

# CRECIMIENTO Y DINÁMICA DE ACUMULACIÓN DE NUTRIENTES EN CAÑA DE AZÚCAR. II. MICRONUTRIENTES

Marcos Rengel<sup>1</sup>, Fernando Gil<sup>2</sup> y José Montaña<sup>1</sup>

## RESUMEN

Con la finalidad de determinar la dinámica de acumulación y distribución de micronutrientes en el cultivo de caña de azúcar variedad RB 85-5035, se condujo un estudio en Fundacaña, ubicada en la localidad de Chivacoa, estado Yaracuy, Venezuela. Se realizaron 10 muestreos de la parte aérea de la planta a través del ciclo de crecimiento. Cada muestra constó de tres cepas, tomadas al azar con una frecuencia mensual, en una superficie de 0,6 m<sup>2</sup>/cepa, a las cuales se les determinó la concentración de Fe, Cu, Zn, Mn, B y Mo en tallos y hojas. Las muestras de tejido fueron analizadas por los laboratorios Land Crop en York, Inglaterra. Se determinó que los períodos críticos de absorción de micronutrientes se ubican en la fase vegetativa y en la etapa de maduración del cultivo. Los micronutrientes Fe, Mn, B y Mo se almacenaron en mayor cantidad en el tejido foliar de la planta, mientras que Cu y Zn se acumularon de forma más pronunciada en los tallos a lo largo del ciclo. Los patrones de acumulación mostraron que los requerimientos de micronutrientes fueron: Fe=5241,5 g·ha<sup>-1</sup>, Cu=121,1 g·ha<sup>-1</sup>, Zn=875,6 g·ha<sup>-1</sup>, Mn=1142,4 g·ha<sup>-1</sup>, B=116,4 g·ha<sup>-1</sup> y Mo=33,4 g·ha<sup>-1</sup>.

**Palabras clave adicionales:** Nutrición mineral, hierro, manganeso, cinc, cobre, boro, molibdeno, *Saccharum* spp hybrid

## ABSTRACT

### Growth and dynamics of nutrient accumulation in sugarcane. I. Micronutrients

With the purpose of determining the dynamics of micronutrient accumulation and partitioning of sugarcane var. RB 85-5035, a trial was conducted in Fundacaña, located in Chivacoa, Yaracuy State, Venezuela. Ten samples of the aerial part of the plant were taken through the growing season, and each sample consisted of three stumps, taken at random on a monthly basis in an area of 0.6 m<sup>2</sup>/cepa<sup>-1</sup>. Concentrations of Fe, Cu, Zn, Mn, B and Mo on stems and leaves were analyzed by Land Crop Laboratories in York, England. It was determined that the critical periods for micronutrient absorption are found in the vegetative phase and crop ripening. The micronutrients Fe, Mn, B and Mo were stored in greater amounts in the leaf tissue of the plant, while Cu and Zn accumulated more pronounced in the stems during the cycle. The accumulation patterns showed that the crop micronutrient requirements were: Fe=5241.5 g·ha<sup>-1</sup>, Cu=121.1 g·ha<sup>-1</sup>, Zn=875.6 g·ha<sup>-1</sup>, Mn=1142.4 g·ha<sup>-1</sup>, B=116.4 g·ha<sup>-1</sup> and Mo=33.4 g·ha<sup>-1</sup>.

**Additional key words:** Plant nutrition, iron, manganese, zinc, copper, boron, molybdenum, *Saccharum* spp hybrid

## INTRODUCCIÓN

Uno de los factores que ejercen mayor influencia sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos son la disponibilidad, la absorción y la distribución de nutrientes esenciales en la planta (López-Lefebvre et al., 2002). La literatura especializada señala que la absorción de nutrientes está estrechamente relacionada con la tasa de crecimiento de la planta (Marschner, 1995); en consecuencia, la dinámica de acumulación de elementos minerales en las diversas etapas fenológicas es una herramienta de gran utilidad

para optimizar la nutrición del cultivo (Rengel, 2004). La extracción de nutrientes corresponde a la remoción que realizan los diferentes órganos de la planta durante su ciclo productivo y su conocimiento es un requisito básico para establecer los programas de fertilización.

