

EFFECTO DEL TRATAMIENTO DE SEMILLA CON ZINC Y ÁCIDO GIBERÉLICO SOBRE LA EMERGENCIA Y EL CRECIMIENTO INICIAL DE LAS PLANTAS DE CAÑA DE AZÚCAR

EFFECT OF SEED TREATMENT WITH ZINC AND GIBBERELIC ACID ON THE EMERGENCY AND INITIAL GROWTH OF SUGARCANE PLANTS

Marcos Rengel*, Fernando Gil** y José Montaña*

*Ingenieros agrónomos. Agri de Venezuela, C. A. y **Fundación Azucarera para el Desarrollo, la Productividad y la Investigación (FUNDACAÑA), respectivamente. Estado Lara. Venezuela.
Correo electrónico: marcos.rengel@yahoo.es, fernandogilm@hotmail.com

RESUMEN

Con la finalidad de comparar la aplicación de una suspensión concentrada a base de zinc (Zn), Teprosyn Zn[®], con el uso de ácido giberélico (ÁG₃) en el tratamiento de semilla y evaluar su efecto sobre emergencia y crecimiento inicial de plantas de caña de azúcar, *Saccharum* spp., var. CP 742005, se condujo un ensayo en la Fundación Azucarera para el Desarrollo, la Productividad y la Investigación (FUNDACAÑA), ubicada en Chivacoa, municipio Bruzual, estado Yaracuy. Para tal fin se utilizó un diseño completamente aleatorizado con cinco tratamientos y tres repeticiones, donde el primero de ellos correspondió al testigo sin aplicación (T0). Los tratamientos T1, T2 y T3 consistieron en sumergir secciones de tallo de 5 cm de longitud con una yema viable (mini esquejes) por 10 min en soluciones de Teprosyn Zn[®] al 1%, 2% y 3%, respectivamente, mientras que en el último tratamiento (T4) la semilla se sometió a inmersión en una solución de 1 g Activol[®]/ 100 l agua⁻¹ durante el mismo tiempo. La siembra se realizó en bolsas plásticas negras, utilizando un sustrato obtenido a través de una mezcla de suelo y compost de cachaza en una proporción 1:1. Los datos fueron analizados con el programa Statistix 8. Los resultados indican que el tratamiento de semilla con Teprosyn Zn[®] promovió la emergencia, el crecimiento inicial de raíces, el peso aéreo seco y la producción de materia seca (MS) total de las plantas, favoreciendo el establecimiento del cultivo. La utilización de ÁG₃ sólo afectó la longitud total de raíces.

Palabras Clave: *Saccharum* spp.; híbrido; establecimiento; brotación; suspensión concentrada; Teprosyn Zn[®].

SUMMARY

In order to compare the application of a concentrated suspension based on zinc (Zn), Teprosyn Zn[®], with the use of gibberellic acid (GA₃) in the treatment of seed and evaluate its effect on emergence and early growth of sugarcane plants, *Saccharum* spp., var. CP 742005, a trial was conducted in the Sugar Development Foundation, Productivity and Research (FUNDACAÑA), located in Chivacoa, municipality Bruzual, Yaracuy. For this purpose was used a completely randomized design with five treatments and three replications, the first one corresponded to the control application (T0). Treatments T1, T2 and T3 consisted in immersing stem sections 5 cm long with a viable bud (mini cuttings) for 10 min in solutions of Teprosyn Zn[®] 1%, 2% and 3% respectively, while in the last treatment (T4) seed was subjected to immersion in a solution of 1 g Activol[®]/ 100 l water during the same time. The sowing was performed in black plastic bags using a substrate obtained from a mixture of soil and filter cake compost in a 1:1 proportion. Data were analyzed with the program Statistix 8. The results indicate that seed treatment with Teprosyn Zn[®] promoted the emergence, initial growth of roots, the dry weight and dry matter production (MS) in whole plants, favoring the crop establishment. GA₃ using only affected the total length of roots.

Key Words: *Saccharum* spp.; hybrids; establishment; sprouting; flowable suspension; Teprosyn Zn[®].

INTRODUCCIÓN

El zinc (Zn) es un micronutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Marschner, 1995; Alloway, 2008) que tiene un fuerte impacto sobre el avance vegetativo inicial de diferentes cultivos (Rengel y Graham, 1995; Grewal y Graham, 1997), ya que participa en la biosíntesis del ácido indol acético (Anderson y Bowen, 2000; Kirkby y Römheld, 2007), auxina que controla aspectos fundamentales como la elongación celular y el desarrollo radicular de las plantas (Leyser, 1999; Campanoni y Nick, 2005).

