

Elementos benéficos en la hibridación de caña de azúcar (*Saccharum* spp.): Efectos en la fisiología del progenitor masculino durante el cruzamiento

SENTÍES-HERRERA, Héctor Emmanuel, TREJO-TÉLLEZ, Libia Iris, GÓMEZ-MERINO, Fernando Carlos, CADENA-IÑIGUEZ, Jorge, SÁNCHEZ-GARCÍA, Prometeo y VOLKE-HALLER, Víctor Hugo

H. Sentíes`, L. Trejo`, F. Gómez``, J. Cadena``, P. Sánchez` y V. Volke`

`Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Estado de México, México. C. P. 56230

``Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. Carretera Córdoba-Veracruz km 348, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. C. P. 94961

````Colegio de Postgraduados Campus San Luis Potosí. Iturbide 73, Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, México. C. P. 78600 tlibia@colpos.mx

F. Pérez, E. Figueroa, R. García, L. Godínez (eds.) Ciencias de la Biología, Agronomía y Economía. Handbook T-I.- ©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

## Abstract

In the process of hybridization of sugarcane pollination is required, for which stems are harvested with flowers in the field when the floral opening begins. In this study, the effects of the addition of beneficial elements aluminum (Al), lanthanum (La), iodine (I), silicon (Si) and titanium (Ti) were evaluated at three concentrations in the aseptic solution in physiology of the panicle of the male progenitor CP 80-1743. As a control, the original aseptic solution was considered, without beneficial elements. The results indicate that the beneficial elements tested differentially affected the stem diameter and diameter of the central rachis, biomass weights of the central rachis and the Fuzz. On the contrary, the treatments had no influence on the length of the panicle. The elements with the greatest beneficial effects were Al, Si and Ti.

## 5 Introducción

México cuenta con un programa de mejoramiento genético de caña de azúcar (*Saccharum* spp.), el cual inició a mediados del siglo XX, y en la actualidad se encuentra bajo la dirección del Centro de Investigación y Desarrollo de la Caña de Azúcar, A.C. (CIDCA), que cuenta con un banco de germoplasma compuesto por 3,184 variedades, de las cuales 1,133 son mexicanas y 2,051 extranjeras. Estas variedades se encuentran clasificadas por sexo, para dar lugar a 16 Bancos de Cruzamiento, y así continuar cada año con los trabajos de mejoramiento genético de esta especie (Senties-Herrera *et al.*, 2014; CIDCA, 2016). Dicho programa es reconocido entre los más de 25 programas de mejoramiento genético de caña de azúcar a nivel mundial, los cuales mantienen un gran número de clones seleccionados en programas regionales, importados de otras estaciones y de especies silvestres de las colecciones mundiales (Machado-Junior, 2002), y el de México no es la excepción. Entre los eslabones más importantes de la cadena de valor de la caña de azúcar en México destaca el desarrollo de nuevas y mejores variedades, con características sobresalientes agroindustriales y de adaptabilidad a las diferentes regiones cañeras del país (Senties-Herrera *et al.*, 2014), lo que garantiza el crecimiento, la competitividad y la sustentabilidad de dicha agroindustria.

Para llevar a cabo el proceso del mejoramiento genético de esta gramínea, el proceso de floración es la principal característica agronómica y fisiológica deseable para los fitomejoradores (Salgado-García *et al.*, 2013). El cocimiento de este proceso, para el establecimiento y buena ejecución de los cruzamientos, permite la generación de combinaciones híbridas entre progenitores sobresalientes para las características agroindustriales de interés (Silva *et al.*, 2013). Durante la hibridación, se realiza el armado y el establecimiento del cruzamiento, los cuales son colocados en las casas de hibridación, para que se lleve a cabo la polinización y finalmente la obtención de semilla botánica (Fuzz) (Landell y Bressiani, 2010).

La longevidad de las inflorescencias de hasta 25 días, se encuentra supeditada a una solución aséptica, la cual está compuesta por ácidos no volátiles y volátiles. Dentro de los no volátiles se encuentran los ácidos fosfórico, sulfúrico y nítrico, mientras que el ácido sulfuroso representa a los volátiles (Liu, 1965). En el programa de mejoramiento de México, esta solución ha sido utilizado desde su inicio, lo que significa que no se ha estudiado esta área en nutrición de caña de azúcar y el efecto de nuevas formulaciones de soluciones en el desarrollo y viabilidad de la flor, y producción de semilla botánica (Fuzz). Dado que los elementos benéficos ofrecen la posibilidad de mejorar indicadores de crecimiento, desarrollo y respuestas a factores ambientales (Trejo-Téllez *et al.*, 2007; Pilon-Smits *et al.*, 2009), el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la adición de los elementos benéficos Al, I, La, Si y Ti en la solución aséptica utilizada por el CIDCA, en diferentes indicadores fisiológicos del tallo y la flor del progenitor masculino.

