

1
2
3 ELEMENTOS BENÉFICOS EN LA HIBRIDACIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.):
4 EFECTOS EN LA FISIOLOGÍA DEL PROGENITOR FEMENINO DURANTE EL
5 CRUZAMIENTO Y POSTCOSECHA.

6 BENEFICIAL ELEMENTS IN SUGARCANE (*Saccharum* spp.) HYBRIDIZATION: EFFECTS ON
7 THE PHYSIOLOGY OF FEMALE PARENT DURING BREEDING AND POSTHARVEST.

8
9
10 Senties-Herrera, H. E¹, Trejo-Téllez, L. I¹, Gómez-Merino, F. C², Flores-Revilla, C³, Loyo-Joachin, R³,
11 Vázquez-López, E³, Comité Técnico Administrativo del CIDCA, A.C³

12
13 ¹Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. hector.senties@colpos.mx, tlibia@colpos.mx ²Colegio
14 de Postgraduados Campus Córdoba. fernandg@colpos.mx ³Centro de Investigación y Desarrollo de la
15 Caña de Azúcar, A. C. cflores@cniiaa.mx, rloyo@cniiaa.mx, evazquez@cniiaa.mx, cta.cidca@cniiaa.mx

16
17
18 Resumen

19
20 La floración en caña de azúcar es un proceso fisiológico deseable para la obtención de nuevas variedades.
21 El objetivo del presente estudio fue evaluar las respuestas del progenitor femenino de caña de azúcar CC
22 93-3826 a elementos benéficos Al, La, I, Si y Ti, con tres concentraciones, adicionados en la solución
23 aséptica, en la fisiología de la panícula, producción y germinación de Fuzz. Se utilizó un diseño
24 experimental completamente al azar con tres repeticiones, como testigo se usó la solución aséptica. Las
25 variables evaluadas fueron: reducción del diámetro del tallo (RDT) y del raquis central (RRC), peso seco
26 (PSRC) y longitud (LRC) del raquis central, peso del Fuzz después de desgrane (PFDD1), del
27 despeluzado (PFDD2) y del sopleteo (PFDS), impurezas después del despeluzado (IDD) y el sopleteo
28 (IDS) y por último el porcentaje de germinación total (PGT). Los resultados indican que ninguno de los
29 elementos benéficos afectó el RDT, RRC, PSRC y LRC. Al respecto, el PFDD1, se incrementó por
30 efecto del Al, La y Si, pero con Ti éste se redujo y con I no mostró cambio alguno. Sin embargo el
31 PFDD1, mantuvo una tendencia superior al testigo por efecto del Si; mientras que por efecto del resto
32 de los elementos el PFDD2 se redujo considerablemente. Las IDD para dar el valor del PFDD2,
33 aumentaron significativamente en todos los casos. El PFDS fue superior cuando se aplicó Al, La, I y Si,
34 y con Ti decreció. Las IDS para dar el PFDS, incrementaron por efecto de Si y I, pero disminuyeron con
35 Al, La y Ti. El PGT, se incrementa significativamente con Si; mientras que, con La no tienen efecto
36 alguno y con Al, I y Ti éste se reduce. De los elementos probados, fue Si el que mejoró la fisiología de
37 la panícula, producción y germinación de Fuzz.

38 **Palabras clave:** Poaceae, mejoramiento genético, Fuzz

39 Abstract

40 The flowering in sugarcane (*Saccharum spp.*) is a physiological desirable process for breeding new
41 varieties. The aim of this study was to evaluate the responses of the female sugarcane parent CC 93-3826
42 to the beneficial elements Al, La, I, Si and Ti, added in three concentrations in an aseptic solution, on
43 panicle physiology, production and germination of Fuzz. The experimental design was completely
44 randomized with three replications and as control an aseptic solution was used. The variables evaluated
45 were: reduced stem diameter (RDT) and central rachis (RRC), dry weight (PSRC) and length (LRC) of
46 the central rachis, weight of Fuzz after husking (PFDD1), of dishevel (PFDD2) and the blowoff (PFDS),
47 impurities after dishevel (IDD) and the blowoff (IDS) and finally the percentage of total germination
48 (PGT). Results indicate that none of the beneficial elements affected the RDT, RRC, PSRC and LRC. In
49 this regard, PFDD1, increased by the effect of Al, La and Si, Ti but this was reduced by Ti and the
50 element I showed no change. However PFDD1, maintained a superior trend compared to control due to
51 the effect of Si; while under the effect of other elements the PFDD2 was considerably reduced. The DDI
52 to give a value of PFDD2, increased significantly in all cases. The PFDS was higher with application of
53 Al, La, I and Si and was lower with Ti. The IDS to give the PFDS, increased by effect of Si and I, but
54 decreased with Al, La and Ti. The PGT, increases significantly with Si; whereas La shows no effect and
55 with Al, Ti I and it is reduced. Of the tested elements, Si was the one that improved the physiology of
56 the panicle, production and germination Fuzz.