La movilidad y disponibilidad del Zn disminuyen sensiblemente en suelos alcalinos (Rico *et al.*, 1995; Singh *et al.*, 2005; Alloway, 2009), donde se requiere de un nivel crítico de Zn para que las raíces de las plantas puedan crecer y funcionar con efectividad (Graham *et al.*, 1992). En estos suelos se presentan con frecuencia síntomas de deficiencia (Cakmak *et al.*, 1999; Singh *et al.*, 2005; Alloway, 2008) que deprimen severamente el crecimiento de las plantas, especialmente del brote (Cakmak *et al.*, 1989).

Las aplicaciones edáficas y foliares, así como el tratamiento de la semilla con diferentes fuentes de Zn (sulfatos y quelatos) han demostrado ser prácticas eficientes en la prevención y corrección de deficiencias de muchos cultivos en suelos alcalinos (Takkar y Walker, 1993; Yilmaz *et al.*, 1997; Alloway, 2009). El tratamiento pre- siembra de semilla con sales inorgánicas no sólo puede promover la germinación bajo condiciones adversas, sino que también estimular el crecimiento y los procesos metabólicos subsecuentes, logrando aumentar el rendimiento final del cultivo (Ashraf y Foolad, 2005).

La caña de azúcar, *Saccharum* spp., requiere de aproximadamente 27 g Zn ha⁻¹ durante las primeras seis semanas del ciclo (Rengel *et al.*, 2010) y dado que la colocación del fertilizante en la proximidad de las raíces que van a desarrollarse permite el uso de dosis relativamente bajas (Alloway, 2008), es de esperar que la impregnación de esquejes pueda proveer la cantidad de Zn necesaria para sustentar el crecimiento inicial y el establecimiento del cultivo. En Venezuela se han obtenido respuestas favorables a la aplicación de Zn mediante el tratamiento de semilla asexual para la producción de plantas de caña de azúcar (Gabaüer, 2009).

Las giberelinas son hormonas que regulan el crecimiento y desarrollo de las plantas (Richards *et al.*, 2001) a través de la promoción de la división y elongación celular (Matusa-Göttgens y Hedden, 2009). El ácido giberélico

(ÁG₃) tiene un importante rol en la modulación de procesos tales como la ruptura de la latencia y el crecimiento de las yemas vegetativas (Sun y Gubler, 2004; Chao *et al.*, 2007). Se ha documentado que la aplicación foliar post emergente de ÁG₃ intensifica la actividad meristemática, estimula el crecimiento de los entrenudos y promueve la producción de sacarosa en el cultivo de la caña (Gonçalves-Martins y de Camargo, 1999; Taiz y Zeiger, 2002). Sin embargo, la información relacionada con el uso de esta hormona en el tratamiento de semilla es escasa.

En virtud de lo antes expuesto, el objetivo del presente trabajo fue comparar la aplicación de una suspensión concentrada a base de Zn con el uso de ÁG₃, mediante el tratamiento de semilla asexual y evaluar su efecto sobre la emergencia y el crecimiento inicial de las plantas de caña de azúcar var. CP 742005.

MATERIALES Y MÉTODOS

La evaluación se inició en abril de 2006 en el centro de tratamiento de semillas de la Fundación Azucarera para el Desarrollo, la Productividad y la Investigación (FUNDACAÑA), ubicada en la localidad de Chivacoa, municipio Bruzual del estado Yaracuy. Para tal fin se seleccionaron tallos de la caña de 10 m de edad, obteniéndose secciones de 5 cm de longitud (mini esquejes) que contenían una yema viable, previamente tratados con una suspensión de Carboxanilida+Tiocarbamato a una dosis de 2 ml l agua⁻¹.

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con cinco tratamientos y tres repeticiones para un total de 15 unidades experimentales. El primero de los tratamientos correspondió al testigo, sin aplicación (T0). Los tratamientos T1, T2 y T3 consistieron en sumergir los mini esquejes de la caña por 10 min en soluciones de Teprosyn Zn[®] al 1%, 2% y 3%, respectivamente (ver Cuadro). En el quinto y último tratamiento (T4) los mini esquejes se sometieron a inmersión por el mismo tiempo en una solución de 1 g Activol[®] 100 l agua⁻¹, lo cual es una práctica de rutina para la propagación de semilla asexual en FUNDACAÑA.

El Teprosyn Zn[®] está formulado como una suspensión concentrada a base de Zn al 60% (p/v), aportando 600 g de Zn l⁻¹ del producto comercial. Por su parte, el Activol[®] es un regulador de crecimiento del grupo de las giberelinas, que contiene ÁG₃ como ingrediente activo y se formula en tabletas solubles en agua de 1 g de concentración y una actividad biológica de 92%.

CUADRO. Número y descripción de tratamientos con Teprosyn Zn® y ácido giberélico en la caña de azúcar var. CP 742005 en FUNDACAÑA. Estado Yaracuy.