## 5.1 Materiales y métodos

La investigación se realizó en la Estación de Hibridación del Centro de Investigación y Desarrollo de la Caña de Azúcar, A. C. (CIDCA) ubicado a 14° 56' latitud norte y 92° 51' longitud oeste, a una altitud de 320 m (INAFED, 2016). El clima es cálido húmedo con temperatura media anual de 26.4 °C y su precipitación media anual de más de 4,259 mm (Serrano-Altamirano *et al.*, 2006; CONAGUA, 2016). Se realizó un cruzamiento biparental entre las variedades CC 93-3826 x CP 80-1743. En la evaluación solo se consideró el progenitor masculino CP 80-1743. El cruzamiento se realizó de acuerdo a las condiciones de trabajo del CIDCA. Para ello se cortaron tallos con flores disponibles y se colocaron en solución aséptica. Posteriormente fueron llevados a la casa de cruzamientos para implementar el cruzamiento. El periodo de duración del cruzamiento fue de 12 días. Los tratamientos evaluados consistieron en la adición de elementos benéficos, cada uno de ellos a tres concentraciones, lo que dio como resultado los tratamientos siguientes: Al a 50, 100 y 150  $\mu\text{M}$ ; I a 20, 40 y 60  $\mu\text{M}$ ; La a 10, 20 y 30  $\mu\text{M}$ ; Si a 5, 10 y 15  $\mu\text{M}$ ; y Ti a 25, 50 y 75  $\mu\text{M}$ . Las fuentes para estos elementos fueron  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , KI,  $\text{LaCl}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ , y  $\text{TiO}_2$ , respectivamente. Como testigo absoluto se utilizó la solución aséptica original del CIDCA. La adición de estos elementos se realizó dos veces durante la duración del cruzamiento, siguiendo el criterio de la reposición de ácidos fijos.

Las variables evaluadas fueron: Reducción del Diámetro del Tallo (RDT), Reducción del Diámetro del Raquis Central (RDRC), Longitud de panícula (LP), Peso Seco del Raquis Central (PSRC) y Peso Seco del Fuzz (PSF). Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones. La unidad experimental fue una panícula. Se realizó de manera independiente para cada elemento benéfico el análisis de la varianza (ANOVA) y prueba de comparación de medias de Tukey ( $P < 0.05$ ) con el programa estadístico SAS v. 9.4.

## 5.2 Resultados

En los procesos de cruzamiento, el conservar los diámetros del tallo y del raquis central, es de vital importancia para mantener un flujo de agua y nutrimentos que son transportados a sitios de demanda; en este caso, se destinan al buen desarrollo de la panícula y por ende a la producción de Fuzz (semilla botánica) de calidad (Harrington y Bush, 2014; Moore y Berding, 2014; Welbaum, 2014).

En nuestro estudio, la presencia de alguno de los elementos benéficos evaluados en la solución aséptica tuvo un impacto negativo en el diámetro del tallo durante el periodo que dura el cruzamiento, en comparación con el testigo. Las aplicaciones de Al [100 y 50  $\mu\text{M}$ ], I [20 y 60  $\mu\text{M}$ ], La [20 y 30  $\mu\text{M}$ ], Si [10 y 15  $\mu\text{M}$ ] y Ti [25 y 75  $\mu\text{M}$ ] presentaron las reducciones más altas y todas significativas, con valores de -1.46, -1.21, -1.37, -1.15, -1.43, -1.19, -1.01, -1.32, -1.35 y -1.53 mm, respectivamente (Gráficos 5 A, 5 B, 5 C, 5 D y 5 E). Sin embargo, los elementos benéficos La [10  $\mu\text{M}$ ] y Si [5  $\mu\text{M}$ ] presentaron la menor reducción en el diámetro del tallo con significancia igual al testigo.

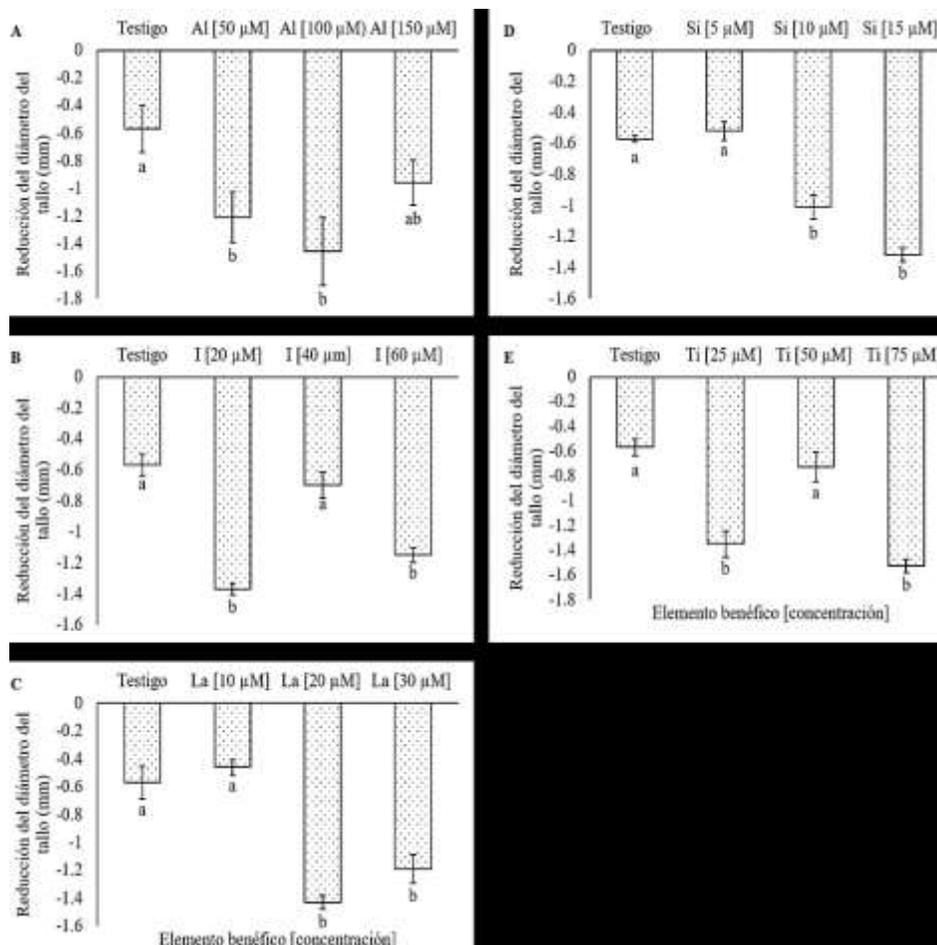
Se registraron reducciones en el diámetro del raquis central menores no significativas y superiores significativas al tratamiento testigo (Gráfico 5.1). Los tratamientos con Al [100  $\mu\text{M}$ ], I [20 y 60  $\mu\text{M}$ ], La [10, 20 y 30  $\mu\text{M}$ ] y Ti [75  $\mu\text{M}$ ], registraron el mayor decremento en esta variable con valores de -2.17, -0.97, -1.1, -1.07, -4.28, -1.04 y -1.94 mm, respectivamente (Gráficos 5.1 A, 5.1 B, 5.1 C, 5.1 E). Sin embargo, el resto de las concentraciones y en especial las tres de Si, mostraron valores menores en la reducción del diámetro del raquis central, aunque dichos valores son estadísticamente iguales al tratamiento testigo. Cabe mencionar que los tratamientos Ti [25  $\mu\text{M}$ ], Al [50  $\mu\text{M}$ ] y Si [5  $\mu\text{M}$ ], presentaron la mayor resistencia a la reducción, con valores de -0.06, -0.24 y -0.27 mm, respectivamente (Gráficos 5.1 E, 5.1 A y 5D).