57 **Keywords:** Poaceae, plant breeding, Fuzz

58

59

60 Introducción

61

62 En el mundo existen más de 25 programas de mejoramiento genético de caña de azúcar, los cuales
63 mantienen un gran número de clones seleccionados en programas regionales, clones importados de otras
64 estaciones y de especies silvestres de las colecciones mundiales (Machado-Junior, 2002). Lo anterior
65 aplica al programa de mejoramiento de caña de azúcar de México, el cual está coordinado por el Centro
66 de Investigación y Desarrollo de la Caña de Azúcar, A.C. (CIDCA), que cuenta con un banco de
67 germoplasma compuesto por 3,184 variedades, de las cuales 1,133 son mexicanas y 2,051 extranjeras,
68 mismas que se encuentran clasificadas por sexo, para dar lugar a 16 Bancos de Cruzamiento, y así
69 continuar año con año con los trabajos de mejoramiento genético de esta especie (Senties-Herrera *et al.*,
70 2014; CIDCA, 2016). El progreso y competitividad de la industria azucarera mexicana en gran medida
71 se debe al desarrollo de nuevas variedades, con características sobresalientes agroindustriales y
72 adaptabilidad a las diferentes regiones cañeras del país (Senties-Herrera *et al.*, 2014).

73 Con base a lo anterior, la floración es considerada como deseable para los mejoradores (Salgado-García
74 *et al.*, 2013). En este sentido, un control y sincronización de la floración es fundamental para el desarrollo
75 de nuevas variedades, debido a que permite el cruzamiento entre variedades sobresalientes para las
76 características agronómicas de interés (Silva *et al.*, 2013). Durante el proceso de hibridación, se lleva a
77 cabo básicamente la polinización, donde se cosechan los tallos con flores en campo a inicios de la
78 apertura de las flores. Después, dichos tallos son llevados a la casa de hibridación donde los cruzamientos
79 son establecidos (Landell y Bressiani, 2010) dando lugar a dos tipos: los biparentales (apareamiento de

80 dos individuos de sexo diferente) y multiparentales (apareamiento de tres o más individuos de diferente
81 sexo). Ambos cruzamientos se realizan en farol para evitar la contaminación de polen extraño (Senties-
82 Herrera *et al.*, 2014). Para mantener la longevidad de las inflorescencias hasta por 25 días, se utiliza una
83 solución aséptica, la cual está compuesta por ácidos no volátiles y volátiles. Dentro de los no volátiles
84 se encuentran los ácidos fosfórico, sulfúrico y nítrico, mientras que el dióxido de azufre representa a los
85 volátiles. Esta solución debe ser cambiada dos veces en la semana (Lui, 1965). En México se utilizan las
86 concentraciones siguientes: 100, 50, 25 y 25 mg L⁻¹, para dióxido de azufre, ácido fosfórico, sulfúrico y
87 nítrico respectivamente. Esta solución no ha sido cambiada en 50 años, lo que significa que no se ha
88 estudiado esta área en nutrición de caña de azúcar y el efecto de nuevas formulaciones de soluciones en
89 el desarrollo y viabilidad de la flor, y producción de semilla botánica (Fuzz). Dado que los elementos
90 benéficos ofrecen la posibilidad de mejorar indicadores de crecimiento, desarrollo y respuestas a factores
91 ambientales (Trejo-Téllez *et al.*, 2007; Pilon-Smits *et al.*, 2009), el presente estudio tuvo como objetivo
92 evaluar el efecto de los elementos benéficos Al, I, La, Si y Ti en la solución aséptica del CIDCA, en
93 diferentes indicadores fisiológicos del tallo y la flor para la producción de semilla botánica (Fuzz).

94

95

96 Materiales y Métodos

97

98 La investigación se realizó en la Estación de Hibridación del Centro de Investigación y Desarrollo de la
99 Caña de Azúcar, A. C. (CIDCA) ubicado geográficamente a 14° 56' latitud norte y 92° 51' longitud oeste,
100 a una altitud de 320 m (INAFED, 2016). El clima es cálido húmedo con temperatura media anual de 26.4
101 °C y precipitación media anual de más de 4,259 mm (Serrano-Altamirano *et al.*, 2006; CONAGUA,
102 2016). Se realizó un cruzamiento biparental entre las variedades CC 93-3826 x CP 80-1743. Para la
103 evaluación solo se utilizó el progenitor femenino CC 93-3826. El cruzamiento se realizó de acuerdo
104 a las condiciones de trabajo del CIDCA. Para ello se cortaron tallos con flores disponibles y se
105 colocaron en solución aséptica. Posteriormente fueron llevados a la casa de cruzamientos para
106 armar el cruzamiento. El periodo de duración fue de 12 días, posteriormente, se eliminó el
107 progenitor masculino y el progenitor hembra fue llevado a la casa de maduración para terminar
108 el proceso de llenado de semilla. Terminado el anterior proceso, se procedió a la cosecha de
109 panículas y obtención de la semilla botánica.