Tratamientos	Descripción
T0	Testigo, sin aplicación
T1	Solución Teprosyn Zn® 1% (600 g Zn/100 l)
T2	Solución Teprosyn Zn® 2% (1 200 g Zn/100 l)
T3	Solución Teprosyn Zn® 3% (1 800 g Zn/100 l)
T4	Solución 1 g Activol® 100 l (9,2 mg AG ₃ /l)

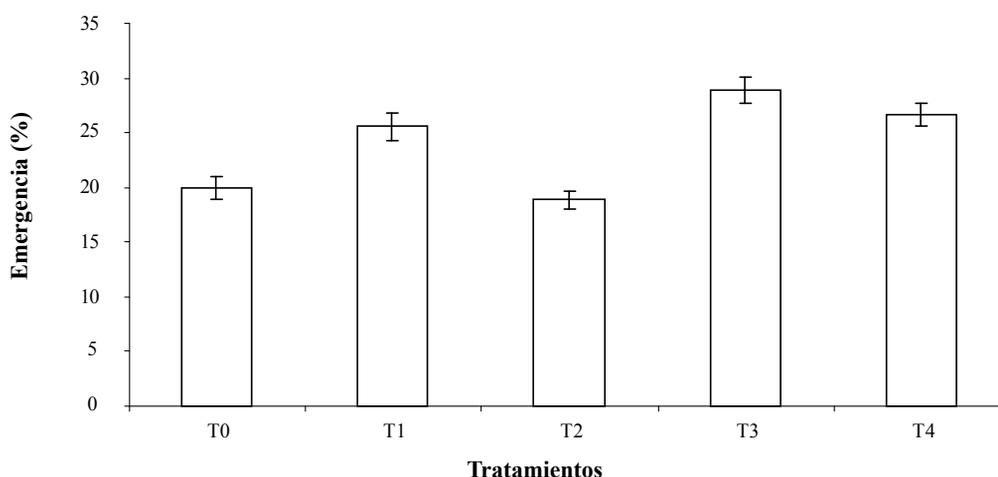
La propagación del material vegetal se realizó en bolsas plásticas negras de 20 cm de diámetro y 40 cm de profundidad, utilizando un sustrato obtenido mediante la mezcla de suelo y compost de cachaza (residuo de la industria del azúcar de caña) en una proporción 1:1. La siembra se realizó el día 25 de abril de 2006 y para ello se llenaron las bolsas con el sustrato a 2/3 partes de su capacidad, colocando los mini esquejes de forma horizontal con las yemas hacia arriba y cubriéndolas con el mismo sustrato hasta llenar completamente dichas bolsas. Todos los tratamientos fueron colocados bajo condiciones semi controladas de luz y temperatura, procediéndose de inmediato a hacer un riego; práctica que se continuó realizando cada 3 d.

La primera evaluación se efectuó 10 días después de la siembra (DDS) y correspondió a la estimación del porcentaje de emergencia en un total de 30 plantas por unidad experimental. A los 34 DDS, las plantas fueron separadas del sustrato a fin de determinar el número y la longitud total de raíces por tratamiento, en una muestra de 10 plantas tomadas al azar en cada unidad experimental, obteniendo el peso seco de raíces y de la parte aérea, luego de secar las muestras en estufa a 78 °C por 48 h hasta llegar a peso constante.

Los resultados fueron analizados mediante el programa Statistix, en su versión 8.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1 muestra las diferencias significativas entre los tratamientos para la emergencia a los 10 DDS, siendo T3 el tratamiento mas efectivo, con un 28,89% de brotes emergidos correspondiente a un aumento de 44,45% sobre el testigo (T0); mientras que los tratamientos T4 y T1 alcanzaron una emergencia de plantas de 26,67% y 25,56%, respectivamente, sin superar estadísticamente a T0. Es importante señalar que T2 registró una muy baja e inesperada respuesta (18,89% de emergencia), lo cual pudo obedecer a la siembra de mini esquejes del tercio basal de los tallos seleccionados para la propagación, dando como resultado la incorporación de yemas con menor vigor y capacidad de brotación.



Tratamientos con distintas letras difieren significativamente ($P < 0,05$) según la prueba de medias de Tukey (HSD). Las barras verticales representan el error Standard CV: 15,21.

FIGURA 1. Efecto del tratamiento de semilla con Teprosyn Zn® y ácido giberélico sobre el porcentaje de emergencia de plantas de caña.

Para prevenir tal inconveniente, la literatura especializada recomienda la selección y el uso de yemas provenientes del tercio superior que contienen un adecuado suministro de azúcares y nutrientes, constituyendo una semilla más valiosa para la siembra de la caña de azúcar (FONAIAP, 1985; Irvine, 2004; Miller y Gilbert, 2009). Es probable que este factor pueda explicar los altos coeficientes de variación obtenidos tanto en ésta como en las demás variables evaluadas, tal como se puede apreciar en las figuras anexas.