La longitud de la panícula es un carácter importante para el proceso de cruzamiento. Es deseable que la panícula del progenitor macho sea grande y vigorosa, dado que esto garantiza una mayor cantidad de flores; y por tanto, de un mayor número de sacos polínicos para una buena polinización de las panículas hembras.

La producción de Fuzz (semilla botánica), de manera natural es muy difícil, debido a que no es muy frecuente el desarrollo de inflorescencias y este proceso depende de muchos factores tanto endógenos de la planta como exógenos (Moore y Berding, 2014).

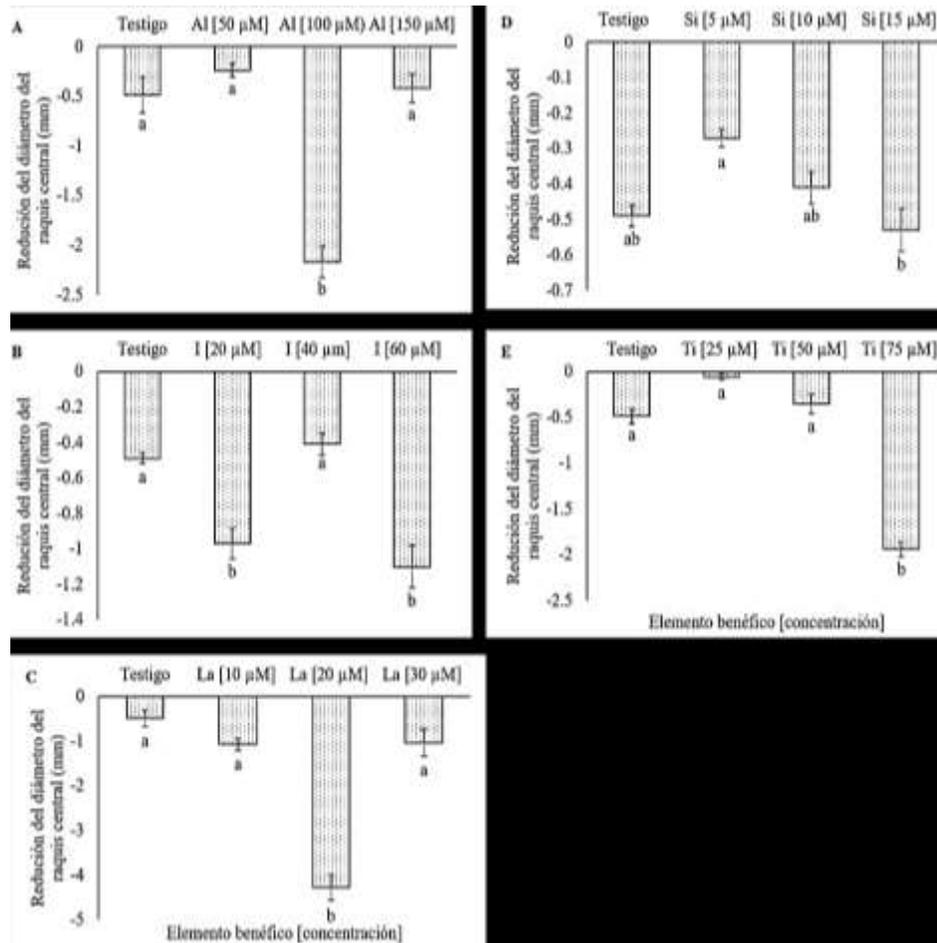
El presente estudio muestra que un factor exógeno como lo es la nutrición con elementos benéficos durante el periodo del cruzamiento, no tiene impacto en el crecimiento de la panícula (Gráfico 5.2).

