

Efecto de la fertilización foliar con zinc y boro sobre los componentes del rendimiento en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) en suelos inundados

Effect of foliar fertilization with zinc and boron on yield components of rice crop (*Oryza sativa* L.) grown in flooded soils

Marcos RENGEL¹, Jeglay CRUZ¹, Jesús CROCE¹, José MONTAÑO¹ e Iván CHIRINOS² ✉

¹Agri de Venezuela C. A. Antigua carretera Barquisimeto-Yaritagua, Hacienda La Unión, Edif. Agri Piso PB Ofc. Sur Sector Tablón de Caña Chorobobo, municipio Palavecino, estado Lara, Venezuela y ²Departamento de Ingeniería Suelos y Agua, Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia. Maracaibo, 4005, estado Zulia, Venezuela E-mails: marcos.rengel@yahoo.es, jesus.croce@agrivenezuela.com, ichirinos@fa.luz.edu.ve e ichirinos3@gmail.com ✉ Autor para correspondencia

Recibido: 25/11/2011 Fin de primer arbitraje: 28/02/2012 Primera revisión recibida: 03/04/2012
Fin de segundo arbitraje: 18/04/2012 Segunda revisión recibida: 25/04/2012 Aceptado: 14/05/2012

RESUMEN

La baja disponibilidad de micronutrientes en suelos inundados disminuye el potencial de rendimiento del arroz. En Ospino, estado Portuguesa, se condujeron dos ensayos individuales en diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones, con la finalidad de determinar el efecto de la aplicación foliar de Zn y B sobre el crecimiento, la fisiología de la planta, el rendimiento de grano y la eficiencia de uso de ambos nutrientes en este cultivo. Se realizó una fertilización básica a los 20 días después de la siembra (dds) y dos reabonos nitrogenados a los 45 y 65 dds. Se efectuó una aspersión foliar de cada micronutriente en la fase vegetativa a los 48 dds. Los tratamientos en el ensayo con zinc fueron: T0 = testigo absoluto (0), T1 = 350, T2 = 700, T3 = 1.050 y T4 = 471 g ha⁻¹ y en el caso del boro fueron: 0, 150, 225, 300 y 198 g ha⁻¹. Se midió: altura de la planta, número de hijos y panículas por metro cuadrado, verdor relativo de las hojas (SPAD), rendimiento, peso de 1000 granos y productividad parcial del factor. La data se analizó con el programa Statixtic 8.1. La aplicación foliar con 350 g ha⁻¹ de Zn incrementó significativamente la altura de la planta (14,4%) y la eficiencia de uso (11,99 kg arroz/g Zn), mientras que con 700 g ha⁻¹ se incrementó significativamente el rendimiento y el peso de 1000 granos en 63,0% y 2,76%, respectivamente. La aspersión con 225 g ha⁻¹ de B incrementó significativamente la altura de la planta en 7,9% respecto del testigo absoluto, en tanto que con la aplicación de la menor dosis (150 g ha⁻¹) se obtuvo la mayor productividad parcial del factor (28,9 kg arroz/g B).

Palabras clave: *Oryza sativa*, aspersión foliar, micronutrientes, comportamiento agronómico.