Sin embargo, resultados análogos indican que la inmersión de mini esquejes de 10 m de edad de la misma variedad de la caña en una solución de Teprosyn Zn[®] al 2%, aumentó la emergencia de brotes en un 15% sobre el testigo a los 15 DDS (Gabaüer, 2009).

El uso de Zn aumentó la germinación de yemas en un 50% en socas de la caña de azúcar en condiciones de bajas temperaturas (Rai *et al.*, 2008), lo cual se ha correlacionado positivamente con el contenido de triptófano y con la actividad del ácido indol acético en estos órganos vegetativos (Singh *et al.*, 2003).

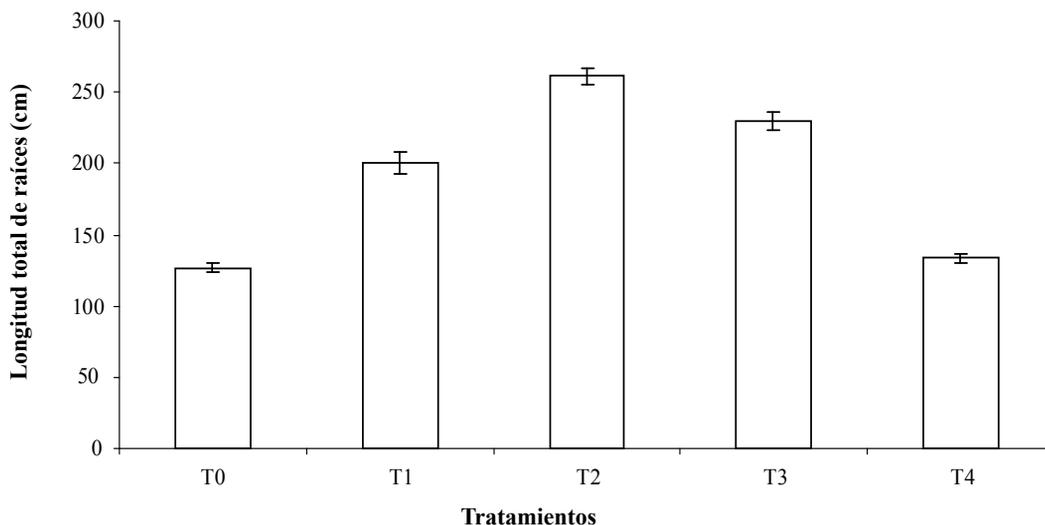
La Figura 1 señala que T4 no afectó el porcentaje de brotes emergidos, aunque otros autores demostraron que bajo condiciones invernales el uso de ÁG₃ promueve la

emergencia de socas de la caña de azúcar y las plántulas de arroz (Gonçalves-Martins y de Camargo, 1999; Chen *et al.*, 2005).

La Figura 2 indica que el tratamiento de semilla con Teprosyn Zn[®] arrojó diferencias significativas sobre la longitud total de raíces (LTR) con una mejor respuesta de la concentración de 2% (T2), sucedida de las dosis correspondientes a 3 y 1% (T3 y T1). El uso de 2 l de Teprosyn Zn[®] 100 l agua⁻¹ produjo una LTR de 261,33 cm, esto representa un aumento del 105,77% respecto del testigo, en el cual se cuantificaron 127 cm.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Gabaüer (2009), quien reporta que la inmersión de esquejes de la caña de 8 m en una solución de Teprosyn Zn[®] al 2% incrementó significativamente la LTR en un 19,4% sobre el testigo. La función del Zn como promotor de la elongación de raíces ha sido ampliamente documentada en cereales como maíz y arroz (Liu *et al.*, 1997; Akihiko *et al.*, 2006).

Paralelamente se aprecia que el ÁG₃ (T4) también influyó sobre la longitud radicular (Figura 2), lo cual es soportado por abundante evidencia científica que sugiere que esta fitohormona regula la elongación y el crecimiento de raíces en muchas especies de plantas (Inada y Shimmen, 2000; Inada *et al.*, 2000; Tanimoto, 2005).



Tratamientos con distintas letras difieren significativamente ($P < 0,05$) según la prueba de medias con la menor diferencia (LSD). Las barras verticales representan el error Standard. CV: 19,36.

FIGURA 2. Efecto del tratamiento de semilla con Teprosyn Zn[®] y ácido giberélico sobre la longitud total de raíces de plantas de caña.

En la Figura 3 se evidencia que no hubo diferencias entre tratamientos para el número de raíces en plantas de la caña. Sin embargo, se muestra una tendencia al aumento de esta variable con la menor concentración de Zn (T1) sobre los demás tratamientos. Se ha señalado que el uso de Zn promueve el aumento del número de raíces seminales y laterales en plántulas de tres distintos genotipos del maíz (Liu *et al.*, 1997), aunque en el arroz parece que el Zn tiene una mayor influencia sobre la longitud radicular que sobre el número de raíces (Akihiko *et al.*, 2006).