La caña de azúcar es un cultivo de alta producción de biomasa (Wiedenfeld, 2000), con una gran importancia en las zonas tropicales y subtropicales del mundo que viene siendo usado para producir recursos energéticos estratégicos como azúcar y etanol (Wiedenfeld y Enciso, 2008). La producción de caña en Venezuela

Recibido: Mayo 13, 2010

Aceptado: Febrero 28, 2011

<sup>1</sup> Agri de Venezuela. Antigua vía Yaritagua, Chorobobo, estado Lara, Venezuela. email: marcos.rengel@agri.com.ve

<sup>2</sup> Fundacaña. Sector Central Matilde, Chivacoa, estado Yaracuy, Venezuela email: fernandogilm@hotmail.com

presenta un rendimiento promedio cercano a 33 t·ha<sup>-1</sup> (FEDEAGRO, 2010); esta baja productividad es incompatible con el alto potencial de rendimiento de las variedades actualmente utilizadas en el país, situación que puede ser mejorada sustancialmente mediante el conocimiento de la nutrición y el manejo apropiado de la fertilización del cultivo.

Numerosas publicaciones demuestran que la caña de azúcar responde favorablemente a la aplicación de los micronutrientes, tanto en rendimiento como en producción de azúcar. En el caso del hierro, el cultivo responde bien en términos de crecimiento, rendimiento y calidad (Rakkiyappan et al., 2002; Pawar et al., 2003) y se ha encontrado que su aplicación incrementa significativamente la longitud de los tallos y la producción de sacarosa (Dametie et al., 1995). El Cu desempeña un papel fundamental en los procesos de fotosíntesis, respiración, y lignificación (Anderson y Bowen, 2000; Kirkby y Römheld, 2007); y su uso en la caña de azúcar se ha correlacionado positivamente con la longitud del tallo y el número de entrenudos (Oad et al., 2002). El Zn es un activador de enzimas involucradas en la división celular, metabolismo de los ácidos nucleicos, síntesis de proteínas y de reguladores de crecimiento (Anderson y Bowen, 2000; Kirkby y Römheld, 2007) y su aplicación en el cultivo de caña aumenta el número de brotes y tallos e incrementa el rendimiento y el porcentaje de sacarosa en el jugo (Singh et al., 2002; Panhwar et al., 2003; Wang et al., 2005). El manganeso participa en el transporte de electrones y en el sistema de evolución de oxígeno durante el proceso fotosintético (Anderson y Bowen, 2000; Kirkby y Römheld, 2007); sus aplicaciones mejoran marcadamente el macollamiento, diámetro del tallo y, número y longitud de los entrenudos (Oad et al., 2002; Singh et al., 2002; Pawar et al., 2003). El B es un nutriente involucrado en el transporte de azúcares, síntesis de proteínas y estructuración de las paredes celulares (Anderson y Bowen, 2000; Kirkby y Römheld, 2007), y se ha reportado el aumento del contenido de sacarosa en el jugo luego de su aplicación en caña de azúcar (Sharma et al., 2002). El molibdeno juega un papel fundamental en el metabolismo del nitrógeno (Anderson y Bowen, 2000; Kirkby y Römheld, 2007; Ping et al., 2007), y su aplicación mejora la asimilación

del N por la planta (Ping et al., 2007).