**Gráfico 5** Reducción en el diámetro de tallo por efecto de elemento benéfico, Al (A), La (B), I (C), Si (D) y Ti (E)



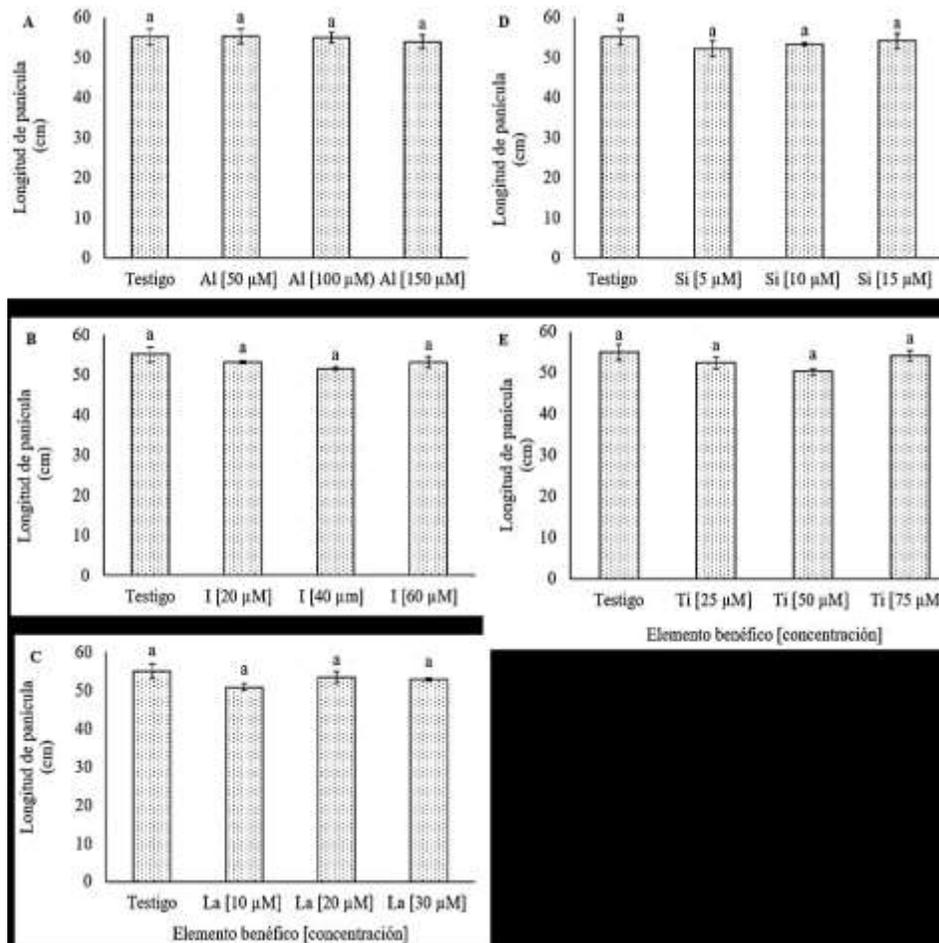
Medias  $\pm$  DE con letras distintas en cada subgráfico indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey,  $P \leq 0.05$ )

**Gráfico 5.1** Reducciones en el diámetro de raquis central por efecto de elemento benéfico, Al (A), La (B), I (C), Si (D) y Ti (E)



Medias  $\pm$  DE con letras distintas en cada subgráfico indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey,  $P \leq 0.05$ )

**Gráfico 5.2** Longitudes de panícula por efecto de elemento benéfico, Al (A), La (B), I (C), Si (D) y Ti (E)

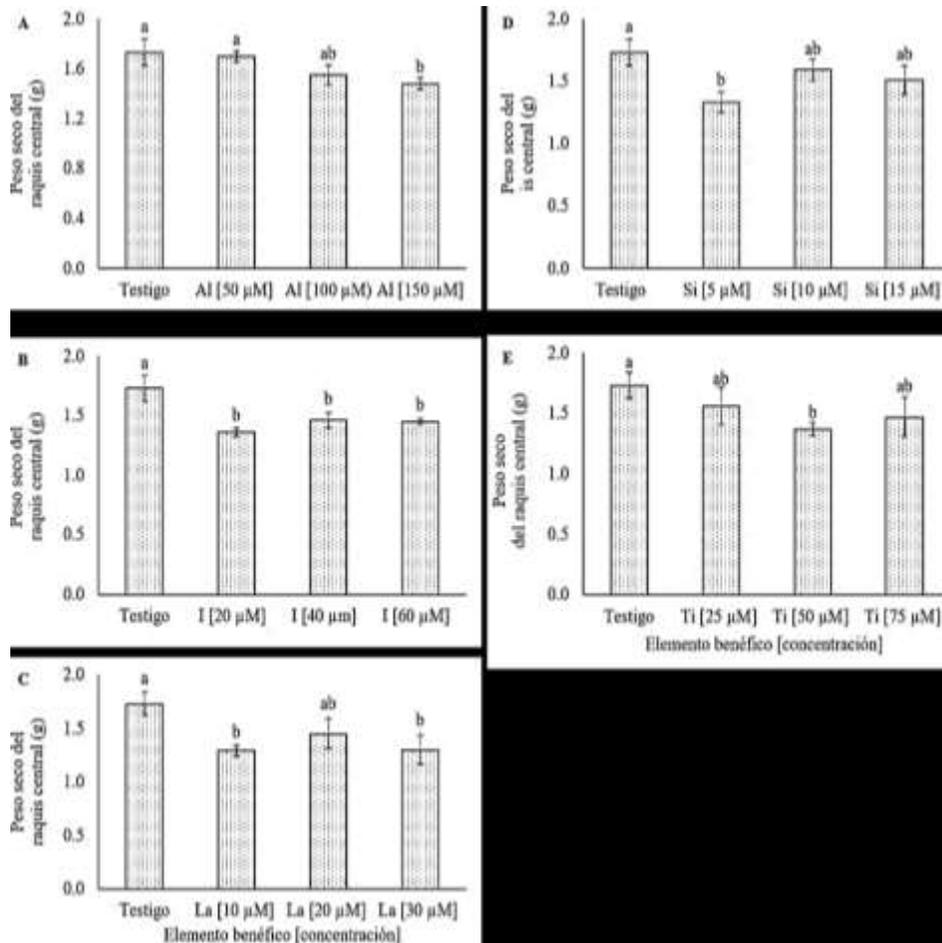


Medias  $\pm$  DE con letras distintas en cada subgráfico indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey,  $P \leq 0.05$ )

El crecimiento y desarrollo de las plantas está determinado por condiciones ambientales y nutrimentales (Naresh y Singh, 2010); por lo que, la evaluación de la acumulación de materia seca durante el ciclo de un cultivo, permite saber cuáles son los factores que influyen en mayor medida en el crecimiento y desarrollo (Santos *et al.*, 2010). La materia seca acumulada por las inflorescencias puede afectar el proceso de cruzamiento, dado que ésta depende del tamaño, actividad y duración del área foliar de la planta (Tekalign y Hammes, 2005). Lo anterior permite comparar el rendimiento de diferentes cultivares en condiciones similares de crecimiento (Woo *et al.