El tratamiento de semillas con Teprosyn Zn® o AG_3 no afectó la longitud promedio de raíces. No obstante, se evidencia una tendencia al incremento de esta variable por efecto de la aplicación de Zn en dosis de 2 y 3% (T2 y T3). Adicionalmente, el uso de AG_3 (T4) muestra una mejor respuesta en términos de valor absoluto sobre el resto de los tratamientos (Figura 4).

En la Figura 5 se señala que independientemente de la dosis, el tratamiento de semillas con Teprosyn Zn® afectó significativamente el peso seco de la parte aérea. No obstante, la concentración del 2% (T2) produjo la mejor respuesta logrando acumular 25,47 g comparado con 17 g obtenidos en el testigo, lo cual equivale a un incremento del 49,82%. Estos resultados concuerdan con los reportados por Gabaüer (2009), quien, con la misma dosis de Zn, obtuvo aumentos de 65,28% y 115,38% del peso seco aéreo en plantas de la caña provenientes de esquejes de 8 y 11 m, respectivamente.

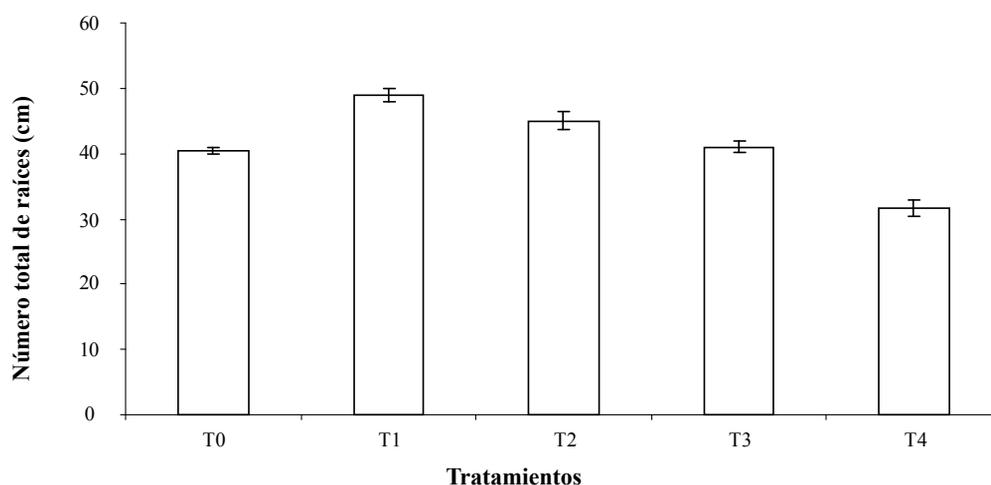
El tratamiento de semilla con Zn produjo un incremento significativo sobre el peso aéreo seco promedio en cereales y leguminosas (Harris *et al.*, 2008).

Por otro lado, se observa que no hubo respuesta a la aplicación de AG_3 (T4) sobre el peso aéreo seco de las plantas de caña (Figura 5).

El tratamiento de semilla de la caña con Zn o AG_3 , no tuvo influencias sobre la acumulación de MS en las raíces. Sin embargo se manifiesta cierta tendencia al aumento de dicha variable con el uso de Zn a las diluciones de 2 y 1% (Figura 6). Estos hallazgos difieren de los resultados obtenidos por Gabaüer (2009), quien logró aumentar el peso seco de raíces en 45,22% y 160,27% sobre el testigo, mediante la inmersión de esquejes de la caña de 8 y 11 m en soluciones de Teprosyn Zn® al 2%. La utilización de diferentes productos a base de Zn aumenta el crecimiento y el peso seco de raíces en plántulas de maíz y rúgula (Liu *et al.*, 1997; Ozdener y Aydin, 2009).

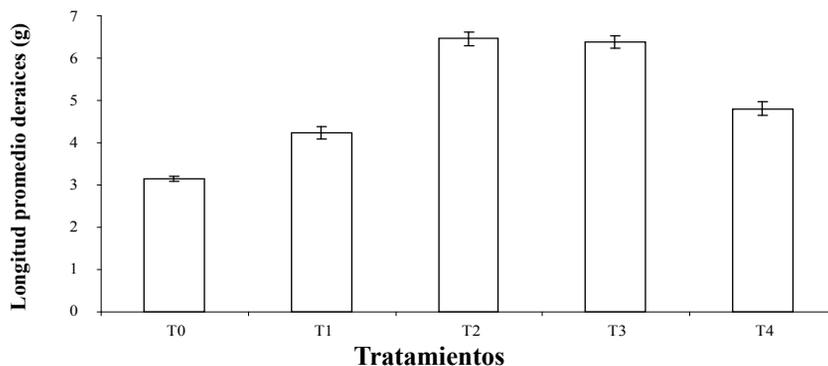
La inmersión de esquejes de la caña de azúcar en soluciones de Teprosyn Zn® al 2% (T2) afectó significativamente la producción de MS total en las plantas, obteniéndose un aumento del 51,82% sobre el testigo, al incrementar el peso seco total de 22 a 33,4 g (Figura 7).

