
\*1. Fuente nitrogenada: 46 % N ureico; 2. Fuente completa: 180 g l<sup>-1</sup> N + 100 g l<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 40 g l<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O + 0,21 g l<sup>-1</sup> CaO + 12,5 g l<sup>-1</sup> MgO + 33 g l<sup>-1</sup> S + 1,35 g l<sup>-1</sup> B + 0,03 g l<sup>-1</sup> Co + 2,70 g l<sup>-1</sup> Cu + 0,32 g l<sup>-1</sup> Fe + 2,30 g l<sup>-1</sup> Mn + 0,09 g l<sup>-1</sup> Mo + 7,80 g l<sup>-1</sup> Zn; 3. Fuente nitrogenada + completa; y 4: Control sin fertilización / \*1. Nitrogen source; 2. Complete source; 3. Nitrogen source + complete; and 4. Control without fertilization.

\*\*aumento o disminución en mm, con respecto a las plantas control que no recibieron fertilización (T4). Las filas resaltadas (p≤0,05) con color verde indican aumento del diámetro del tallo con respecto a las plantas control. / \*\*increase or decrease in mm, with respect to the control plants that did not receive fertilization (T4). The rows highlighted (p≤0.05) with green color indicate an increase in the stem diameter with respect to the control plants.

final de las evaluaciones, excepto para las plantas del cultivar CC 93-7510 que no recibieron fertilización foliar (T4), cuyo crecimiento fue exponencial; además, aunque no se presentó diferencia estadística significativa entre los tratamientos de fertilización, las plantas del cultivar CC 93-7711 fueron las que mostraron los mayores diámetros con el T2 (Figura 2).

### Número de hojas emitidas

El modelo Poisson para la cantidad de hojas emitidas en plantas de caña, mostró un efecto significativo (p≤0,05) de los parámetros relacionados con: cultivar, tratamiento y semana de evaluación (Cuadro 6). Los



**Figura 2.** Diámetro de tallos de las plantas (mm) de los cultivares de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) CC 93-7510 y CC 93-7711 sometidas a cuatro tratamientos de fertilización durante ocho semanas, en Barbosa, Santander, Colombia. 2018.

1. Fuente nitrogenada: 46 % N ureico; 2. Fuente completa: 180 g l<sup>-1</sup> N + 100 g l<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 40 g l<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O + 0,21 g l<sup>-1</sup> CaO + 12,5 g l<sup>-1</sup> MgO + 33 g l<sup>-1</sup> S + 1,35 g l<sup>-1</sup> B + 0,03 g l<sup>-1</sup> Co + 2,70 g l<sup>-1</sup> Cu + 0,32 g l<sup>-1</sup> Fe + 2,30 g l<sup>-1</sup> Mn + 0,09 g l<sup>-1</sup> Mo + 7,80 g l<sup>-1</sup> Zn; 3. Fuente nitrogenada + completa; y 4: Control sin fertilización. Valores son promedios (n = 30) ± error estándar.

**Figure 2.** Plant stem diameter of plants (mm) of the sugarcane cultivars (*Saccharum officinarum* L.) CC 93-7510 and CC 93-7711 subjected to four fertilization treatments for eight weeks, in Barbosa, Santander, Colombia. 2018.

1. Nitrogen source: 46 % N ureic; 2. Complete source: 180 g l<sup>-1</sup> N + 100 g l<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 40 g l<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O + 0,21 g l<sup>-1</sup> CaO + 12,5 g l<sup>-1</sup> MgO + 33 g l<sup>-1</sup> S + 1,35 g l<sup>-1</sup> B + 0,03 g l<sup>-1</sup> Co + 2,70 g l<sup>-1</sup> Cu + 0,32 g l<sup>-1</sup> Fe + 2,30 g l<sup>-1</sup> Mn + 0,09 g l<sup>-1</sup> Mo + 7,80 g l<sup>-1</sup> Zn; 3. Nitrogen source + complete; and 4. Control without fertilization. Values are averages (n = 30) ± standard error.

**Cuadro 6.** Modelo Poisson del efecto del cultivar, tratamiento y semana sobre el número de hojas emitidas en plantas de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en Barbosa, Santander, Colombia. 2018.

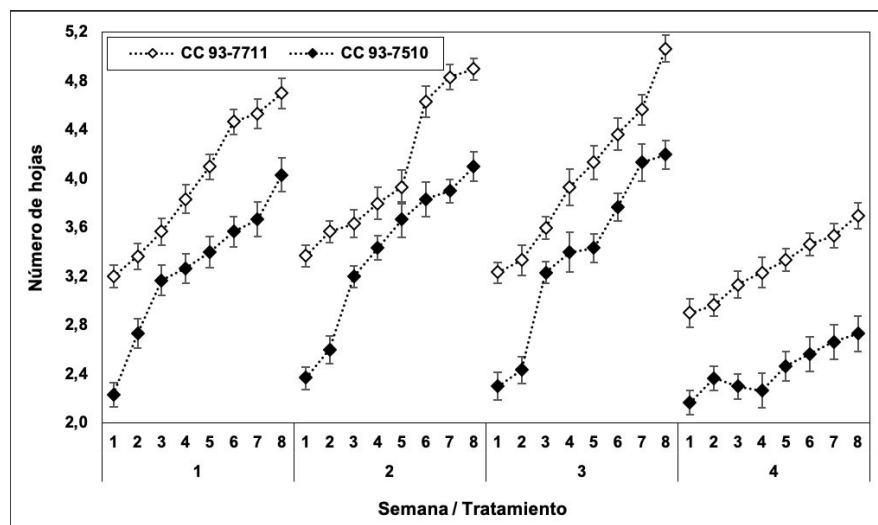
**Table 6.** Poisson model of the effect of the cultivate, treatment and week on the number of leaves emitted in sugarcane plants (*Saccharum officinarum* L.) in Barbosa, Santander, Colombia. 2018.