*, 2004). En nuestro estudio se determinó el peso de la materia seca del raquis central (Gráfico 5.3) y del Fuzz (Gráfico 5.4). De manera general, se observó un efecto negativo de los elementos benéficos en la biomasa del raquis central (Gráfico 5.3). Los pesos secos más bajos del raquis central se obtuvieron con La [10 y 30 μM], I [20 y 60 μM], Si [5 μM] y Ti [50 μM], con valores de 1.29, 1.30, 1.36, 1.46, 1.33 y 1.37 g, respectivamente, en comparación con el testigo que obtuvo un peso seco de 1.73 g (Gráficos 5.3 B, 5.3 C, 5.3 D y 5.3 E). En los programas de selección de variedades de caña de azúcar, la semilla que produce la planta a través de los procesos de cruzamiento es conocida como Fuzz como ya se indicó previamente. El peso del Fuzz puede tener efectos determinantes en la viabilidad de la semilla. La producción de Fuzz es dependiente de diversos factores entre los que se encuentran el estatus nutrimental y el agua, señales bioquímicas y producción de hormonas, la temperatura del día y la noche, entre otros (Moore y Berding, 2014).

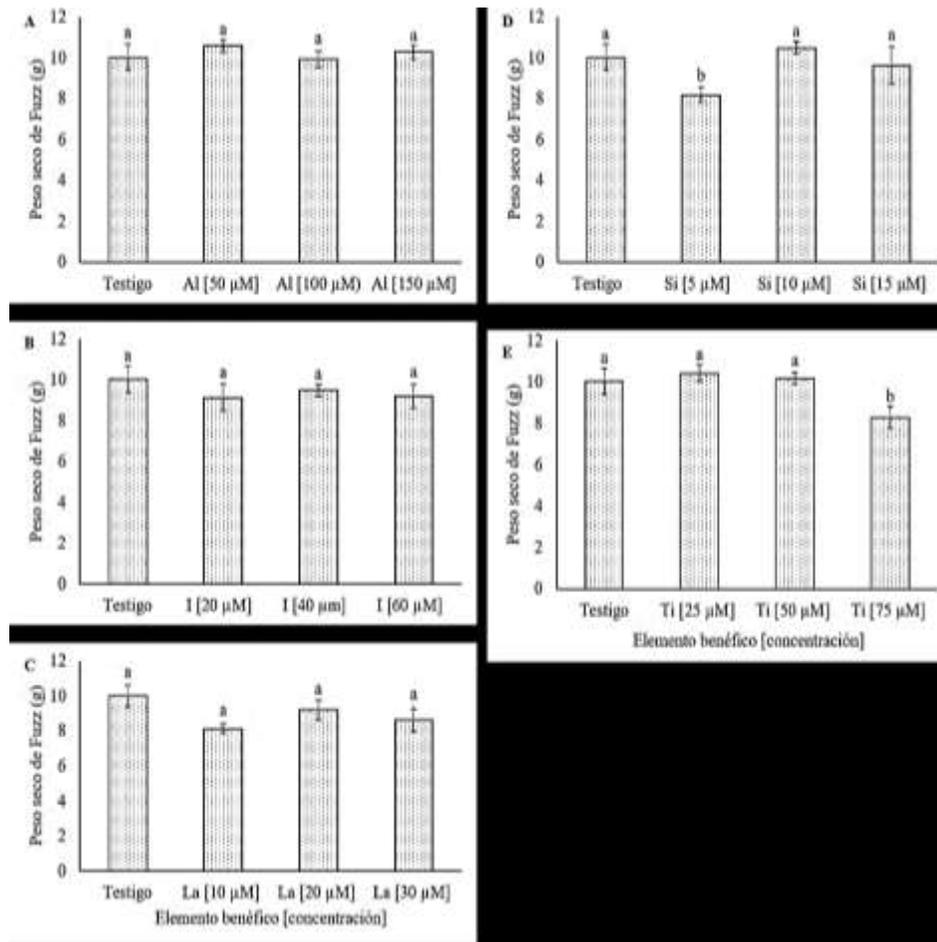
En nuestro estudio nos enfocamos en la parte nutrimental, y en elucidar respuestas tendientes a mejorar la fisiología de la panícula con el uso de elementos benéficos. La producción de materia seca de Fuzz en presencia de Si [5  $\mu\text{M}$ ] y Ti [75  $\mu\text{M}$ ], mostró una reducción significativa, con valores de 8.18 y 8.28 g, respectivamente, y que fueron inferiores al registrado en el testigo con un valor de 10.02 g (Gráficos 5.4 D y 5.4 E). El resto de los elementos benéficos y concentraciones ensayadas no tuvieron efectos estadísticamente significativos en el peso seco de Fuzz (Gráfico 5.4).