Aunque el AG_3 (T4) no influyó sobre la producción de MS total en la caña, algunos reportes sugieren que su uso en inmersión aumenta sustancialmente el peso seco de plántulas de cultivos, como el arroz (Chen *et al.*, 2005).



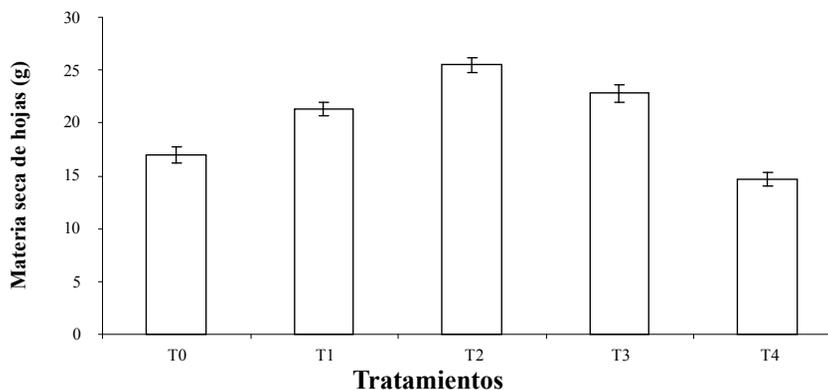
Tratamientos con distintas letras difieren significativamente ($P < 0,05$) según la prueba de medias con la menor diferencia (LSD). Las barras verticales representan el error Standard. CV: 27,85.

FIGURA 3. Efecto del tratamiento de semilla con Teprosyn Zn® y ácido giberélico sobre el número total de raíces de plantas de caña.



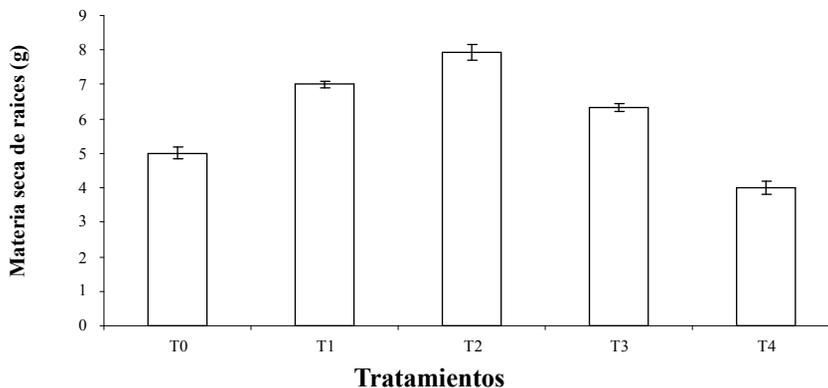
Tratamientos con distintas letras difieren significativamente ($P < 0,05$) según la prueba de medias con la menor diferencia (LSD). Las barras verticales representan el error Standard. CV: 36,60.

FIGURA 4. Efecto del tratamiento de semilla con Teprosyn Zn[®] y ácido giberélico sobre la longitud promedio de raíces de plantas de caña.



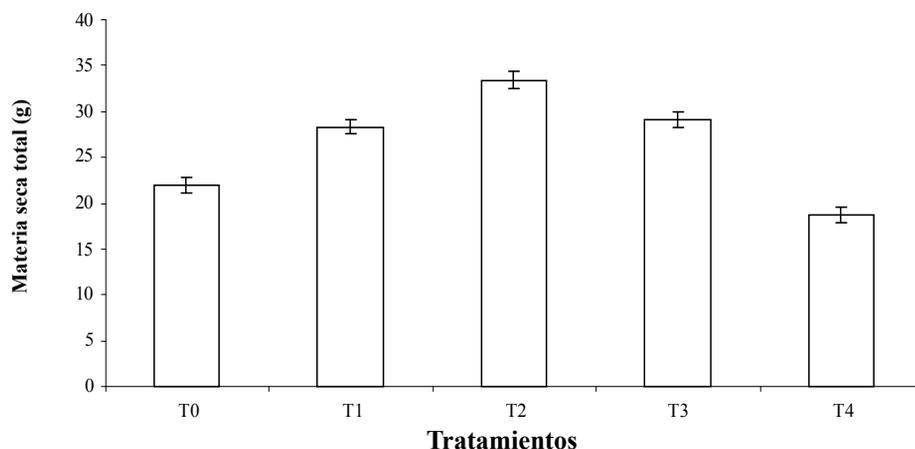
Tratamientos con distintas letras difieren significativamente ($P < 0,05$) según la prueba de medias con la menor diferencia (LSD). Las barras verticales representan el error Standard. CV: 22,81.