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la dinámica de acumulación y distribución de los micronutrientes en los diferentes órganos de una variedad de caña considerada promisoriosa, lo cual puede contribuir con el manejo eficiente y racional de la fertilización del cultivo en el país.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron mediciones de crecimiento y acumulación de micronutrientes esenciales en caña de azúcar variedad RB 85-5035, clase soca 1, en el campo experimental de Fundacaña, ubicado en el Central Matilde, en la localidad de Chivacoa del estado Yaracuy, Venezuela. El suelo presentó, en general, una baja a moderada fertilidad natural (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Análisis de suelo del tablón de caña evaluado

Parámetro	Interpretación	
pH	8,3	Mod. alcalino
Materia orgánica (%)	3,4	Medio
CIC (me·100 g <sup>-1</sup> )	12,3	Medio
Hierro (mg·kg <sup>-1</sup> )	24,1	Medio
Cobre (mg·kg <sup>-1</sup> )	1,64	Bajo
Cinc (mg·kg <sup>-1</sup> )	2,9	Bajo
Manganeso (mg·kg <sup>-1</sup> )	22,6	Medio
Boro (mg·kg <sup>-1</sup> )	1,77	Bajo
Molibdeno (mg·kg <sup>-1</sup> )	0,05	Muy Bajo

Se efectuó una aspersión foliar de micronutrientes a los 55 días después del corte utilizando los productos Ferritrac, Coptrac, Zintrac, Mantrac y Bortrac, para un aporte total de 300 g·ha<sup>-1</sup> Fe, 150 g·ha<sup>-1</sup> Cu, 490 g·ha<sup>-1</sup> Zn, 200 g·ha<sup>-1</sup> Mn y 225 g·ha<sup>-1</sup> B, respectivamente. Otros detalles con respecto a la aplicación de macronutrientes y manejo del cultivo fueron presentados en una publicación previa (Rengel et al., 2011).

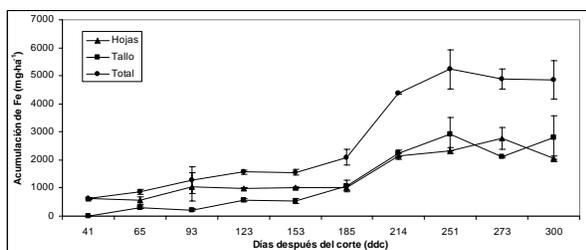
El ensayo se condujo entre mayo 2006 y abril 2007, realizando diez muestreos de la parte aérea de la planta a los 41, 65, 93, 123, 153, 185, 214, 251, 273 y 300 días después del corte (ddc), para determinar el contenido de materia seca y la concentración de los micronutrientes esenciales. Cada muestra constó de tres cepas o "macollas", tomadas al azar, en una superficie de 0,6 m<sup>2</sup> por cepa, y las determinaciones se hicieron por

separado tallos y hojas más vainas. Las muestras de tejido y suelo fueron analizadas por Lancrop Laboratories, en York, Inglaterra.

Para conocer los patrones de acumulación de cada nutriente, se multiplicó la concentración de cada uno por la cantidad de materia seca en el órgano respectivo. Los resultados fueron presentados en función del tiempo de evaluación y de la dispersión estadística de los promedios.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La curva de acumulación de hierro en los distintos órganos de la planta muestra que el nutriente fue absorbido lentamente pero de forma sostenida los primeros seis meses del ciclo (185 ddc), luego de los cuales ocurrió una rápida acumulación del nutriente (Figura 1) hasta alcanzar  $5.241,5 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$  de Fe, en concordancia el aumento de la materia seca en la planta (Rengel et al., 2011). Este resultado es comparable al obtenido por Bertsch (2003), quien observó una acumulación de  $5280 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$  a los 11 meses después del corte en soca 1.

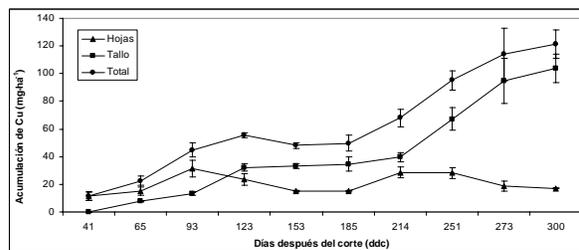


**Figura 1.** Acumulación de hierro (Fe) en tallos y hojas de caña de azúcar var. RB 85-5035. Las barras verticales representan el error estándar (no visibles cuando son menores que el marcador)

Se aprecia que el Fe se almacenó en mayor cuantía en las hojas que en los tallos durante los primeros meses, correspondientes al período de crecimiento vegetativo de la planta, de forma similar a lo reportado por Quintero (1999), pero contrario a los resultados de Bertsch (2003) quien reporta una mayor distribución de este elemento hacia los tallos durante el ciclo de la planta.