Parámetro*		DF	Estimación	Error estándar	Chi-cuadrado de Wald	Pr > ChiSq
Intercepto		1	1,4188	0,0316	2012,0	<0,0001
Cultivar	CC 93-7711	1	0,1052	0,0123	73,13	<0,0001
Tratamiento**	1	1	0,0445	0,0210	4,510	0,0337
Tratamiento	2	1	0,0774	0,0207	13,93	0,0002
Tratamiento	3	1	0,0668	0,0208	10,29	0,0013
Semana	2	1	0,0709	0,0544	1,700	0,1922
Semana	3	1	0,1713	0,0531	10,40	0,0013
Semana	4	1	0,2216	0,0525	17,80	<0,0001
Semana	5	1	0,2684	0,0520	26,60	<0,0001
Semana	6	1	0,3428	0,0512	44,80	<0,0001
Semana	7	1	0,3801	0,0508	56,00	<0,0001
Semana	8	1	0,4292	0,0503	72,80	<0,0001
Escala		0	1	0		

\* los niveles control de cada parámetro fueron: el cultivar CC 93-7510, el tratamiento sin fertilización (T4) y la semana 1. Las filas resaltadas (p≤0,05) con color verde indican aumento del número de hojas con respecto a los parámetros de control. / \*the control levels of each parameter were the cultivar CC 93-7510, the treatment without fertilization (T4) and week 1. The highlighted rows (p≤0.05) with green color indicate an increase in the number of leaves with respect to control plants.

\*\*1. Fuente nitrogenada: 46 % N ureico; 2. Fuente completa: 180 g l<sup>-1</sup> N + 100 g l<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 40 g l<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O + 0,21 g l<sup>-1</sup> CaO + 12,5 g l<sup>-1</sup> MgO + 33 g l<sup>-1</sup> S + 1,35 g l<sup>-1</sup> B + 0,03 g l<sup>-1</sup> Co + 2,70 g l<sup>-1</sup> Cu + 0,32 g l<sup>-1</sup> Fe + 2,30 g l<sup>-1</sup> Mn + 0,09 g l<sup>-1</sup> Mo + 7,80 g l<sup>-1</sup> Zn; 3. Fuente nitrogenada + completa; y 4: Control sin fertilización. / \*\*1. Nitrogen source; 2. Complete source; 3. Nitrogen source + complete; and 4. Control without fertilization.

resultados mostraron que el cultivar CC 93-7711 emitió una hoja más ( $e^{0,1052} = 1$ ) que el cultivar CC 93-7510. Por otra parte, las plantas que recibieron los diferentes tratamientos de fertilización durante las semanas 2 – 7, presentaron una hoja más con respecto a la primera semana. Igualmente, las plantas de caña evaluadas en la última semana presentaron dos hojas más ( $e^{0,4292} = 2$ ) en comparación con la primera semana. La evaluación semanal de la emisión de hojas mostró una tendencia lineal en la curva de las plantas que recibieron las fertilizaciones foliares y una tendencia exponencial en las plantas sin fertilizar (T4) (Figura 3).



**Figura 3.** Número de hojas de las plantas de los cultivares de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) CC 93-7510 y CC 93-7711 sometidas a cuatro tratamientos de fertilización durante ocho semanas, en Barbosa, Santander, Colombia. 2018.

1. Fuente nitrogenada: 46 % N ureico; 2. Fuente completa: 180 g l<sup>-1</sup> N + 100 g l<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 40 g l<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O + 0,21 g l<sup>-1</sup> CaO + 12,5 g l<sup>-1</sup> MgO + 33 g l<sup>-1</sup> S + 1,35 g l<sup>-1</sup> B + 0,03 g l<sup>-1</sup> Co + 2,70 g l<sup>-1</sup> Cu + 0,32 g l<sup>-1</sup> Fe + 2,30 g l<sup>-1</sup> Mn + 0,09 g l<sup>-1</sup> Mo + 7,80 g l<sup>-1</sup> Zn; 3. Fuente nitrogenada + completa; y 4: Control sin fertilización. Valores son promedios (n = 30) ± error estándar.

**Figure 3.** Number of leaves of plants of the sugarcane cultivars (*Saccharum officinarum* L.) CC 93-7510 and CC 93-7711 subjected to four fertilization treatments for eight weeks, in Barbosa, Santander, Colombia. 2018.