110 Los tratamientos evaluados consistieron en la adición de cinco elementos benéficos con tres
111 niveles de concentración en la solución aséptica, los tratamientos fueron: Al a 50, 100 y 150
112 µM, I a 20, 40 y 60 µM, La a 10, 20 y 30 µM, Si a 5, 10 y 15 µM, y Ti a 25, 50 y 75 µM. Las
113 fuentes fueron Al₂(SO₄)₃, KI, LaCl₃, SiO₂, y TiO₂, respectivamente. Como testigo absoluto se
114 utilizó la solución aséptica. La adición de estos elementos se realizó dos veces durante la
115 duración del cruzamiento, siguiendo el criterio de la reposición de ácidos fijos.

116 Las variables evaluadas fueron: Reducción del Diámetro del Tallo (RDT), Reducción del Diámetro del
117 Raquis Central (RRC), Peso Seco del Raquis Central (PSRC) y Longitud del Raquis Central (LRC), Peso
118 del Fuzz Después del Desgrane (PFDD1); Peso del Fuzz Después del Despeluzado (PFDD2); Impurezas
119 Después del Despeluzado (IDD); Peso del Fuzz Después del Sopleteo (PFDS); Impurezas Después del
120 Sopleteo (IDS); Porcentaje de Germinación Total (PGT). Se utilizó un diseño experimental

121 completamente al azar con tres repeticiones. La unidad experimental fue una panícula. Se realizó
122 de manera independiente para cada elementos benéfico el análisis de la varianza (ANOVA) y
123 prueba de comparación de medias de Tukey ($P < 0.05$) con el programa estadístico SAS v. 9.4.

124

125

126 Resultados y Discusiones

127

128 Las variables reducción del diámetro del tallo (RDT), reducción del diámetro del raquis central (RRC),
129 peso seco del raquis central (PSRC) y longitud del raquis central (LRC), no presentaron diferencias
130 estadísticas significativas por efecto de alguno de los elementos benéficos y sus concentraciones
131 ensayadas.

132 En relación al Peso del Fuzz Después del Desgrane (PFDD1) (Tabla 1), el Al a concentraciones de 50 y
133 150 μM tuvieron el mayor incremento con 13.70 y 13.18, respectivamente, mientras que con Al 100 μM
134 se presentó un peso menor e igual al testigo. El I no mostró efectos significativos para esta variable. Por
135 otra parte las concentraciones de 10 y 30 μM La, incrementaron considerablemente la biomasa con
136 valores de 13 y 14.3 g, respectivamente, no así con el concentración 20 μM que se mantuvo igual que el
137 testigo. El Si incrementó los gramos de Fuzz en sus tres concentraciones ensayadas (5, 10 y 15 μM) con
138 valores de 14.1, 13.8 y 14.7 g, respectivamente. El Ti, tuvo un efecto contrario, ya que la concentración
139 25 μM redujo esta variable significativamente, con un valor de 11.2 g en comparación con el testigo que
140 alcanzó 12.3 g. El resto de las concentraciones de Ti no mostraron diferencia estadística significativa.

141 Respecto a la variable Peso del Fuzz Después del Despeluzado (PFDD2) (Tabla 1), la cantidad de Fuzz
142 obtenida en este paso del proceso de postcosecha, mostró diferencias estadísticas significativas. El peso
143 más alto se mostró con 150 μM Al con 7.92 g, pero estadísticamente igual a testigo. Contrariamente, 100
144 μM Al, mostró un decremento con 6.14 g. Con el suministro de I en sus tres concentraciones, se redujo
145 significativamente el peso de Fuzz en 1 g, en comparación con el testigo que alcanzo 7.5 g. Un efecto
146 similar se tuvo con La, que también redujo la cantidad de Fuzz en el orden de 2 g, en comparación del
147 testigo que obtuvo 7.5 g. El Si incrementó esta variable con las concentraciones 5 y 10 μM , con valores
148 de 8.6 y 8.4 g, respectivamente, y la contracción 15 μM Si, fue estadísticamente igual al testigo. El Ti
149 mostró los mayor decrementos de peso de Fuzz, con menos de 3 g, ya que el testigo obtuvo un peso de
150 7.5 g.

151 Con base a las dos variables inmediatamente anteriores se calculó por diferencia las Impurezas Después
152 del Despeluzado (IDD) (Tabla1). Se encontró que la mayor cantidad de impurezas se obtuvo por efecto
153 de los elementos benéficos, ya que el testigo (Sol. CIDCA) mostró los valores más bajos con 4.8 g, y los
154 tratamientos oscilaron entre 5.3 y 8.1 g (valor mínimo y máximo, respectivamente).