En el caso del cobre se observó un período de acumulación sostenida durante la fase vegetativa (hasta 123 ddc), seguido de una etapa de estabilización, para luego aumentar rápidamente a

partir del día 185 (Figura 2), en forma concomitante con el aumento rápido de la acumulación de materia seca.



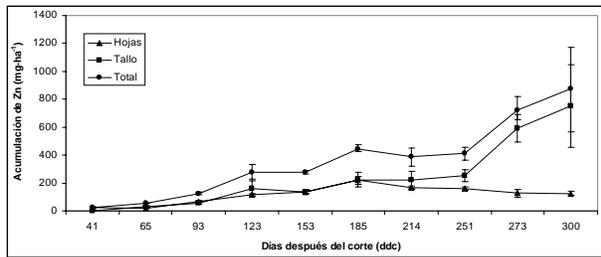
**Figura 2.** Acumulación de cobre (Cu) en tallos y hojas de caña de azúcar var. RB 85-5035. Las barras verticales representan el error estándar (no visibles cuando son menores que el marcador)

Se encontró que la acumulación inicial de este elemento se concentra principalmente en las hojas, pero a partir del cuarto mes (123 ddc) y durante el resto del ciclo, la distribución se revierte a los tallos, en donde es almacenado en mayor cantidad. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Quintero (1999) y Bertsch (2003). Por el contrario, Loué (1988) afirma que alrededor del 70 % del Cu presente en la planta se almacena en las hojas.

A finales del ciclo de la planta la acumulación total fue de  $121,1 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$  del elemento. Bertsch (2003), por su parte, reportó una extracción total de  $251 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$  en socas de 20 meses de edad.

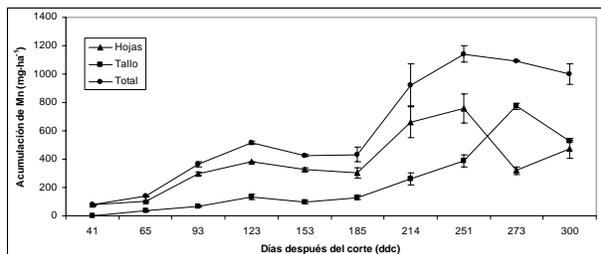
Los patrones de absorción de cinc por la planta de caña fueron algo similares a los de cobre, tanto en la fase vegetativa como en maduración (Figura 3). Sin embargo, a diferencia del Cu, la acumulación rápida comenzó en fecha posterior (251 ddc), ya que presentó un período de cierta estabilidad entre los 185 y 251 ddc. La acumulación total a los diez meses (300 ddc) fue de  $875,6 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ , cifra que supera a los  $784 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$  reportados por Bertsch (2003) para socas de 11 meses de edad.

Se observó que el Zn se distribuyó ligeramente en mayor proporción en el tallo durante la mayor parte del ciclo, de conformidad con los datos reportados por Quintero (1999) y Bertsch (2003). Sin embargo, en la etapa final, la concentración del nutriente en el tallo superó ampliamente al de las hojas, como respuesta a la mayor acumulación de materia seca en dicho órgano.



**Figura 3.** Acumulación de cinc (Zn) en tallos y hojas de caña de azúcar var. RB 85-5035. Las barras verticales representan el error estándar (no visibles cuando son menores que el marcador)