1. Nitrogen source: 46 % N ureic; 2. Complete source: 180 g l<sup>-1</sup> N + 100 g l<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 40 g l<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O + 0,21 g l<sup>-1</sup> CaO + 12,5 g l<sup>-1</sup> MgO + 33 g l<sup>-1</sup> S + 1,35 g l<sup>-1</sup> B + 0,03 g l<sup>-1</sup> Co + 2,70 g l<sup>-1</sup> Cu + 0,32 g l<sup>-1</sup> Fe + 2,30 g l<sup>-1</sup> Mn + 0,09 g l<sup>-1</sup> Mo + 7,80 g l<sup>-1</sup> Zn; 3. Nitrogen source + complete; and 4. Control without fertilization. Values are averages (n = 30) ± standard error.

### Peso seco de raíces

El peso seco de las raíces en plantas del cultivar CC 93-7711 que recibieron la fuente con N ureico (T1) y la fuente completa con macro y micronutrientes (T2) presentaron un aumento significativo ( $p \leq 0,05$ ) durante la primera semana de evaluación con respecto a las plantas control (Cuadro 7). Por otra parte, las plantas del cultivar CC 93-7510 que recibieron la fuente con N ureico (T1) presentaron un aumento significativo ( $p \leq 0,05$ ) durante la primera semana de evaluación con respecto a las plantas control (Cuadro 7).

A través del tiempo, el peso seco de las raíces presentó un crecimiento lineal desde la primera semana hasta el final de las evaluaciones en los cuatro tratamientos; excepto en el cultivar CC 93-7711 y los T1 y T2, que presentó una tendencia exponencial desde la primera hasta la cuarta semana. Con respecto al peso seco de raíz entre materiales de caña, el cultivar CC 93-7711 presentó mayores pesos secos en los cuatro tratamientos durante el periodo de evaluación (Figura 4).

**Cuadro 7.** Diferencias del peso seco de raíces (g) de las plantas de los cultivares de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) CC 93-7510 y CC 93-7711 que recibieron fertilizaciones foliares con respecto al control.

**Table 7.** Differences in the dry weight of roots (g) of the plants of the sugarcane cultivars (*Saccharum officinarum* L.) CC 93-7510 and CC 93-7711 that received foliar fertilizations with respect to the control.

Cultivar	Tratamiento*	Semana	Cultivar	Tratamiento	Semana	Estimación**	Pr >  t
CC 93- 7510	1	1	CC 93- 7510	4	1	-0,045	0,6258
CC 93- 7510	1	4	CC 93-7510	4	4	0,211	0,0230
CC 93-7510	1	8	CC 93-7510	4	8	-0,102	0,2623
CC 93-7510	2	1	CC 93-7510	4	1	0,080	0,3757
CC 93-7510	2	4	CC 93-7510	4	4	0,164	0,0732
CC 93-7510	2	8	CC 93-7510	4	8	-0,065	0,4821
CC 93-7510	3	1	CC 93-7510	4	1	-0,037	0,6800
CC 93-7510	3	4	CC 93-7510	4	4	0,038	0,6663
CC 93-7510	3	8	CC 93-7510	4	8	0,096	0,2975
CC 93-7711	1	1	CC 93-7711	4	1	0,181	0,0444
CC 93-7711	1	4	CC 93-7711	4	4	0,072	0,4275
CC 93-7711	1	8	CC 93-7711	4	8	-0,092	0,3053
CC 93-7711	2	1	CC 93-7711	4	1	0,241	0,0077
CC 93-7711	2	4	CC 93-7711	4	4	0,129	0,1540
CC 93-7711	2	8	CC 93-7711	4	8	0,171	0,0583
CC 93-7711	3	1	CC 93-7711	4	1	0,006	0,9453
CC 93-7711	3	4	CC 93-7711	4	4	0,128	0,1543
CC 93-7711	3	8	CC 93-7711	4	8	0,153	0,0930

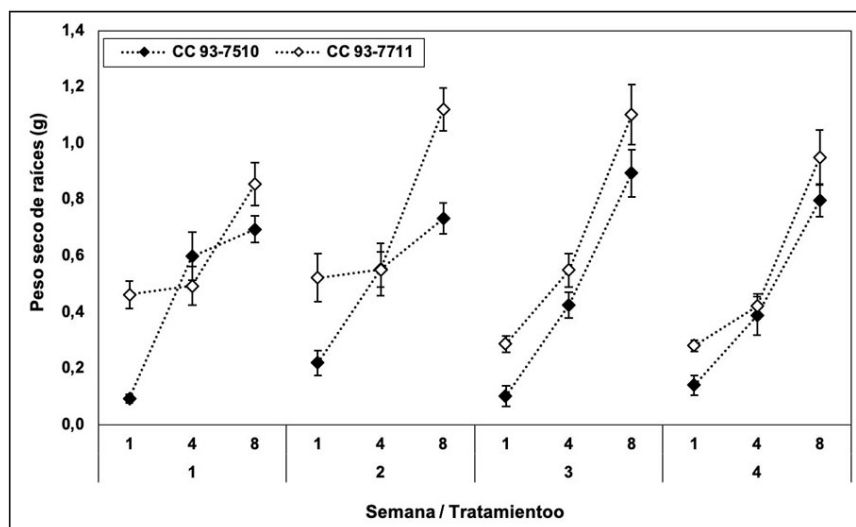
\*1. Fuente nitrogenada: 46 % N ureico; 2. Fuente completa: 180 g l<sup>-1</sup> N + 100 g l<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 40 g l<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O + 0,21 g l<sup>-1</sup> CaO + 12,5 g l<sup>-1</sup> MgO + 33 g l<sup>-1</sup> S + 1,35 g l<sup>-1</sup> B + 0,03 g l<sup>-1</sup> Co + 2,70 g l<sup>-1</sup> Cu + 0,32 g l<sup>-1</sup> Fe + 2,30 g l<sup>-1</sup> Mn + 0,09 g l<sup>-1</sup> Mo + 7,80 g l<sup>-1</sup> Zn; 3. Fuente nitrogenada + completa; y 4: Control sin fertilización. / \*1. Nitrogen source; 2. Complete source; 3. Nitrogen source + complete; and 4. Control without fertilization.