155 El Peso del Fuzz Después del Sopleteo (PFDS) (Tabla1), corresponde al peso final de Fuzz del proceso
156 de postcosecha, y por tanto, la producción final. Al en sus tres concentraciones (50, 100 y 150 μM Al)
157 incrementaron considerablemente el rendimiento de Fuzz, con valores de 5, 4.5 y 4.7 g, respectivamente,
158 mientras que el testigo alcanzó un peso final de 3.8 g. Esta misma tendencia se observó con I, al alcanzar
159 más de 4 g por efecto de las tres concentraciones de I, mientras que el testigo alcanzo 3.8 g. Por otra
160 parte, La incrementó la cantidad de Fuzz con 30 μM La (4.3 g) y contrariamente se redujo
161 significativamente con 20 μM La (3.1 g), aunque estadísticamente las concentraciones de 10 y 20 μM

162 La son iguales al testigo. El Si, mostró incrementos en la cantidad de Fuzz, con rendimientos de 4.2, 4.8
163 y 5 g por efecto de la concentración 5, 10 y 15 μM Si, respectivamente. Para Ti, mostró una reducción
164 del peso de Fuzz, por efecto de sus concertaciones (25, 50 y 75 μM Ti), con rendimiento de 3, 3.2 y 2.5
165 g, respectivamente.

166 La variable Impurezas Después del Sopleteo (IDS) se estimó con PFDD2 y PFDS, por diferencia. La
167 mayor cantidad de impurezas fue debida al tratamiento testigo (Sol. CIDCA), que alcanzó un peso
168 promedio de 3.7 g, mientras que los valores de esta variable por efecto de los elementos benéficos y sus
169 concentraciones oscilaron entre 1.4 a 3.6 g (valore mínimo y máximo, respectivamente).

170 En general la mayor cantidad de Fuzz se obtuvo con 50 μM Al y 5 μM Si, ambos con 5 g de Fuzz por
171 panícula. Sin embargo, con 75 μM Ti, se obtuvo el menor rendimiento con apenas 2.5 g por panícula. El
172 Tratamiento testigo obtuvo un rendimiento de 3.8 g por panícula.

173 El Porcentaje de Germinación Total (PGT) (Figura 1), tuvo efectos diferenciales debido al elemento
174 benéfico en cuestión y su concentración ensaya. El Al mostró una reducción (menos del 5% PGT)
175 significativa con 150 μM Al, mientras que las dos concentraciones restantes fueron estadísticamente
176 iguales al testigo (Figura 1A). El efecto más negativo se observó con I, ya que en todas sus
177 concentraciones el PGT estuvo por debajo del 5%, mientras que el testigo alcanzo un 17% (Figura 1B).
178 Por otra parte, el La en su concentración alta (30 μM) redujo significativamente el PGT, mientras que
179 las concentraciones restantes no fueron estadísticamente distintas al testigo (Figura 1C). Por otra parte,
180 con el Si en su concentración baja (5 μM), obtuvo el PGT más alto con un 23% y contrariamente con la
181 concertación alta (15 μM) el PGT fue reducido significativamente. El Ti, mostró en todos los casos un
182 decremento en el PGT, ya que se obtuvieron porcentajes menores al 10%. Si bien, muchos de los efectos
183 de los elementos benéficos aún no se conocen, éstos pueden tener un efecto favorable en el crecimiento
184 y desarrollo de las plantas (Trejo-Téllez *et al.*, 2007; Pilon-Smits *et al.*, 2009). En esta investigación se
185 observaron efectos positivos y negativos en la fisiología de la planta, y con especial interés en la
186 producción y germinación de Fuzz. El caso del Al, pueden estimular del crecimiento de raíces, aumenta
187 la expansión foliar y la vida de florero en flores de corte, además incrementa el contenido de proteínas
188 (Pilon-Smits *et al.*, 2009; Kidd y Proctor, 2000; Mahdi *et al.*, 2012; Trejo-Téllez y Gómez-Merino,
189 2007). Con nuestra investigación se puede atribuir otros efectos durante el proceso de obtención de Fuzz,
190 ya que puede incrementar la biomasa en una concentración baja de 50 μM Al (Tabla 1) e interviene en
191 el proceso de germinación, aunque en este ultimo de manera negativa en concentraciones no adecuada
192 (150 μM Al) (Figura 1A). El I, mejora indicadores de producción de biomasa, tiene actividad
193 antioxidante y promueve la acumulación de compuestos fenólicos (Blasco *et al.*, 2011; 2013). En nuestro
194 estudio se observaron respuestas similares en la producción de biomasa a las antes reportadas, ya que se
195 incrementó considerablemente la producción de Fuzz (Tabla 1). Sin embargo tiene un efecto negativo
196 en la germinación del Fuzz, ya que en sus tres concentraciones se obtuvieron valores inferiores al 5% y
197 para el caso de 60 μM I, ésta fue inhibida totalmente (Figura 2B).