FIGURA 5. Efecto del tratamiento de semilla con Teprosyn Zn[®] y ácido giberélico sobre la acumulación de materia seca en hojas de plantas de caña.



Tratamientos con distintas letras difieren significativamente ($P < 0,05$) según la prueba de medias con la menor diferencia (LSD). Las barras verticales representan el error Standard. CV: 43,49.

FIGURA 6. Efecto del tratamiento de semilla con Teprosyn Zn[®] y ácido giberélico sobre la acumulación de materia seca en raíces de plantas de caña.



Tratamientos con distintas letras difieren significativamente ($P < 0,05$) según la prueba de medias con la menor diferencia (LSD). Las barras verticales representan el error Standard. CV: 24,61.

FIGURA 7. Efecto del tratamiento de semilla con Teprosyn Zn® y ácido giberélico sobre la acumulación de materia seca total en plantas de caña.

CONCLUSIONES

- El tratamiento de semilla con una suspensión concentrada a base de Zn (Teprosyn Zn®) al 3%, promovió la brotación y emergencia de mini esquejes de la caña de azúcar var. CP 742005.
- La inmersión de esquejes de la caña de azúcar en una solución de Teprosyn Zn® al 2% de concentración incrementó significativamente la longitud total de raíces, el peso aéreo seco y la producción de MS total de plantas de caña, favoreciendo el establecimiento del cultivo.
- La utilización de ÁG₃ en su dosis única (9,2 mg ÁG₃ l⁻¹) sólo afectó la longitud total de raíces bajo las condiciones del presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

Akihiko, I., U. Kana, S. Yuichi, N. Yoshitaka and A. Shoichiro. 2006. Effect of zinc and auxin on the formation of adventitious roots and its growth in rice plant. Bulletin of the Faculty of Agriculture, University of Miyazaki. 52(1-2):57-64.

Alloway, B. J. 2008. Zinc in soils and crop nutrition. 2nd Ed. International Zinc Association (IZA) and International Fertilizer Industry Association (IFA). Brussels, Belgium and Paris, France. 135 p.

Alloway, B. J. 2009. Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. Environ Geochem Health 31(5):537-548.

Anderson, D. L. y J. E. Bowen. 2000. Nutrición de la caña de azúcar. Instituto de la potasa y el fósforo (INPOFOS). Casilla postal 17-17-980. Quito, Ecuador. 40 p.

Ashraf, M. and M. R. Foolad. 2005. Pre-sowing seed treatment-a shotgun approach to improve germination, plant growth, and crop yield under saline and non-saline conditions. Adv Agron 88:223-271.

Cakmak, I., H. Marschner and F. Bangerth. 1989. Effect of zinc nutritional status on growth, protein metabolism and levels of indole-3-acetic acid and other phytohormones in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). J. Exp. Bot. 40(3):405-412.

Cakmak, I., I. Tolay, A. Ozdemir, H. Ozkan, L. Ozturk and C. I. Kling. 1999. Differences in zinc efficiency among and within diploid, tetraploid and hexaploid wheats. Ann. Bot. 84:163-171.

Campanoni, P. and P. Nick. 2005. Auxin-dependent cell division and cell elongation. 1-naphthaleneacetic acid and 2,4-dichlorophenoxyacetic acid activate different pathways. Plant Physiol 137(3):939-948.

Chao, W. S., M. E. Foley, D. P. Horvath and J. V. Anderson. 2007. Signals regulating dormancy in vegetative buds. Int. J. Plant Devel. Biol. 1(1):49-56.