\*\* aumento o disminución en g, con respecto a las plantas control que no recibieron fertilización (T4). Las filas resaltadas (p≤0,05) con color verde indican aumento del peso seco de raíces con respecto a las plantas control / \*\* increase or decrease in g, with respect to the control plants that did not receive fertilization (T4). The rows highlighted (p≤0.05) with green color indicate an increase in the dry weight of roots with respect to the control plants.

## Índices de crecimiento

El MANOVA indicó efectos estadísticamente significativos (p≤0,05) de los factores individuales para el conjunto de variables relacionadas con los índices de crecimiento, mientras que el ANOVA (datos no mostrados) indicó efecto estadísticamente significativo (p≤0,05) del cultivar y tratamientos de fertilización sobre la tasa de crecimiento para la altura de la planta (TCAP), así como su interacción (cultivar x tratamiento) para el diámetro de tallo (TCDT); mientras que la tasa de emisión de hojas (TEH) y la tasa de acumulación de peso seco de raíces (TAMSR) solo estuvo influenciada por los tratamientos.

La prueba de Dunnett evidenció diferencias estadísticamente significativas (p≤0,05) de los índices de crecimiento de las plantas que recibieron los diferentes tratamientos de fertilización con respecto a las plantas control, excepto para la TAMSR en los dos cultivares y la TCDT en el cultivar CC 93-7711 (Figura 5). Acorde con



**Figura 4.** Peso seco de raíces de plantas de los cultivares de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) CC 93-7510 y CC 93-7711 sometidas a cuatro tratamientos de fertilización durante ocho semanas y tres lecturas en el tiempo, en Barbosa, Santander, Colombia, 2018.

1. Fuente nitrogenada: 46 % N ureico; 2. Fuente completa: 180 g l<sup>-1</sup> N + 100 g l<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 40 g l<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O + 0,21 g l<sup>-1</sup> CaO + 12,5 g l<sup>-1</sup> MgO + 33 g l<sup>-1</sup> S + 1,35 g l<sup>-1</sup> B + 0,03 g l<sup>-1</sup> Co + 2,70 g l<sup>-1</sup> Cu + 0,32 g l<sup>-1</sup> Fe + 2,30 g l<sup>-1</sup> Mn + 0,09 g l<sup>-1</sup> Mo + 7,80 g l<sup>-1</sup> Zn; 3. Fuente nitrogenada + completa; y 4: Control sin fertilización. Valores son promedios (n = 30) ± error estándar.

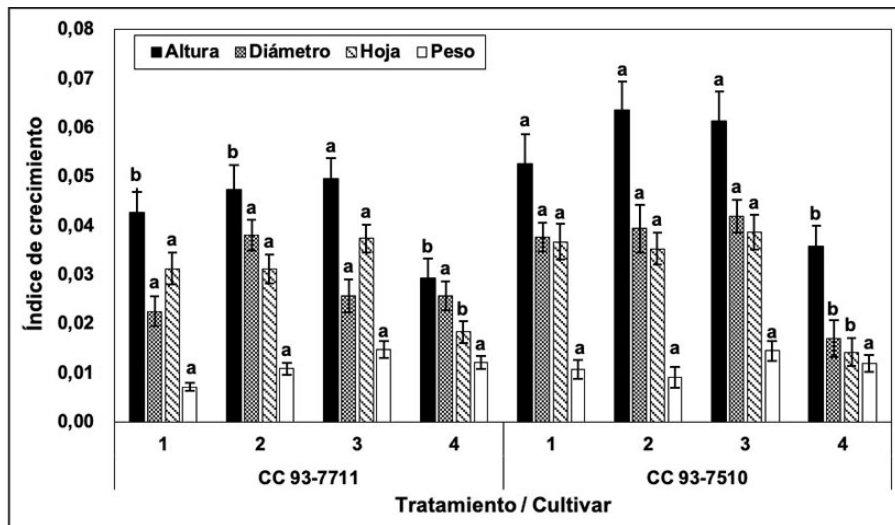
**Figure 4.** Dry weight of plant roots of the sugarcane cultivars (*Saccharum officinarum* L.) CC 93-7510 and CC 93-7711 subjected to four fertilization treatments for eight weeks and three readings in time, in Barbosa, Santander, Colombia, 2018.