ABSTRACT

The low micronutrient availability in flooded soils diminishes rice crop yield potential. In Ospino, Portuguesa State, two experiments were carried out using a random block design with four replications to determine the effect of foliar application of Zn and B on growth, plant physiology, grain yield and both nutrient use efficiency in rice. Basic fertilization was carried out at 20 days after sowing (das) and two nitrogen top dressings at 45 and 65 das. A foliar aspersion of each micronutrient was made in the vegetative phase at 48 das. The treatments in Zn experiment were: T0 = absolute control (0), T1 = 350, T2 = 700, T3 = 1,050 and T4 = 471 g ha⁻¹ and in B one were: 0, 150, 225, 300 and 198 g ha⁻¹. Plant height, tiller number and panicles for square meter, leaf chlorophyll content (SPAD), paddy rice yield, 1000 grain weight and partial productivity of factor. Data was analyzed with Statixtic 8.1 statistical package. The results indicated that foliar application with 350 g ha⁻¹ of zinc significantly increased plant height (14.4%) and nutrient use efficiency (11.99 kg grain/g Zn), while with 700 g ha⁻¹, yield and 1000 grain weight were significantly increased in 63.0 and 2.76%, respectively. The aspersion of boron in dose of 225 g ha⁻¹ significantly increased plant height in 7.9% over the absolute control, while the application of smallest dose (150 g ha⁻¹), the biggest partial productivity of factor was obtained (28.9 kg grain/g B).

Key words: *Oryza sativa* L., foliar aspersion, micronutrients, agronomic performance

INTRODUCCIÓN

El adecuado suministro de nutrientes es un componente de gran importancia en los sistemas

agrícolas para incrementar la producción de biomasa y satisfacer la demanda de alimentos de una población en constante crecimiento (Roy *et al.*, 2006).

La fertilización es una práctica agronómica esencial en la agricultura moderna, debido a que la cantidad de nutrientes disponibles en el suelo es usualmente más baja que los niveles requeridos para el óptimo crecimiento de las plantas (Miwa *et al.*, 2006).

En este contexto, la aplicación foliar es una forma económica y efectiva de suministrar minerales a las plantas como complemento de la fertilización edáfica (Alexander y Schroeder, 1987; Fageria *et al.*, 2009) y es particularmente ventajosa bajo condiciones de suelo y clima que pueden limitar la disponibilidad de nutrientes (Römheld y El-Fouly, 1999). Mediante esta práctica se satisface la demanda de elementos específicos en etapas críticas de la planta y se estimulan procesos fisiológicos que incrementan la productividad y mejoran la calidad de los productos cosechados (Lovatt, 1999).

En Venezuela el arroz se cultiva en suelos inundados, bajo condiciones anaeróbicas que promueven reacciones electroquímicas tendientes a disminuir la disponibilidad de micronutrientes como zinc (Zn) y boro (B) (Savithri *et al.*, 1999; Dobermann y Fairhurst, 2000; Concepción, 2006), los cuales son requeridos para el normal crecimiento y desarrollo de las plantas (Marschner, 1995; Goldbach *et al.*, 2001; Kirby y Römheld, 2007).

Diversos estudios indican que la fertilización foliar con micronutrientes como el zinc incrementan el rendimiento y la calidad de granos de arroz (Savithri *et al.*, 1999; Khan *et al.*, 2003; Fang *et al.*, 2008), pero para el caso de boro existen pocas referencias relacionadas con su aplicación bajo esta modalidad (Dunn *et al.*, 2005; Zhang *et al.*, 2008).

En Venezuela, esta práctica la realizan muchos productores de arroz, sin embargo no se tienen reportes de investigación que soporten su efectividad. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de la aplicación foliar de Zn y B sobre el crecimiento, la fisiología de la planta, el rendimiento y la eficiencia de uso de estos micronutrientes en el cultivo de arroz en suelos inundados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se condujeron dos ensayos de fertilización foliar (uno con zinc y otro con boro) en un lote comercial de arroz sembrado el 13 de enero de 2011 con la variedad FONAIAP 1 en la finca Agromasa,