**Gráfico 5.3** Pesos secos de raquis central por efecto de elemento benéfico, Al (A), La (B), I (C), Si (D) y Ti (E)



Medias  $\pm$  DE con letras distintas en cada subgráfico indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey,  $P \leq 0.05$ )

**Gráfico 5.4** Pesos secos de Fuzz por efecto de los elementos benéficos Al (A), La (B), I (C), Si (D) y Ti (E)



Medias  $\pm$  DE con letras distintas en cada subgráfico indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey,  $P \leq 0.05$ )

En el presente trabajo, se observaron efectos diferenciales de los elementos benéficos en la fisiología de la panícula del progenitor masculino de caña de azúcar. Si bien muchos de los procesos en los cuales pueden intervenir los elementos benéficos aún no se han descrito, éstos ofrecen una oportunidad de mejora del crecimiento y desarrollo de las plantas (Trejo-Téllez *et al.*, 2007; Pilon-Smits *et al.*, 2009).

Diversos autores han reportado los efectos positivos del Al como elemento benéfico, con impactos importantes en la estimulación del crecimiento de raíces, el área foliar y favorecer la vida de florero de flores de corte (Pilon-Smits *et al.*, 2009; Kidd y Proctor, 2000; Mahdi *et al.*, 2012; Trejo-Téllez y Gómez-Merino, 2007). Recientemente Moreno-Alvarado *et al.* (2017) reportaron que el Al promueve el crecimiento y la concentración de azúcares solubles en arroz. Sin embargo, como todo elemento benéfico, el Al es inductor de hormesis en la planta. La hormesis es un fenómeno de respuesta a dosis, ya que a pequeñas cantidades de un elemento o sustancia un organismo puede mejorar su desempeño, pero al sobrepasar un umbral determinado, ocasiona efectos tóxicos. En este sentido, con base en los resultados obtenidos, no se encontró el nivel hormético al que este elemento ocasiona efectos positivos, y más bien lo que se observó fue un efecto negativo debido a que redujo el diámetro del tallo y el peso del raquis central (Gráficos 5 A y 5.3 A).

Por el contrario, a concentraciones adecuadas [50 y 150 mM] puede mantener el grosor del raquis central de la planta (Gráfico 5.1 A). Sin embargo, no presenta efectos significativos en otras variables evaluadas, como la longitud de la panícula y el peso seco de Fuzz (Gráficos 5.2 A y 5.4 A).

Otro elemento considerado como benéfico es el La, debido a que promueve el crecimiento e incrementa la biomasa y se ha demostrado que mejora el porcentaje de germinación de semillas (Ramírez-Martínez *et al.*, 2012; Liu y Hasenstein, 2005; Chaturvedi *et al.*, 2014). El La incrementa la calidad de plántulas de pimiento mediante la promoción de algunos parámetros de crecimiento y de las concentraciones de biomoléculas, dependiendo del genotipo y del tiempo de exposición (García-Jiménez *et al.*, 2017). En el presente trabajo, se observaron efectos diferenciales del La en función de su concentración en la reducción del diámetro del tallo (Gráfico 5 B) y del diámetro de raquis (Gráfico 5.1 B). Asimismo, el La en todas sus concentraciones evaluadas, redujo el peso seco del raquis central (Gráfico 5.3 B). Por otra parte, el La no tiene efectos significativos en la longitud de la panícula (Gráfico 5.2 B) y ni en el peso seco de Fuzz (Gráfico 5.4 B).

Otro elemento es el I, el cual interactúa en procesos de producción de biomasa y sistemas antioxidantes, además promueve la acumulación de compuestos fenólicos (Blasco *et al.*, 2011; 2013). En este estudio, se observó que dependiendo de su concentración, este elemento puede afectar indicadores de producción y finalmente el peso de materia seca, como se puede observar en los Gráficos 5 C, 5.1 C y 5.3 C. En el crecimiento de la panícula y el peso seco de Fuzz, el yodo no tuvo efectos significativos (Gráficos 5.2 C y 5.4 C).

El Si es un elemento benéfico para caña de azúcar, mejora procesos como la germinación, incrementa la actividad antioxidante bajo condiciones de estrés salino, y mitiga efectos negativos de factores bióticos y abióticos (Xiao-dong *et al.*, 2010; Jamali y Rahemi, 2011). Sin embargo, no en todos los procesos fisiológicos de la planta de caña de azúcar puede ser benéfico. A medida que incrementa la concentración de éste a partir de la concentración 10  $\mu$ M, se presenta mayor reducción en el diámetro del tallo (Gráfico 5 D). Por otra parte, las tres concentraciones de Si, no afectaron de manera significativa el diámetro del raquis central (Gráfico 5.1 D). Este elemento no mejoró la producción de materia seca; por el contrario, en la concentración baja evaluada [5 mM], la redujo significativamente (Gráficos 5.3 D y 5.4 D). El Si no afectó significativamente el crecimiento de la panícula (Gráfico 5.2 D).

El Ti juega un rol importante en diversos procesos internos de la planta, como en la germinación, en la vida de florero de flores de corte y en la reducción de la hormona vegetal etileno (Kleiber y Markiewicz, 2013; Mahmoodzadeh *et al.*, 2013; Norman y Chen, 2011). El Ti en la dosis alta evaluada [75 mM] incrementó significativamente las reducciones en el diámetro de tallo (Gráfico 5 E) y en el diámetro del raquis central (Gráfico 5.1 E); asimismo, redujo el peso seco del Fuzz (Gráfico 5.4 E); en todos los casos respecto al testigo. Así también se observa un efecto negativo de las dosis crecientes de Ti en el peso seco del raquis central (Gráfico 5.3 E). Por el contrario, el Ti en todas las dosis ensayadas no tuvo efecto en la longitud de la panícula (Gráfico 5.2 E).