1. Nitrogen source: 46 % N ureic; 2. Complete source: 180 g l<sup>-1</sup> N + 100 g l<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 40 g l<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O + 0,21 g l<sup>-1</sup> CaO + 12,5 g l<sup>-1</sup> MgO + 33 g l<sup>-1</sup> S + 1,35 g l<sup>-1</sup> B + 0,03 g l<sup>-1</sup> Co + 2,70 g l<sup>-1</sup> Cu + 0,32 g l<sup>-1</sup> Fe + 2,30 g l<sup>-1</sup> Mn + 0,09 g l<sup>-1</sup> Mo + 7,80 g l<sup>-1</sup> Zn; 3. Nitrogen source + complete; and 4. Control without fertilization. Values are averages (n = 30) ± standard error.

lo anterior, las plantas del cultivar CC 93-7510 que recibieron la fertilización foliar con la fuente completa de macro y micronutrientes (T2), presentaron la mayor TCAP. Las plantas de caña fertilizadas con la fuente nitrogenada en conjunto con la fuente completa de macro y micronutrientes (T3) presentaron la mayor TCDT y TAMS (Figura 5); mientras que, las plantas de caña del cultivar CC 93-7711 alcanzaron la mayor TCDT con la aplicación de la fuente completa en macro y micronutrientes (T2), y mayor TCAP, TEH y TAMS con el uso de la fuente de N ureico + macro y micronutrientes (T3) (Figura 5).

## Discusión

Los resultados mostraron un efecto diferenciado de las fuentes de fertilizantes sobre las variables alométricas de los cultivares de caña durante las semanas de evaluación. Las plantas de caña de azúcar para panela respondieron positivamente a las fuentes nitrogenadas, independientemente de los tratamientos aplicados. El cultivar CC 93-7510 se destacó por presentar mayor altura durante las ocho semanas de evaluación, mientras que, las plantas de caña CC 93-7711 fueron superiores en cuanto a diámetro de tallo, número de hojas y peso seco de raíces. Los cultivares CC 93-7510 y CC 93-7711 se consideraron precoces y semitardíos, respectivamente, esto determinado con los índices de madurez fisiológico (IDM) registrados en campo (Ramírez-Durán et al., 2014a; 2019); lo cual



**Figura 5.** Índices de crecimiento de los cultivares de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) CC 93-7510 y CC 93-7711 sometidos a cuatro tratamientos de fertilización. Medias de una misma variable con distinta letra difieren estadísticamente del control (T4) según prueba de Dunnett ( $P < 0.05$ ), en Barbosa, Santander, Colombia. 2018.

1. Fuente nitrogenada: 46 % N ureico; 2. Fuente completa: 180 g l<sup>-1</sup> N + 100 g l<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 40 g l<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O + 0,21 g l<sup>-1</sup> CaO + 12,5 g l<sup>-1</sup> MgO + 33 g l<sup>-1</sup> S + 1,35 g l<sup>-1</sup> B + 0,03 g l<sup>-1</sup> Co + 2,70 g l<sup>-1</sup> Cu + 0,32 g l<sup>-1</sup> Fe + 2,30 g l<sup>-1</sup> Mn + 0,09 g l<sup>-1</sup> Mo + 7,80 g l<sup>-1</sup> Zn; 3. Fuente nitrogenada + completa; y 4. Control sin fertilización. Altura: altura de la planta (cm día<sup>-1</sup>); Diámetro: diámetro del tallo (mm día<sup>-1</sup>); Hoja: emisión de hojas (hojas/días) y Peso: peso seco de raíz (cm día<sup>-1</sup>). Valores son promedios (n = 30) ± error estándar.

**Figure 5.** Growth rates of the sugarcane cultivars (*Saccharum officinarum* L.) CC 93-7510 and CC 93-7711 subjected to four fertilization treatments. Means of the same variable with different letters differ statistically from the control (T4) according to the Dunnett test ( $p < 0.05$ ), in Barbosa, Santander, Colombia. 2018.

1. Nitrogen source: 46 % N ureic; 2. Complete source: 180 g l<sup>-1</sup> N + 100 g l<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 40 g l<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O + 0,21 g l<sup>-1</sup> CaO + 12,5 g l<sup>-1</sup> MgO + 33 g l<sup>-1</sup> S + 1,35 g l<sup>-1</sup> B + 0,03 g l<sup>-1</sup> Co + 2,70 g l<sup>-1</sup> Cu + 0,32 g l<sup>-1</sup> Fe + 2,30 g l<sup>-1</sup> Mn + 0,09 g l<sup>-1</sup> Mo + 7,80 g l<sup>-1</sup> Zn; 3. Nitrogen source + complete; and 4. Control without fertilization. Values are averages (n = 30) ± standard error. Height: height of the plant (cm day<sup>-1</sup>); Diameter: stem diameter (mm day<sup>-1</sup>); Leaf: leaf emission (leaves / days) and Weight: root dry weight (cm day<sup>-1</sup>). Values are averages (n = 30) ± standard error.

se relaciona con los resultados obtenidos en la presente investigación para el cultivar CC 93-7510, puesto que el crecimiento de las plantas en fase de vivero mostró mayores índices de crecimiento en altura, diámetro de tallo y emisión de hojas. No obstante, respecto a las otras variables alométricas, las plantas CC 93-7711 reportan mayor altura y diámetro de tallos con relación a otros materiales empleados para la producción de panela, incluyendo el cultivar CC 93-7510 (Ramírez-Durán et al., 2014a).