ubicada en La Vega de Ospino, municipio Ospino, del estado Portuguesa. Esta localidad se encuentra entre las coordenadas geográficas 9° 11' 54" N y 69° 25' 32" O, con una elevación de 134 m. s. n. m., registrando una temperatura media anual de 26,5 °C y precipitación pluvial promedio de 1.627,3 mm/año. En ambos ensayos se utilizó el diseño experimental de bloques completamente al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones, para un total de 20 unidades experimentales de 30 m²/parcela y una superficie total de 600 m². En un ensayo se realizó una aplicación foliar de zinc y en el otro una de boro en la fase vegetativa, durante la etapa de máximo macollamiento, a los 48 días después de la siembra (dds), utilizando una moto asperjadora de espalda marca Solo, modelo Port 423. Los tratamientos en el ensayo con zinc fueron: T0=testigo absoluto (0), T1=350, T2=700, T3=1.050 y T4=471 g ha⁻¹ y en el caso del boro: 0, 150, 225, 300 y 198 (g ha⁻¹). En los dos ensayos T4 fue un testigo comercial (TC) utilizando las dosis recomendadas por el fabricante (Cuadros 1 y 2).

De acuerdo al análisis físico-químico, los ensayos se condujeron en un suelo de textura franco arcillosa, reacción moderadamente ácida (pH=5,93), con bajo contenido de materia orgánica y nitrógeno y en general de baja a moderada fertilidad natural (Cuadro 3). La fertilización básica se realizó a los 20 días después de la siembra (dds), con una mezcla de

Cuadro 1. Productos, concentración, dosis y aporte nutricional de tratamientos foliares con zinc.

Tratamientos	Productos	Concentración (% p/v)	Dosis (l ha ⁻¹)	Aporte de Zn (g ha ⁻¹)
T0	Sin aplicación	-	-	-
T1	Agri Flowliar Zn	70,0	0,5	350
T2	Agri Flowliar Zn	70,0	1,0	700
T3	Agri Flowliar Zn	70,0	1,5	1050
T4	Ferticinc	15,7	3,0	471

Cuadro 2. Productos, concentración, dosis y aporte nutricional de tratamientos foliares con boro.

Tratamientos	Productos	Concentración (% p/v)	Dosis (l ha ⁻¹)	Aporte de B (g ha ⁻¹)
T0	Sin aplicación	-	-	-
T1	Agri Flowliar B	15,0	1,0	150
T2	Agri Flowliar B	15,0	1,5	225
T3	Agri Flowliar B	15,0	2,0	300
T4	Aicafoliar B	13,2	1,5	198

56 kg ha⁻¹ de nitrógeno (N), 20 kg ha⁻¹ de fósforo (P₂O₅) y 80 kg ha⁻¹ de potasio (K₂O), haciendo dos reabonos posteriores con 40 y 69 kg ha⁻¹ de N en forma de urea, a los 45 y 65 dds, respectivamente.

La evaluación de la altura de la planta, el número de hijos m⁻² y el verdor relativo (SPAD) se realizó antes de la diferenciación floral (60 dds). En las dos primeras variables se obtuvo el promedio de 30 plantas seleccionadas al azar en cada parcela, mientras que la tercera se obtuvo mediante el uso de un medidor de clorofila portátil Minolta 502, sobre la segunda hoja joven completamente expandida en 10 plantas tomadas al azar. El número de panículas m⁻² también corresponde al promedio de 30 plantas y se determinó a los 80 dds, el rendimiento en kg ha⁻¹ a los 128 dds, mientras que el peso en gramos de 1000 granos de arroz paddy se determinó con una balanza analítica en el laboratorio de la empresa Agri de Venezuela, C. A. La data fue analizada con el programa Statixtic, versión 8.1 y presentada mediante los resultados del análisis de varianza y pruebas de separación de medias de Tukey al 0.05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fertilización foliar con zinc