198

Tabla I. Variables postcosecha para la evaluación de la producción final de Fuzz.

Concentración	PFDD1 (g)		PFDD2 (g)		IDD (g)		PFDS (g)		IDS (g)	
Al										
[50 μ M]	13.7 \pm 0.115	a	7.3 \pm 0.09	b	6.4 \pm 0.14	a	5.0 \pm 0.16	a	2.4 \pm 0.13	b
[100 μ M]	12.6 \pm 0.1	c	6.1 \pm 0.03	c	6.5 \pm 0.12	a	4.5 \pm 0.07	b	1.6 \pm 0.09	c
[150 μ M]	13.2 \pm 0.03	b	7.9 \pm 0.025	a	5.3 \pm 0.05	b	4.7 \pm 0.03	ab	3.2 \pm 0.03	a
Sol. CIDCA	12.3 \pm 0.045	c	7.5 \pm 0.145	ab	4.8 \pm 0.19	b	3.8 \pm 0.01	c	3.7 \pm 0.14	a
I										
[20 μ M]	12.2 \pm 0.04	a	6.2 \pm 0.08	b	6.0 \pm 0.11	a	4.6 \pm 0.05	a	1.6 \pm 0.10	b
[40 μ m]	12.4 \pm 0.06	a	6.4 \pm 0.06	b	6.0 \pm 0.085	a	4.5 \pm 0.08	a	1.9 \pm 0.14	b
[60 μ M]	12.5 \pm 0.09	a	6.4 \pm 0.10	b	6.2 \pm 0.035	a	4.4 \pm 0.06	a	1.9 \pm 0.12	b
Sol. CIDCA	12.3 \pm 0.05	a	7.5 \pm 0.15	a	4.8 \pm 0.19	b	3.8 \pm 0.01	b	3.7 \pm 0.14	a
La										
[10 μ M]	13.0 \pm 0.02	b	5.0 \pm 0.03	c	8.1 \pm 0.04	a	3.5 \pm 0.07	bc	1.4 \pm 0.08	c
[20 μ M]	12.0 \pm 0.16	c	5.0 \pm 0.04	c	7.0 \pm 0.19	b	3.1 \pm 0.06	c	1.9 \pm 0.05	c
[30 μ M]	14.3 \pm 0.05	a	6.7 \pm 0.09	b	7.5 \pm 0.05	ab	4.3 \pm 0.15	a	2.4 \pm 0.11	b
Sol. CIDCA	12.3 \pm 0.05	c	7.5 \pm 0.15	a	4.8 \pm 0.19	c	3.8 \pm 0.01	b	3.7 \pm 0.14	a
Si										
[5 μ M]	14.1 \pm 0.03	b	8.6 \pm 0.16	a	5.6 \pm 0.15	b	5.0 \pm 0.07	a	3.6 \pm 0.10	a
[10 μ M]	13.8 \pm 0.13	b	8.4 \pm 0.14	a	5.3 \pm 0.21	b	4.8 \pm 0.06	a	3.6 \pm 0.09	a
[15 μ M]	14.7 \pm 0.11	a	7.1 \pm 0.02	b	7.6 \pm 0.13	a	4.2 \pm 0.09	b	2.8 \pm 0.10	b
Sol. CIDCA	12.3 \pm 0.05	c	7.5 \pm 0.15	b	4.8 \pm 0.19	b	3.8 \pm 0.01	c	3.7 \pm 0.14	a
Ti										
[25 μ M]	11.2 \pm 0.03	c	4.7 \pm 0.07	b	6.5 \pm 0.10	b	3.0 \pm 0.05	b	1.7 \pm 0.12	b
[50 μ M]	12.4 \pm 0.07	a	4.7 \pm 0.11	b	7.7 \pm 0.17	a	3.2 \pm 0.04	b	1.5 \pm 0.07	b
[75 μ M]	11.9 \pm 0.15	b	4.3 \pm 0.11	b	7.6 \pm 0.08	a	2.5 \pm 0.11	c	1.8 \pm 0.09	b
Sol. CIDCA	12.3 \pm 0.05	ab	7.5 \pm 0.15	a	4.8 \pm 0.19	c	3.8 \pm 0.01	a	3.7 \pm 0.14	a

199 Medias \pm DE con letras distintas en cada variable por elemento benéfico (hilera), indican diferencias estadísticas (Tukey, $P \leq 0.05$). Peso del
200 Fuzz Después del Desgrane (PFDD1); Peso del Fuzz Después del Despeluzado (PFDD2); Impurezas Después del Despeluzado (IDD); Peso del
201 Fuzz Después del Sopleteo (PFDS); Impurezas Después del Sopleteo (IDS); Porcentaje de Germinación Total (PGT)