En cuanto a las fuentes de fertilizantes, Ramírez-Durán et al. (2014b) mencionan que los cultivares CC 93-7510 y CC 93-7711 demandan N>K>Ca>P>Mg. En la presente investigación, se constató que la combinación o mezcla de las fuentes nitrogenadas con macro y micronutrientes (T3) presentó un efecto positivo sobre el crecimiento de las plantas del cultivar CC 93-7510, al promover el aumento de la altura y la cantidad de hojas emitidas, así como un mayor diámetro del tallo y peso seco de las raíces. Con el suministro de macro y micronutrientes por vía foliar (T2), las plantas de caña CC 93-7711 presentaron mayor diámetro del tallo y mayor acumulación de peso seco de las raíces. Acorde con lo anterior, se resalta que el análisis estadístico realizado en esta investigación correspondió a la comparación de diferencias de mínimos cuadrados de cada tratamiento respecto al control (T4) o plantas sin fertilización y aunque se presentó una respuesta diferencial de cada cultivar a las fuentes de fertilizantes aplicadas, se puede inferir que las plantas de caña respondieron positivamente a una fertilización con mayores contenidos de

N; para el caso de la variedad CC93-7711, la respuesta correspondió más a un efecto antagónico de la forma de N ureico con este genotipo en particular.

Con la aplicación de la mezcla de la fuente nitrogenada + completa (T3) a las plantas, el aporte de N fue mayor dada la alta concentración en la fuente nitrogenada (46 %) y del suministro de este nutriente en la fuente completa (180 g l<sup>-1</sup>). Este elemento es requerido en mayor cantidad por las plantas, dado que aproximadamente de 1 % al 5 % de la materia seca total está compuesta por N y es un componente integral de proteínas, ácidos nucleicos, clorofila, coenzimas, fitohormonas y metabolitos secundarios (Hawkesford et al., 2012), componentes considerados como esenciales en los procesos de crecimiento de las plantas (Kirkby, 2012). En cuanto a los cultivares de caña evaluados en el presente estudio, se reporta que el N está implicado en la elongación, grosor y ahijamiento de tallos en cultivos de caña, y bajo un crecimiento promedio de diecisiete meses después de su máxima absorción, se presenta una reducción de su requerimiento a medida que la planta alcanza su madurez (González-Chavarro et al., 2018).

Uno de los factores que rige la eficiencia de los fertilizantes foliares es la especie vegetal (Fernández & Eichert, 2009), lo que puede responder al efecto diferenciado de la fuente foliar sobre el cultivar CC 93-7711. Como se ha mencionado en esta investigación, el cultivar CC 93-7711 registró variables alométricas superiores y mayores requerimientos nutricionales (Ramírez-Durán et al., 2014b), los cuales posiblemente fueron suplidos por la fertilización balanceada aplicada, la cual involucró el aporte de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg y S) y micronutrientes (B, Co, Cu, Fe, Mn, Mo y Zn).

Considerando las funciones estructurales del Ca y su interacción con otros elementos como el K (Endres et al., 2015; Hawkesford et al., 2012), su aplicación foliar en etapa vegetativa pudo contribuir al crecimiento de las plantas evaluadas en la presente investigación, ya que como lo reportaron González-Chavarro et al. (2018), este elemento es absorbido progresivamente, debido al incremento en la demanda a medida que aumenta el tamaño de los órganos de la caña de los cultivares CC 93-7711 y CC 93-7510. Asimismo, el P participó en los procesos fisiológicos de las plantas evaluadas, por ser un elemento necesario para la absorción del N y esencial en el desarrollo radical, elongación y grosor de los tallos de la caña; comportamiento reportado en cultivares comerciales por González-Chavarro et al. (2018).

El efecto de la fuente completa con macro y micronutrientes (T2 y T3) sobre las variables alométricas de las plantas de caña empleadas en la presente investigación, se podría explicar por el aporte de elementos como el Fe, Mn, Zn y Mo, ya que, como lo reportan otros autores, estos nutrientes promueven el crecimiento de las plantas de caña de azúcar, por lo que se registra mayor altura y materia seca de raíces (Santos-Cavalcante et al., 2016), mayor macollamiento, entrenudos más largos y tallos más gruesos (Filho et al., 2015). La nutrición integrada empleando un balance adecuado de macro y micronutrientes potencializa las características agronómicas de los cultivares de caña (dos Santos et al., 2018), tal como se observó en este estudio, donde el cultivar CC 93-7711 presentó mayor diámetro de tallo y peso seco de raíces, cualidades que la destacan tanto en campo (Ramírez-Durán et al., 2014b) como en vivero.