En el Cuadro 4 se observa que con las dosis de fertilización foliar con zinc de 350, 700 y 1.050 g ha⁻¹ se obtuvieron alturas de plantas estadísticamente similares entre sí y superiores a las obtenidas con el testigo sin aplicación, cuyas plantas alcanzaron una altura similar a la obtenida con el tratamiento comercial recomendado por el fabricante. La menor dosis de Zn (350 g ha⁻¹) incrementó

significativamente esta variable en 14,4% con respecto al testigo sin aplicación. Incrementos similares en la altura de las plantas de arroz también fueron documentadas por Khan *et al.* (2003) con la aspersión de una solución de ZnSO₄ al 0,2%. El zinc es un cofactor o elemento estructural de más de 300 enzimas catalíticas que participan en importantes procesos fisiológicos y metabólicos involucrados en el crecimiento de las plantas, tales como la división celular, la síntesis de azúcares, proteínas y fitohormonas como el ácido indol acético, auxina que promueve la elongación de las células (Cakmak *et al.*, 1989; Marschner, 1995; Kirby y Römheld, 2007). Una deficiencia de Zn puede producir plantas de arroz achaparradas y de entrenudos cortos que no logran

Cuadro 3. Características físico-químicas del suelo del sitio experimental donde se establecieron los ensayos de fertilización foliar con zinc y boro en la localidad de La Vega de Ospino, municipio Ospino del estado Portuguesa.

Característica	Unidad	Resultado
Textura	-	FA
pH Susp 1:2	-	5,93
CE Susp 1:2	mS/cm	0,30
Carbono orgánico	%	1,76
Nitrógeno (N) total	%	0,189
Fósforo (P)	ppm	21
Potasio (K)	ppm	80
Calcio (Ca) intercambiable	me/100 g	8,67
Magnesio (Mg) intercambiable	me/100 g	2,29
Hierro (Fe)	ppm	151
Cobre (Cu)	ppm	5,8
Zinc (Zn)	ppm	8,2
Manganeso (Mn)	ppm	88

Cuadro 4. Efecto de la fertilización foliar con zinc sobre el crecimiento, la fisiología de la planta, el rendimiento de arroz y la eficiencia de uso en la localidad de La Vega de Ospino, municipio Ospino del estado Portuguesa.

Dosis de Zn (g ha ⁻¹)	Variables						
	Altura (cm)	No. hijos m ⁻²	SPAD	No. panículas m ⁻²	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Peso 1000 granos (g)	PPF
0 (TA)	62,5 b	562 a	447 a	263 a	3.612,7 b	32,66 b	-
350	71,5 a	584 a	434 a	325 a	4.196,1 ab	32,86 ab	11,99 a
700	70,3 a	568 a	454 a	322 a	5.891,9 a	33,56 a	8,42 a
1050	70,3 a	530 a	429 a	290 a	4.162,7 ab	32,67 b	3,97 b
471 (TC)	66,2 ab	477 a	431 a	286 a	4.468,3 ab	32,26 b	9,49 a
p (<0,05)	0,0113	0,2057	0,6518	0,7525	0,0417	0,0042	0,0007
C. V. (%)	4,82	11,80	6,34	25,62	20,54	1,113	20,23

Tratamientos con distintas letras difieren significativamente (p<0,05) según la prueba de medias de Tukey. TA: Testigo absoluto. TC: Testigo comercial a la dosis recomendada por el fabricante. SPAD: Verdor relativo. PPF: Productividad parcial del factor (kg de arroz/g Zn). C. V. (%): Coeficiente de variación.

alcanzar la altura normal, afectando severamente el crecimiento (Dobermann y Fairhurst, 2000; Broadley *et al.*, 2007).

Aunque numerosos reportes revelan la influencia del zinc en la síntesis de pigmentos fotosintéticos (Marschner, 1995; Dobermann y Fairhurst, 2000; Kirby y Römheld, 2007), el macollamiento y el número de panículas en el cultivo de arroz (Savithri *et al.*, 1999; Khan *et al.*, 2003), en este estudio no se encontró respuesta positiva a la aplicación de este nutrimento con relación a los parámetros mencionados (Cuadro 4). Por el contrario, se observa que el incremento de la dosis parece mostrar cierta tendencia a reducir los valores de estos tres componentes, lo cual podría ser atribuido a un efecto fitotóxico. Muchos autores sugieren que la toxicidad por este micronutrimento afecta el crecimiento, la reproducción y puede inducir deficiencias de hierro (Fe) que inhiben la síntesis de clorofila (Borkert *et al.*, 1998; Broadley *et al.*, 2007).