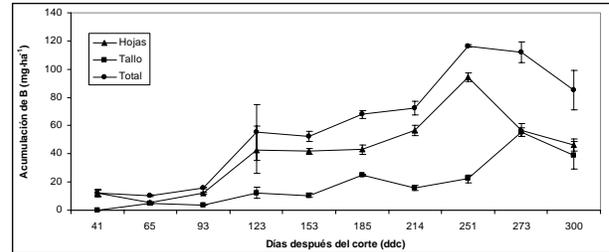
Las curvas de acumulación de manganeso exhibieron tendencias muy semejantes a las del hierro (Figura 4), aunque en este caso se hizo evidente la mayor distribución de este elemento hacia las hojas durante casi todo el ciclo, lo cual es comparable con los resultados de Quintero (1999). Bertsch (2003), por el contrario, reporta una localización más pronunciada en los tallos de la planta. La máxima acumulación en la etapa de maduración fue de  $1142,4 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ , cantidad muy superior al máximo requerimiento cuantificado por Bertsch (2003) para socas de 20 meses ( $697 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ ).



**Figura 4.** Acumulación de manganeso (Mn) en tallos y hojas de caña de azúcar var. RB 85-5035. Las barras verticales representan el error estándar (no visibles cuando son menores que el marcador)

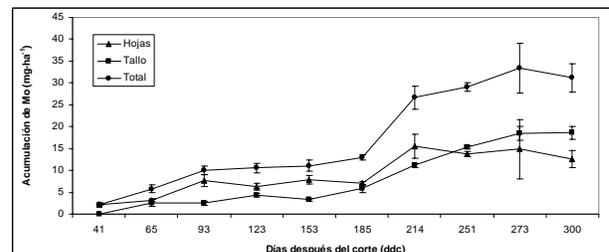
Con relación al boro se evidenció una acumulación muy lenta los primeros tres meses del ciclo (Figura 5). La máxima acumulación del elemento registró la cantidad de  $116,4 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ , con una mayor distribución en las hojas durante todo el ciclo. Un efecto distinto fue encontrado por Junqueira et al. (2009) quienes indican que la mayoría del B absorbido por plantillas de caña de 13 meses de edad ocurre en los estados iniciales

de crecimiento, obteniendo un almacenamiento proporcional entre tallos y hojas. Por otro lado, Bertsch (2003), reporta una remoción mucho mayor en socas de 20 meses de edad, pero con mayor extracción en el tallo.



**Figura 5.** Acumulación de boro (B) en tallos y hojas de caña de azúcar var. RB 85-5035. Las barras verticales representan el error estándar (no visibles cuando son menores que el marcador)

Los patrones de acumulación de molibdeno guardan una gran similitud con los micronutrientes anteriores en cuanto a la ubicación de los picos de absorción a través del ciclo (Figura 6). La máxima extracción se experimentó en la etapa de maduración (273 ddc), logrando acumular un total de  $33,4 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ , y a excepción de la etapa final, se almacenó en mayor proporción en las hojas, de la misma manera que los nutrientes Fe, Mn y B.



**Figura 6.** Acumulación de molibdeno (Mo) en tallos y hojas de caña de azúcar var. RB 85-5035. Las barras verticales representan el error estándar (no visibles cuando son menores que el marcador)

En general, los períodos críticos de acumulación de los microelementos estuvieron en las fases vegetativas y de maduración de la caña, lo que sugiere que por razones prácticas su aplicación debería realizarse entre los 60 y 90 días después del corte o la siembra.

## CONCLUSIONES

De mayor a menor, los requerimientos de micronutrientes para la variedad de caña RB 85-5035 fueron Fe: 5241,5 g·ha<sup>-1</sup>, Mn: 1142,4 g·ha<sup>-1</sup>, Zn: 875,6 g·ha<sup>-1</sup>, Cu: 121,1 g·ha<sup>-1</sup>, B: 116,4 g·ha<sup>-1</sup> y Mo: 33,4 g·ha<sup>-1</sup>.

Se determinó que los períodos críticos de absorción de micronutrientes se ubican en la fase vegetativa y en la etapa de maduración del cultivo.

Los micronutrientes Fe, Mn, B y Mo se almacenaron en mayor cantidad en el tejido foliar de la planta, mientras que el Cu y Zn se acumularon de forma más pronunciada en los tallos a lo largo del ciclo del cultivo.