En la octava semana de evaluación (56 días), los materiales sometidos a fertilización lograron diferenciarse respecto a las plantas sin fertilización; pero en la séptima semana (49 días) las plantas de caña del cultivar CC 93-7510 registraron 6,02 cm de altura y 5,49 mm de diámetro del tallo bajo la fuente nitrogenada más la fuente completa con macro y micronutrientes (T3), mientras que las plantas del cultivar CC 93-7711 registraron 4,77 cm de altura y 5,61 mm de diámetro, solo con la fuente completa de macro y micronutrientes (T2); resultados que difieren de lo mencionado por Murcia-Pardo & Ramírez-Durán (2015) y Ramírez-Durán et al. (2019), quienes indicaron que las plantas de ambos cultivares completan su ciclo de crecimiento entre 70 y 90 días después de la siembra, o hasta que las plantas alcanzan 4 cm de altura, 5 mm de diámetro, 10,2 cm de longitud de las hojas y un desarrollo adecuado del sistema radical. Al considerar los parámetros definidos para la obtención de plantas de caña en vivero de los dos cultivares y los tiempos establecidos por otros autores (Murcia-Pardo & Ramírez-Durán, 2015;

Ramírez-Durán et al., 2019), se resalta que al suministrar los fertilizantes con fuente nitrogenada más la fuente completa con macro y micronutrientes (T3), se evidencia el efecto del tiempo sobre el desarrollo de las plantas, dado que se reduce el periodo en el cual estas permanecen en vivero, siendo relevante desde el punto de vista de acondicionamiento previo al trasplante definitivo.

## Conclusiones

Las plantas de caña del cultivar CC 93-7711 mostraron los valores más altos de diámetro del tallo, número de hojas expandidas y peso seco de raíces respecto al cultivar CC 93-7510. No obstante, este último material demostró ser precoz al presentar mayores índices de crecimiento y/o tasas de crecimiento absoluto.

En las condiciones de la presente investigación, la fertilización nitrogenada y su mezcla con una fuente completa de macro y micronutrientes permitió que las plantas de los dos cultivares registraran mayor altura y cantidad de hojas emitidas, así como mayor diámetro y peso seco de raíces en CC 93-7510. Esto posiblemente a causa del incremento en el aporte de N con las fuentes aplicadas; mientras que CC 93-7711 registró mayor crecimiento del diámetro del tallo y acumulación de peso seco de raíces bajo el fertilizante completo (T2), características que pudieron ser potencializadas por el aporte de los elementos mayores y menores de la fuente completa.

La fertilización foliar aplicada a plantas de dos cultivares de caña de azúcar para la elaboración de panela mostró un mayor desarrollo del potencial agronómico para el trasplante definitivo a campo, en menor tiempo al recomendado en otras investigaciones que no contemplaban este ajuste tecnológico relacionado con el manejo de la fertilización de plantas en fase de vivero.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia por la financiación y a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) por la gestión del proyecto “Conformación de núcleos productores de semilla de caña a partir de plantas obtenidas mediante la extracción de yemas y establecimiento de semilleros comerciales en los departamentos de Santander, Boyacá y otras regiones que demanden la tecnología”, en el cual se obtuvo esta investigación.

## Referencias

- Abdelrahman, H., & Abdelrahman, M. (2014). Effect of sulfur on sugarcane yield and quality at the heavy clay soil “Vertisols” of Sudan. *Universal Journal of Applied Science*, 2(3), 68-71. <https://doi.org/10.13189/ujas.2014.020203>
- Broadley, M., Brown, P., Cakmak, I., Rengel, Z., & Zhao, F. (2012). Function of nutrients: Micronutrients. In P. Marschner (Ed.), *Marschner’s mineral nutrition of higher plants* (3<sup>rd</sup> Ed., pp. 191-248). Academic Press, Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00001-7>
- Bustillo-Pardey, A. (2013). *Insectos plaga y organismos benéficos del cultivo de la caña de azúcar en Colombia*. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia <https://hdl.handle.net/20.500.12324/12701>
- de Oliveira, M. W., Resende, G. A., Alves, M. J., Gomes, V. S., & Bosco, O. A. (2018). Mineral nutrition and fertilization of sugarcane. In O. A. Bosco (Ed.), *Sugarcane. Technology and Research* (1<sup>th</sup> Ed., pp. 169-191). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.72300>