202

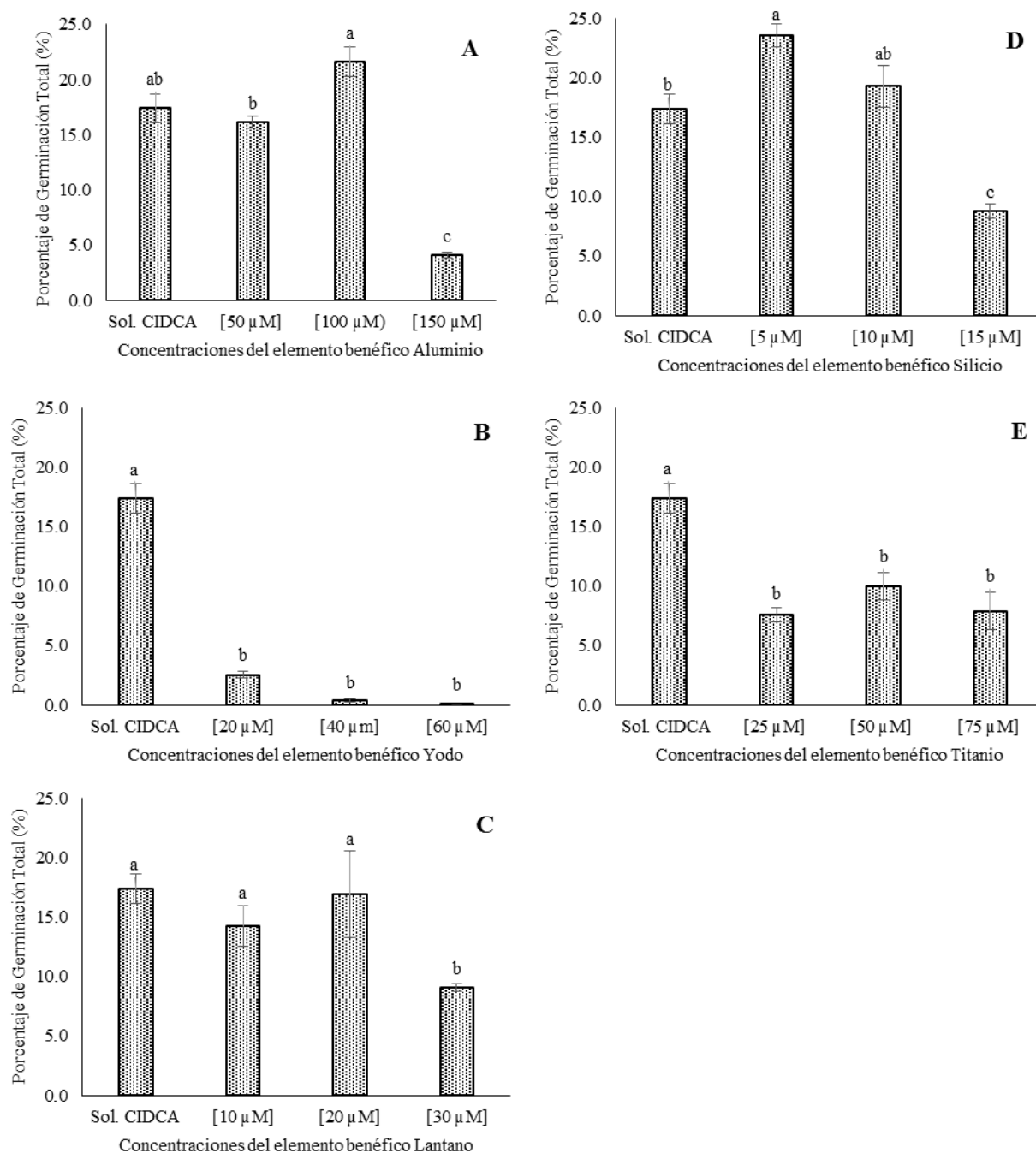


Figura 1. Porcentaje de Germinación Total (PGT). A) porcentajes obtenidos por efecto de Al. B) porcentajes obtenidos por efecto de La. C) porcentajes obtenidos por efecto de I. D) porcentajes obtenidos por efecto de Si. E) porcentajes obtenidos por efecto de Ti. Medias \pm DE con letras distintas indican diferencias estadísticas entre concentración por elemento benéfico (Tukey, $P \leq 0.05$).