- Chen, D., T. A. Gunawardena, B. P. Naidu, S. Fukai and J. Basnayake. 2005. Seed treatment with gibberellic acid and glycinebetaine improves seedling emergence and seedling vigour of rice under low temperature. *Seed Sci. Technol.* 33(2):471-479.
- Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 1985. El cultivo de la caña de azúcar. FONAIAP, Yaritagua, Venezuela. 226 p.
- Gebaüer L., J. M. 2009. Efecto de la aplicación de Teprosyn Zn® sobre la germinación y enraizamiento de esquejes de la caña de azúcar (*Saccharum* sp.) en el proceso de la producción de plántulas de la Agropecuaria El Retorno, C. A. en el municipio Esteller, estado Portuguesa. Tesis de grado para optar al título de Ing. Agr°. Tarabana, estado Lara. Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado. Decanato de Agronomía, núcleo "Héctor Ochoa Zuleta". 53 p.
- Gonçalves-Martins, M. B. e P. R. de Camargo e Castro. 1999. Efeitos de giberelina e ethephon na anatomia de plantas de cana-de-açúcar. *Pesq. Agropec. Bras.* 34(10):1 855-1 863.
- Graham, R. D., J. S. Ascher and S. C. Hynes. 1992. Selecting zinc-efficient cereal genotypes for soils of low zinc status. *Plant and Soil* 146:241-250.
- Grewal, H. S. and R. D. Graham. 1997. Seed zinc content influences early vegetative growth and zinc uptake in oilseed rape (*Brassica juncea*) genotypes on zinc-deficient soil. *Plant and Soil* 192:191-197.
- Grewal, H. S., L. Zhonggu and R. D. Graham. 1997. Influence of subsoil zinc on dry matter production, seed yield and distribution of zinc in oilseed rape genotypes differing in zinc efficiency. *Plant and Soil* 192:181-189.
- Harris, D., A. Rashid, G. Miraj, M. Arif and M. Yunas. 2008. 'On-farm' seed priming with zinc in chickpea and wheat in Pakistan. *Plant and Soil* 306:3-10.
- Inada, S. and T. Shimmen. 2000. Regulation of elongation growth by gibberellin in root segments of *Lemna minor*. *Plant Cell Physiol.* 41(8):932-939.
- Inada, S., M. Tominaga and T. Shimmen. 2000. Regulation of root growth by gibberellin in *Lemna minor*. *Plant Cell Physiol.* 41(6):657-665.
- Irvine, J. E. 2004. Sugarcane agronomy. In: Glyn James (ed.) *Sugarcane*. 2nd Ed. Blackwell Publishing, Oxford. UK. 143-159 pp.
- Kirkby, E. A. and V. Römheld. 2007. Micronutrients in plant physiology: functions, uptake and mobility. *Proceedings 543*. The International Fertilizer Society, York, United Kingdom. 1-51 pp.
- Leyser, O. 1999. Plant hormones: ins and outs of auxin transport. *Current Biology* 9:8-10.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press, New York.
- Miller, J. D. and R. A. Gilbert. 2009. Sugarcane botany: A brief view. Document SS-AGR-234. University of Florida. IFAS Extension: 1-6.
- Mutasa-Göttgens, E. and P. Hedden. 2009. Gibberellin as a factor in floral regulatory networks. *J. Exp. Bot.* 60(5):1 523-1 532.
- Ozdener, Y. and B. K. Aydin. 2009. The effect of zinc on the growth and physiological and biochemical parameters in seedlings of *Eruca sativa* (L.) (Rocket). *Acta Physiol. Plant.* 32(3):469-476.
- Rai, R. K., P. Singh, A. K. Shrivastava and A. Suman. 2008. Modulation of low-temperature-induced biochemical changes in bud and root band zone of sugar cane sets by potassium, zinc, and ethrel for improving sprouting. *J. Agric. Food Chem.* 56(24):11 976-11 982.
- Rengel, M., F. Gil y J. Montaña. 2010. Acumulación y distribución de micronutrientes en el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.). En revisión para publicación en la revista Bioagro-UCLA.
- Rengel, Z. and R. D. Graham. 1995. Importance of seed content for wheat growth on Zn-deficient soil. I. Vegetative growth. *Plant and Soil* 173:259-266.
- Richards, D. E., K. E. King, T. Ait-ali and N. P. Harberd. 2001. How gibberellin regulates plant growth and development: a molecular genetic analysis of gibberellin signaling. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 52:67-88.
- Rico, M. I., J. M. Álvarez and J. Novillo. 1995. Mobility and extractability of zinc in soil columns amended with micronutrient formulations. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 26 (17 and 18):2 843-2 855.

- Singh, B., S. K. Natesan, B. K. Singh and K. Usha. 2005. Improving zinc efficiency of cereals under zinc deficiency. *Current Science* 88(1):36-44.
- Singh, I., R. K. Rai, S. Solomon and A. K. Shrivastava. 2003. Role of indole-3-acetic acid in sprouting of subterranean buds in winter initiated sugarcane ratoon. *Sugar Tech.* 5(3):181-183.
- Sun, T. and F. Gubler. 2004. Molecular mechanism of gibberellin signaling in plants. *Ann. Rev. Plant Biol.* 55:197-223.
- Taiz, L. and E. Zeiger. 2002. *Plant physiology*. 3rd ed. Sinauer Associates Inc. Sunderland, MA. U.S.A. 881-942 pp.
- Takkar, P. N. and C. D. Walker. 1993. The distribution and correction of zinc deficiency. **In:** A. D. Robson (ed.) *zinc in soils and plants*. Kluwer Academic Publ., Dordrecht. The Netherlands. 151-166 pp.
- Tanimoto, E. 2005. Regulation of root growth by plant hormones-roles for auxin and gibberellin. *Crit. Rev. Plant Sci.* 24(4):249-265.
- Yilmaz, A., H. Ekiz, B. Torun, I. Gultekin, S. Karanlik, S. A. Bagci and I. Cakmak. 1997. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat cultivars grown on zinc-deficient calcareous soils. *J. Plant Nutr.* 20(4-5):461-471.