- dos Santos, R. L., Freire, F. J., Oliveira, E. C., Simões, N. D., Medeiros, M. R., Becerra, P., Moura, J. A., Barbosa, J., Lopez, N. R., & Santos, N. (2018). Productivity and technological quality of sugarcane under fertilization of nitrogen and molybdenum. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 18(4), 1002-1020. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162018005002901>
- Endres, L., Silva, S., Duarte, R., dos Santos, J., de Souza, G., & Carvalho, J. (2015). Foliar applications of calcium reduce and delay sugarcane flowering. *BioEnergy Research*, 9(1), 1-11. <https://doi.org/10.1007/s12155-015>
- Federación Nacional de Productores de Panela. (2019, octubre 7). *Exportaciones de panela crecieron un 40% entre enero y julio de 2019*. <https://fedepanela.org.co/gremio/exportaciones-de-panela-crecieron-un-40-entre-enero-y-julio-de-2019>
- Fernández, V., & Eichert, T. (2009). Uptake of hydrophilic solutes through plant leaves: Current state of knowledge and perspectives of foliar fertilization. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 28(1-2), 36-68. <https://doi.org/10.1080/07352680902743069>
- Filho, M., Buzetti, S., de Paula, C., Sabin, C., Silva, K., Andreotti M., & Shintate, F. (2015). Rates and sources of zinc applied in sugarcane grown on sandy soil in Brazil. *African Journal of Agricultural Research*, 10(6), 477-484. <https://doi.org/10.5897/AJAR2014.9315>
- Franco, H., Mariano, E., Vitti, A., Faroni, C., Otto R., & Trivelin, P. (2011). Sugarcane response to boron and zinc in Southeastern Brazil. *Sugar Tech*, 13(1), 86-95. <https://doi.org/10.1007/s12355-010-0057-x>
- González-Chavarro, F., Cabezas-Gutiérrez, M., Ramírez-Gómez M., & Ramírez-Durán, J. (2018). Macronutrient absorption curves in three varieties of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) for panela in the Hoya del Río Suárez. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 21(2), 395-404. <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.995>
- Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Møller, I., & White, P. (2012). Functions of macronutrients. In P. Marschner (Ed.), *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (3<sup>rd</sup> Ed., pp. 135-189). Academic Press, Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00001-7>
- Kirkby, E. (2012). Introduction, definition, and classification of nutrients. In P. Marschner (Ed.), *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (3<sup>rd</sup> Ed., pp. 3-5). Academic Press, Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00001-7>
- Li-Ping, W., Yang-Rup L., & Li-Tao, Y. (2007). Effects of molybdenum on nitrogen metabolism of sugarcane. *Sugar Tech*, 9(1), 36-42. <https://doi.org/10.1007/BF02956911>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020). *Sistema de información de gestión y desempeño de organizaciones de cadenas (SIOC) - Cadena agroindustrial de la panela*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Panela/Documentos/2019-12>
- Mishra, A., Shukla, S., Yadav, D., & Awasthi, S. (2014). Iron, manganese and sulphur uptake and nutrients availability in sugarcane based system in subtropical India. *Sugar Tech*, 16(3), 300-310. <https://doi.org/10.1007/s12355-013-0269-y>
- Murcia-Pardo, M., & Ramírez-Durán, J. (2015). *Producción y manejo de semilla de caña panelera*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. <https://hdl.handle.net/20.500.12324/1069>
- Pérez, H., Santana, I., & Rodríguez, I. (2015). *Manejo sostenible de tierras en la producción de caña de azúcar* (Tomo II, 2da ed.). Universidad Técnica de Machala.
- Prabhu, S., Fageria, D., Berni F., & Rodrigues, F. (2007). Phosphorous and plant disease. In E. H. Datnoff, E. H. Elmer, & D. Huber (Eds.), *Mineral nutrition and plant disease* (pp. 45-55). APS Press.
- Ramírez-Durán, J., Cañar-Serna, D., Deantonio-Florido, L., & Hernández-Nopsa, J. (2019). *Manual técnico para la producción de plántulas de caña de azúcar para panela a partir de yemas individuales bajo las condiciones agroecológicas*

- del municipio de Barbosa (Santander)*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. <https://hdl.handle.net/20.500.12324/35065>
- Ramírez-Durán, J., Insuasty-Burbano, O., & Murcia-Pardo, M. (2014a). *Varietades de caña de azúcar empleadas para la agroindustria panelera de Colombia*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. <https://hdl.handle.net/20.500.12324/12621>
- Ramírez-Durán, J., Insuasty-Burbano, O., & Viveros-Valens, C. (2014b). Agroindustrial yield of ten sugar cane varieties for production of panela in Santander, Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 15(2), 183-195.
- Rodríguez-Borray, G., Huertas-Carranza, B., Polo-Murcia, S., González-Chavarro, C., Tauta-Muñoz, J., Rodríguez-Cortina, J., Ramírez-Durán, J., Velásquez-Ayala, F., Espitia-González, J., & López-Zarazá, R. (2020). *Modelo productivo de la caña de azúcar (Saccharum officinarum) para la producción de panela en Cundinamarca*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. <https://hdl.handle.net/20.500.12324/35698>
- Rosolem, C. A., & Bísaro, T. (2007). Adsorção e lixiviação de boro em Latossolo Vermelho-Amarelo. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 42(10), 1473–1478. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007001000015>
- Santos-Cavalcante, V., de Mello-Prado, R., de Lima-Vasconcelos R., & Silva-Campos, C. (2016). Iron concentration in sugar cane (*Saccharum officinarum* L.) cultivated in nutrient solution. *Agrociencia*, 50(7), 867-875.
- Tarazona-Parra, G. (2011). *Manejo fitosanitario del cultivo de la caña panelera: Medidas para la temporada invernal*. Instituto Colombiano Agropecuario.
- Viveros, C., Cassalet, C., & Victoria, J. (1997). *Multipliación rápida de la caña de azúcar por el sistema de plantas germinadas* (Serie técnica N° 23). Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia.
- Wilches-Ortiz, W., Ramírez-Gómez, M., Pérez-Moncada, U., Serralde-Ordoñez, D., Peñaranda-Rolon, A., & Ramírez, L. (2019). Association of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) with sugarcane plants (*Saccharum officinarum*) for panela production in Colombia. *Terra Latinoamericana*, 37, 175-184. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i2.481>