Lo anterior indica que el efecto benéfico de los elementos Al, I, La, Si y Ti y su participación en el desarrollo del tallo del progenitor masculino durante el cruzamiento, no se ve muy resaltado, ya que dicha acción puede no alterar el funcionamiento normal de los tallos ya que en este caso, se mostraron cambios diferenciales mayormente negativos en todas las variables evaluadas a excepción de la longitud de la panícula que no se vio afectada.

### 5.3 Conclusiones

Los elementos benéficos Al, La, I, Si y Ti presentan una influencia considerable en parámetros fisiológicos de crecimiento y desarrollo floral durante el periodo de cruzamiento. Ninguno de los elementos benéficos evaluados tuvo influencia en el crecimiento de la panícula; sin embargo, participan en otros procesos fisiológicos con acentuados efectos, tanto positivos como negativos, destacando entre ellos la pérdida de diámetro en tallo y raquis central, y la producción de biomasa seca. En general, el Al pudo aumentar o mantener el grosor del raquis central e incrementar el peso seco de Fuzz. El La reduce los decrementos en el diámetro de tallo. El I reduce los decrementos en el diámetro del raquis central. El Si reduce la magnitud de los decrementos en el diámetro del raquis central y el peso seco de Fuzz. El Ti estimula el diámetro del raquis central e incrementa el peso seco del Fuzz.

Incluir elementos benéficos en la realización de los cruzamientos de caña de azúcar, podría traducirse en una alternativa para reforzar el mejoramiento genético de esta especie, al mejorar la condición del tallo cortado, ya que al separarse de la planta, se da lugar a la senescencia de la flor, lo que determina la longevidad o vida de la misma, que es indispensable contar con un mínimo de días (por lo menos 12) en óptimas condiciones para que se lleve a cabo el cruzamiento (apertura de flores y polinización de la hembra). Dicha condición se ve limitada por muchos factores internos como la producción de etileno y externos como el manejo durante el periodo de cruzamiento. En esta investigación se observaron efectos benéficos aunque no significados en la pérdida de diámetro en tallo y raquis central, lo que da referencia que se mantiene la turgencia de las células después de interrumpir el flujo normal de agua y nutrimentos debido al corte del tallo. Sin embargo, es este trabajo se observaron mayormente efectos negativos que benéficos en la fisiología del progenitor masculino de caña de azúcar CP 80-1743. Se recomienda seguir ensayando más concentraciones de los elementos benéficos.

### 5.4 Agradecimientos

Los autores agradecen al CIDCA, A. C. por las facilidades para llevar a cabo esta investigación. Al CONACYT por el apoyo y financiamiento de la beca de estudios otorgada a HESH. A la LGAC Nutrición Vegetal-Edafología del Colegio de Postgraduados.

### 5.5 Referencias

- Blasco, B., Leyva, R., Romero, L., & Ruiz, J. M. (2013). Iodine effects on phenolic metabolism in lettuce plants under salt stress. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(11), 2591-2596.
- Blasco, B., Ríos, J. J., Leyva, R., Cervilla, L. M., Sánchez-Rodríguez, E., Rubio-Wilhelmi, M. M., Rosales, M. A., Ruiz, J. M., & Romero, L. (2011). Does Iodine Biofortification Affect Oxidative Metabolism in Lettuce Plants? *Biological Trace Element Research*, 142(3), 831-842.
- Chaturvedi, N., Gannavarapu, R., & Kumar-Dhal, N. (2014). Effect of lanthanum on the growth and physiological activities of *Zea mays*, *Vigna radiata* and *Vigna mungo*. *International Journal of Environmental Science*, 4(5), 653-659.
- CIDCA. (2016). *Programa de variedades*. Recuperado el 28 de julio de 2016, de <http://www.camaraazucarera.org.mx/Cidca.aspx>

CONAGUA. (2016). *Precipitación pluvial media histórica y total anual en el Estado de Chiapas*. Recuperado el 28 de julio de 2016, de <http://www.conagua.gob.mx/OCFS07/Contenido/Documentos/mediasgrfs.htm>

García-Jiménez, A., Gómez-Merino, F. C., Tejeda-Sartorius, O., & Trejo-Téllez, L. I. (2017). Lanthanum affects bell pepper seedling quality depending on the genotype and time of exposure by differentially modifying plant height, stem diameter and concentrations of chlorophylls, sugars, amino acids, and proteins. *Frontiers in Plant Science*, 8, Article 308, doi: 10.3389/fpls.2017.00308

Harrington, G. N. & Bush, D. R. (2014). *Transport Proteins in Plant Growth and Development*. USA: Wiley-Blackwell.

INAFED. (2016). *Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Tuxtla Chico*. Recuperado el 28 de julio de 2016, de <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM07chiapas/municipios/07102a.html>

Jamali, B. & Rahemi, M. (2011). Carnation flowers senescence as influenced by nickel, cobalt and silicon. *Journal of Biological and Environmental Sciences*, 5(15), 147-152.

Kidd, P. S. & Proctor, J. (2000). Effects of aluminium on the growth and mineral composition of *Betula pendula* Roth. *Journal of Experimental Botany*, 51(347), 1057-1066.

Kleiber, T. & Markiewicz, B. (2013). Application of “Tytanit” in Greenhouse Tomato Growing. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus*, 12(3), 117-126.

Landell, M. G. A. & Bressiani, J. A. (2010). *Melhoramento genético e manejo varietal*. Brasil: Instituto Agronomico Campinas.