Por otra parte, en el mismo cuadro se observa que aunque se obtuvieron rendimientos estadísticamente similares entre los tratamientos de fertilización foliar con zinc, sólo cuando se aplicaron 700 g ha⁻¹ de este elemento se obtuvo un rendimiento significativamente superior (63%) al del testigo sin aplicación. Estos resultados superan a los obtenidos por Khan *et al.* (2003), quienes obtuvieron un incremento significativo en el rendimiento del 40,3% con la aplicación foliar de una solución de ZnSO₄ al 0,2% con respecto al testigo sin aplicación, mientras que Molina y Cabalceta (1992) y Walker *et al.* (2007) lograron aumentos en un rango inferior comprendido entre 14,1% y 22% mediante la aspersión de quelatos de Zn (9-10%) en dosis de 0,50 a 1,12 kg ha⁻¹. Abundante evidencia experimental demuestra que la aplicación y absorción de Zn incrementa significativamente la producción de materia seca total y el rendimiento de grano en el cultivo de arroz (Shah y De Datta, 1991; Fageria, 2002), ya que este elemento actúa como catalizador de la enzima anhidrasa carbónica que está directamente involucrada en la producción de carbohidratos durante la fotosíntesis (Pearson y Rengel, 1997; Broadley *et al.*, 2007). La actividad fotosintética es un factor determinante en la acumulación de materia seca en el grano de arroz (Xie *et al.*, 2011).

El aumento del rendimiento mediante la aplicación foliar de Zn con niveles de suficiencia en el suelo (Cuadro 3), pudiera explicarse por una

disminución de la disponibilidad de este nutriente en la rizósfera, debido a que bajo condiciones de acidez e inundación el zinc precipita en forma de Zn(OH)₂, reduciendo su solubilidad en la solución del suelo y limitando en consecuencia la absorción por el cultivo (Savithri *et al.*, 1999; Dobermann y Fairhurst, 2000).

La aplicación de la mayor dosis de Zn (1.050 g ha⁻¹) exhibió contradictoriamente el menor rendimiento (Cuadro 4), lo cual pudo obedecer a un ataque de chinches (*Oebalus ypsilon griseus* De Geer) que se presentó durante el llenado de granos, afectando parcialmente uno de los cuatro bloques del ensayo, en donde se observó un incremento del coeficiente de variación obtenido en esta variable (Cuadro 4). Otra explicación a tal disminución pudiera ser la respuesta a un efecto tóxico debido al estrecho rango entre deficiencia y toxicidad que tienen los micronutrientes como el zinc (Fageria y Stone, 2008). Los resultados del presente trabajo concuerdan con los obtenidos por Yaseen *et al.* (2000), quienes disminuyeron la acumulación de biomasa aérea seca mediante la aplicación de dosis crecientes de Zn en seis de nueve cultivares de arroz y ello se atribuyó a efectos fitotóxicos causados por el incremento de la concentración de este nutriente. La toxicidad por Zn puede ocurrir en suelos ácidos y afecta la fisiología, el crecimiento y rendimiento de la planta de arroz, existiendo una gran variabilidad genética a la sensibilidad entre cultivares (Dong *et al.*, 2006; Broadley *et al.*, 2007).