## AGRADECIMIENTO

A Fundacaña por facilitar sus instalaciones y a la empresa Agri de Venezuela, por el apoyo financiero para la realización de este trabajo.

## LITERATURA CITADA

- Anderson, D., y J. Bowen 2000. Nutrición de la caña de azúcar. Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS). Casilla postal 17-17-980. Quito. 40 p.
- Bertsch, F. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. San José, Costa Rica. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS). 307 p.
- FEDEAGRO. 2010. Estadísticas agrícolas. <http://www.fedeagro.org/produccion/> (consulta del 30/12/2010).
- Junqueira F., H. Ocheuze, A. Vitti, R. Otto, C. Faroni y J. Tovajar. 2009. Utilization of boron (<sup>10</sup>B) derived from fertilizer by sugar cane. R. Bras. Ci. Solo 33: 1667-1674.
- Kirkby, E. y V. Römheld. 2007. Micronutrients in plant physiology: functions, uptake and mobility. Proceedings 543. The International Fertilizer Society. York, UK. pp: 1-51.
- López-Lefebvre, L., R. Rivero, P. García, E. Sánchez, J. Ruiz y L. Romero. 2002. Boron effect on mineral nutrients of tobacco. J. Plant Nutrition 25 (3): 509-522.
- Loué, A. 1988. Los microelementos en agricultura. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, New York.
- Oad, F., G. Jamro, A. Lakho y G. Chandio. 2002. Correlation of growth traits and yield of sugarcane with micronutrients. Pak. J. Applied Sci. 2 (7): 735-738.
- Panhwar, R., H. Keerio y Y. Memon. 2003. Response of Thatta-10 sugarcane variety to soil and foliar application of zinc sulphate (ZnSO<sub>4</sub>·7 H<sub>2</sub>O) under half and full doses of NPK fertilizer. Pak. J. Applied Sci. 3 (4): 266-269.
- Pawar, M., S. Joshi y V. Amodkar. 2003. Effect of foliar application of phosphorus and micronutrients on enzyme activities and juice quality in sugar cane. Sugar Tech. 5(3): 161-165.
- Ping, W., L. Rui y Y. Tao. 2007. Effects of molybdenum on nitrogen metabolism of sugarcane. Sugar Tech. 9(1): 36-42.
- Quintero D., R. 1999. Extracción de nutrimentos por la caña de azúcar. Carta Trimestral Cenicaña 2: 4-7.
- Rakkiyappan, P., S. Thangavelu y R. Radhamani. 2002. Effect of ferrous sulphate on sugarcane varieties grown in iron deficient soil. Sugar Tech 4 (1&2): 33-37.
- Rengel, M. 2004. Crecimiento y dinámica de acumulación de nutrientes en maíz en Venezuela. Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS). Quito Informaciones Agronómicas No. 53: 5-8.
- Rengel, M., F. Gil y J. Montaña. 2011. Crecimiento y dinámica de acumulación de nutrientes en caña de azúcar. I. Macronutrientes. Bioagro 23(1): 43-50.
- Sharma, B., A. Kumar, P. Singh, R. Singh y S. Singh. 2002. Micronutrient fertilization in sugarcane: effect of zinc and boron in

- calcareous soil. *Indian Sugar* 52 (6): 439-443.
18. Singh, A., A. Gupta, R. Srivastava, K. Lal y S. Singh. 2002. Response of zinc and manganese to sugarcane. *Sugar Tech.* 4 (1&2): 74-76.
19. Wang, J., C. Kennedy, H. Viator, A. Arceneaux y A. Guidry. 2005. Zinc fertilization of sugarcane in acid and calcareous soils. *J. Amer. Soc. Sugar Cane Technol.* 25: 49-61.
20. Wiedenfeld, P. 2000. Water stress during different sugarcane growth periods on yield and response to N fertilization. *Agricultural Water Management* 43 (2): 173-182.
21. Wiedenfeld, R. y J. Enciso. 2008. Sugarcane responses to irrigation and nitrogen in semiarid south Texas. *Agron. J.* 100: 665-671.