Liu, L. (1965). *Sugarcane crossing technique*. Trabajo presentado en el Congress of International Society of Sugar Cane Technologists de 1965.

Liu, M. & Hasenstein, K. H. (2005). La<sup>3+</sup> uptake and its effect on the cytoskeleton in root protoplasts of *Zea mays* L. *Plant Physiology*, 220(5), 658-666.

Machado-Junior, G. R. (2002). Sugarcane varieties. *Sugarcane Journal*, 66(2), 6-7.

Mahdi, J. M., Kafi, M., Khalighi, A., & Hasanzadeh, N. (2012). Evaluation of aluminum sulfate as vase solution biocide on postharvest microbial and physiological properties of ‘Cherry Brandy’ rose. *Annals of Biological Research*, 3(2), 1132-1144.

Mahmoodzadeh, H., Nabavi, M., & Kashefi, H. (2013). Effect of nanoscale titanium dioxide particles on the germination and growth of canola (*Brassica napus*). *Journal of Ornamental and Horticultural Plants*, 3(1), 25-32.

Moore, P. H. & Berding, N. (2014). *Flowering*. USA: Wiley-Blackwell.

- Moreno-Alvarado, M., García-Morales, S., Trejo-Téllez, L. I., Hidalgo-Conteras, V., & Gómez-Merino, F. C. (2017). Aluminum enhances growth and sugar concentration, alters macronutrient status and regulates the expression of NAC transcription factors in rice. *Frontiers in Plant Science*, 8, Article 73, doi: 10.3389/fpls.2017.00073
- Naresh, K. S. & Singh, C. P. (2001). Growth analysis of maize during long and short duration crop seasons: Influence of nitrogen source and dose. *Indian Journal of Agriculture Research*, 35(1), 13-18.
- Norman, D. J. & Chen, J. (2011). Effect of foliar application of titanium dioxide on bacterial blight of geranium and *Xanthomonas* leaf spot of *Poinsettia*. *Hortscience*, 46(3), 426-428.
- Pilon-Smits, E. A., Quinn, C. F., Tapken, W., Malagoli, M., & Schiavon, M. (2009). Physiological functions of beneficial elements. *Current Opinion in Plant Biology*, 12(3), 267-274.
- Ramírez-Martínez, M., Trejo-Téllez, L. I., Gómez-Merino, F. C., Castillo-González, A. M., Hernández-Ríos, I., & Hernández-Acosta, E. (2012). Bioacumulación de potasio, calcio y lantano en tulipán tratado con lantano. *Terra Latinoamericana*, 30(3), 229-238.
- Salgado-García, S., Lagunes-Espinoza, L. C., Núñez-Escobar, R., Ortiz-García, C. F., Bucio-Alanis, L., & Aranda-Ibañez, E. (2013). *Caña de azúcar. Producción sustentable*. México: Mundi Prensa-Colegio de Postgraduados.
- Santos, C. M., Segura, A. M., & Núñez, L. C. E. (2010). Análisis de crecimiento y relación fuente demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 63(1), 5253-5266.
- Sentíes-Herrera, H. E., Gómez-Merino, F. C., Valdez-Balero, A., Silva-Rojas- H. V., & Trejo-Téllez, L. I. (2014). The agro-industrial sugarcane system in Mexico: current status, challenges and opportunities. *Journal of Agricultural Science*, 6(4), 26-54.
- Serrano-Altamirano, V., Díaz-Padilla, G., López-Luna, A., Cano-García, M. A., Báez-González, A. D., & Garrido-González, E. R. (2006). *Estadísticas climatológicas básicas del Estado de Chiapas (período 1961-2003)*. México: Centro de Investigación Regional Pacifico Sur, Campo Experimental Centro Chiapas. INIFAP.
- Silva, C. E., Martínez, F., Madrid, C., & León, T. (2013). *La floración en caña de azúcar, su manejo para mejoramiento genético y en la producción comercial*. Trabajo presentado en el III Congreso AETA de 2013.
- Tekalign, T. & Hammes, P. S. (2005). Growth and productivity of potato as influenced by cultivar and productive growth: II. Growth analysis, tuber yield and quality. *Scientia Horticulturae*, 105(1), 29-44.
- Trejo-Téllez, L. I. & Gómez-Merino, F. C. (2007). Respuestas fisiológicas y bioquímicas de plantas de tabaco a concentraciones de aluminio en invernadero. *Terra Latinoamericana*, 25(3), 251-259.
- Trejo-Téllez, L. I., Gómez-Merino, F. C., y Alcántar-González, G. (2016). Elementos benéficos. En Alcántar-González, G., Trejo-Téllez, L. I., & Gómez-Merino, F.C. (Eds.). *Nutrición de Cultivos* (pp. 57-101). México: Colegio de Postgraduados.

Welbaum, E. G. (2014). Sugarcane Physiology, Biochemistry & Functional Biology. En Moore, P. J. & Botha, F. C. (Eds.). *Water Relations and Cell Expansion of Storage Tissue*. (pp. 197-220). USA: Wiley-Blackwell.

Woo, R. J. L., Vázquez, A. R., Olivares, S. E., Zavala, G. F., González, G. R., Valdez, C. R., & Gallegos, C. V. (2004). Análisis de crecimiento en maíz (*Zea mays* L.) aplicando lodos activados y urea. *Agrofaz*, 4(1), 437-441.

Xiao-dong, W., Ou-yang, C., Zhe-ren, F., Gao, S., Chen, F., & Tang, L. (2010). Effects of exogenous silicon on seed germination and antioxidant enzyme activities of *Momordica charantia* under salt stress. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 6(3), 700-708.