203

204 Por otra parte el La, promueve el crecimiento e incrementa la biomasa, además mejora el porcentaje de
 205 germinación de semillas (Ramírez-Martínez *et al.*, 2012; Liu y Hasenstein, 2005; Chaturvedi *et al.*,

206 2014). En nuestro estudio se observaron respuestas contrarias en la producción de biomasa, ya que se
207 redujo considerablemente la producción de Fuzz (Tabla 1) y también se afectó negativamente el
208 porcentaje de germinación con una concentración para nuestro caso alta (30 μM), se puede reducir en un
209 50% (Figura 1C). El Si es el elemento benéfico más estudiado en caña de azúcar, puede tener efectos
210 benéficos en procesos tales como: germinación y en la actividad antioxidante bajo condiciones de estrés
211 salino, además como un mitigador de los efectos de factores bióticos y abióticos (Xiao-dong *et al.*, 2010;
212 Jamali y Rahemi, 2011). Se pudo constatar su efecto benéfico tanto para la producción de Fuzz como en
213 la germinación de Fuzz. En sus tres concentraciones (5, 10 y 15 μM Si) hubo un incremento en la
214 producción de Fuzz (Tabla 1), y su efecto más importante fue en la germinación ya que con 5 μM Si, se
215 puede incrementar considerablemente el PGT hasta en un 6% en comparación con el testigo, lo que se
216 traduce en un gran incremento en la obtención de mayor variabilidad por concepto de mayor cantidad de
217 semillas viables. El Ti puede intervenir en la germinación e incrementar la vida de florero de flores de
218 corte y disminuir la producción de etileno (Kleiber y Markiewicz, 2013; Mahmoodzadeh *et al.*, 2013;
219 Norman y Chen, 2011). En este estudio, el Ti tuvo efectos negativos. La producción de Fuzz, en las tres
220 concentraciones ensayadas (25, 50 y 75 μM Ti) redujeron la producción de semillas (Tabla 1) y en
221 consecuencia también tuvo afectaciones en el PGT con reducciones de más del 50% (Figura 1E).

222

223

224 Conclusiones

225

226 Los elementos benéficos pueden mejorar considerablemente la producción de Fuzz en concentraciones
227 adecuadas, sin embargo, esto no es indicativo que se pueda mejorar otros indicadores fisiológicos como
228 es la germinación.

229 Dentro de los elementos benéficos, el Si fue el que mostró un beneficio en la fisiología de la panícula,
230 específicamente en la producción de Fuzz. Con una concentración 5 μM se puede obtener grandes
231 beneficios tanto en la producción de Fuzz como en la germinación de ésta.

232 El uso de elementos benéficos, puede ser una alternativa para reforzar los programa de mejoramiento
233 genético de caña de azúcar, debido a que pueden incrementar la variabilidad genética en los cruzamientos
234 por su efecto en la mejora de producción de Fuzz y en la germinación.

235

236

237 Agradecimientos

238

239 Al CIDCA, por las facilidades para llevar a cabo esta investigación. Al CONACYT por el apoyo y
240 financiamiento de la beca de estudios. A la LGAC Nutrición Vegetal-Edafología del Colegio de
241 Postgraduados

242

243

244 Referencias

- 245 -Blasco, B., Leyva, R., Romero, L. and Ruiz, J. M. (2013). Iodine effects on phenolic metabolism in
246 lettuce plants under salt stress. *J. Agric. Food Chem.* 61: 2591-2596.
- 247 -Blasco, B., Ríos, J. J., Leyva, R., Cervilla, L. M., Sánchez-Rodríguez, E., Rubio-Wilhelmi, M. M.,
248 Rosales, M. A., Ruiz, J. M. and Romero, L. (2011). Does Iodine Biofortification Affect Oxidative
249 Metabolism in Lettuce Plants? *Biol. Trace Elem. Res.* 142: 831-842.
- 250 -Chaturvedi, N., Gannavarapu, R. and Kumar-Dhal, N. (2014). Effect of Lanthanum on the growth and
251 physiological activities of *Zea mays*, *Vigna radiata* and *Vigna mungo*. *International Journal of*
252 *Environmental Science.* 4(5): 653-659.
- 253 -CIDCA. (2016). Programa de variedades. Disponible en:
254 <http://www.camaraazucarera.org.mx/Cidca.aspx>
- 255 -CONAGUA. (2016). Precipitación pluvial media histórica y total anual en el Estado de Chiapas.
256 Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/OCFS07/Contenido/Documentos/mediasgrfs.htm>
- 257 -INAFED. (2016). Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Tuxtla Chico. Disponible
258 en: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM07chiapas/municipios/07102a.html>
- 259 -Jamali, B. and Rahemi, M. (2011). Carnation flowers senescence as influenced by nickel, cobalt and
260 silicon. *J. Biol. Environ. Sci.* 5(15): 147:152.
- 261 -Kidd, P. S. and Proctor, J. (2000). Effects of aluminium on the growth and mineral composition of *Betula*
262 *pendula* Roth. *J. Exp. Bot.* 51: 1057-1066.
- 263 -Kleiber T. and Markiewicz, B. (2013). Application of “Tytanit” in Greenhouse Tomato Growing. *Acta*
264 *Sci. Pol., Hortorum Cultus.* 12(3): 117-126.
- 265 -Landell, M. G. A e Bressiani, J. A. (2010). Melhoramento genético e manejo varietal. *In: Cana-de-*
266 *açúcar.* L. L. Dinardo-Miranda, A. C. M. Vasconcelos, M. G. A. Landell (eds.), Instituto Agronomico
267 Campinas, 101-176.
- 268 -Liu, M. and K. H. Hasenstein. (2005). La^{3+} uptake and its effect on the cytoskeleton in root protoplasts
269 of *Zea mays* L. *Plant Physiol.* 220: 658-666.
- 270 -Lui, L. (1965). Sugarcane crossing technique. *Proceeding of international Society of Sugar Cane*
271 *Technologists.* 12: 819:822.
- 272 -Machado-Junior, G. R. (2002). Sugarcane varieties. *Sugarcane Journal.* 66(2): 6-7.
- 273 -Mahdi J. M., Kafi, M., Khalighi, A., Hasanzadeh, N. (2012). Evaluation of aluminum sulfate as vase
274 solution biocide on postharvest microbial and physiological properties of ‘Cherry Brandy’ rose. *Annals*
275 *of Biological Research,* 3 (2):1132-1144.
- 276 -Mahmoodzadeh H., Nabavi, M. and Kashefi, H. (2013). Effect of Nanoscale Titanium Dioxide Particles
277 on the Germination and Growth of Canola (*Brassica napus*). *Journal of Ornamental and Horticultural*
278 *Plants.* 3(1): 25-32.
- 279 -Norman D. J. and Chen, J. (2011). Effect of Foliar Application of Titanium Dioxide on Bacterial Blight
280 of Geranium and Xanthomonas Leaf Spot of Poinsettia. *Hortscience,* 46(3):426-428.

- 281 -Pilon-Smits, E. A., Quinn, C. F., Tapken, W., Malagoli, M. and Schiavon, M. (2009). Physiological
282 functions of beneficial elements. *Curr. Opin. Plant Biol.* 12: 267-274.
- 283 -Ramírez-Martínez, M., Trejo-Téllez, L. I.; Gómez-Merino, F. C.; Castillo-González, A. M. Hernández-
284 Ríos, I. y Hernández-Acosta, E. (2012). Bioacumulación de potasio, calcio y lantano en tulipán tratado
285 con lantano. *Terra Latinoamericana.* 30(3): 229-238.
- 286 -Salgado-García, S., Lagunes-Espinoza, L. C., Núñez-Escobar, R., Ortiz-García, C. F., Bucio-Alanis, L.,
287 y Aranda-Ibañez, E. (2013). Caña de azúcar. Producción sustentable, Mundi Prensa-Colegio de
288 Postgraduados, México, 528 p.
- 289 -Senties-Herrera, H. E., Gómez-Merino, F. C., Valdez-Balero, A., Silva-Rojas- H. V., and Trejo-Téllez,
290 L. I. (2014). The agro-industrial sugarcane system in Mexico: current status, challenges and
291 opportunities. *Journal of Agricultural Science.* 6(4): 26-54
- 292 -Serrano-Altamirano, V., Díaz-Padilla, G., López-Luna, A., Cano-García, M. A., Báez-González, A. D.
293 y Garrido-González, E.R. (2006). Estadísticas climatológicas básicas del Estado de Chiapas (período
294 1961-2003). Centro de Investigación Regional Pacifico Sur, Campo Experimental Centro Chiapas. Libro
295 Técnico 1. INIFAP. 186 p.
- 296 -Silva, C. E., Martínez, F., Madrid, C. y León, T. (2013). La floración en caña de azúcar, su manejo para
297 mejoramiento genético y en la producción comercial. III Congreso AETA, Sep.18-20 del 2013.
298 Guayaquil-Ecuador. pp. 1-9.
- 299 -Trejo-Téllez, L. I. y Gómez-Merino, F. C. (2007). Respuestas fisiológicas y bioquímicas de plantas de
300 tabaco a concentraciones de aluminio en invernadero. *Terra Latinoamericana.* 25(3): 251-259.
- 301 -Trejo-Téllez, L. I., Gómez-Merino, F. C., y Alcántar-González, G. (2007). Elementos benéficos. *In:*
302 *Nutrición de Cultivos.* G. Alcántar-González y L. I. Trejo-Téllez (eds.), Mundi-Prensa, México. pp. 49-
303 91.
- 304 -Xiao-dong W., C. Ou-yang, F. Zhe-ren, S. Gao, F. Chen and L. Tang. (2010). Effects of exogenous
305 silicon on seed germination and antioxidant enzyme activities of *Momordica charantia* under salt stress.
306 *Journal of Animal & Plant Sciences.* 6(3): 700- 708.