Mediante la fertilización foliar con Zn en dosis de 700 g ha⁻¹ se obtuvo el mayor peso de 1000 granos de arroz paddy. Este tratamiento fue estadísticamente similar al obtenido con la menor dosis de este nutrimento y superior a la del resto de los tratamientos, incluidos los testigos absoluto (2,76%) y comercial (4,03%) (Cuadro 4). Aunque en menor proporción, estos resultados concuerdan con los obtenidos por Khan *et al.* (2003), quienes lograron un aumento significativo de esta variable en un 16,9% mediante la aspersión de una solución de ZnSO₄ al 0,2%, mejorando paralelamente en 5% el llenado de granos. El Zn participa en el metabolismo del almidón aumentando la actividad de la enzima almidón sintetasa (Brown *et al.*, 1993; Marschner, 1995; Pearson y Rengel, 1997), responsable de catalizar la biosíntesis de los almidones que se almacenan en el endosperma del grano de arroz (Fujita *et al.*, 2006). Las semillas de cereales como el arroz pueden acumular hasta un 70% de almidón en base al peso seco (Sabelli y Larkins, 2009). El peso de 1000

granos es una característica varietal muy estable con poca variabilidad, debido a que el volumen de la cáscara controla el tamaño final del grano (Yoshida, 1981), tal como lo evidencia el bajo coeficiente de variación que se presenta en el Cuadro 4.

El término productividad parcial del factor fue introducido por Cassman *et al.* (1996) para estimar inicialmente la eficiencia de uso del nitrógeno en el cultivo de arroz, definiéndolo como la relación del rendimiento de grano entre la dosis del nutriente aplicado. En el mismo Cuadro 4 se observan diferencias significativas entre tratamientos para esta variable, en donde la mayor eficiencia de uso del zinc se obtuvo cuando se aplicaron las dosis bajas de este elemento (350, 471 y 700 g ha⁻¹), las cuales produjeron en promedio 11,99, 9,49 y 8,42 kg de arroz paddy, respectivamente, por cada gramo de Zn asperjado, lo cual difiere de los resultados obtenidos por Fageria (2008) quien reporta valores superiores a 30 kg de grano/g de Zn aplicado. Tales diferencias en cuanto a producción de grano tienen un origen genético ambiental, ya que la eficiencia de uso de este elemento muestra una gran variabilidad entre cultivares de una misma especie y depende de factores edáficos (Hacisalihoglu y Kochian, 2003). Adicionalmente se observó una tendencia a la disminución de la eficiencia de uso con el aumento de la dosis de zinc, de manera similar a lo sugerido por Fageria y Baligar (2005) en diez distintas variedades de arroz.

Fertilización foliar con boro

Con la aplicación de 225 y 300 g ha⁻¹ de boro, las plantas de arroz mostraron las mayores alturas,

siendo similares a la de la dosis comercial (198 g ha⁻¹) y superiores a las que no se fertilizaron con este nutrimento (Cuadro 5). El incremento por la aplicación de ambas dosis fue de 7,9% y 7,3%, respectivamente sobre el testigo absoluto. Estos resultados coinciden con los de Rashid *et al.* (2004) y Khan *et al.*, (2006), quienes lograron incrementos en la altura de la planta entre 4,5% y 8% mediante la aplicación edáfica de este micronutriente. El boro es un componente de la pared celular que promueve la división celular y el crecimiento de las plantas de arroz (Dell y Huang, 1997; Blevins y Lukaszewski, 1998; Goldbach *et al.*, 2001).

En el mismo Cuadro se observa que con la aplicación de boro no se afectó significativamente el verdor relativo de las hojas de arroz (SPAD), en concordancia con Koohkan *et al.* (2008) al evaluar aplicaciones conjuntas de B y N. Sin embargo, en otros cultivos como remolacha y algodón se ha encontrado respuesta a la aplicación de este nutriente sobre el contenido total de clorofila en la planta (Zhao y Oosterhuis, 2000; Hussein *et al.*, 2011), mientras que en lechuga no hubo influencia de la fertilización foliar con boro sobre la síntesis de estos pigmentos, asumiéndose una respuesta diferencial entre especies (Chutichudet y Chutichudet, 2009).

La aplicación foliar de B no tuvo influencias sobre el número de hijos y panículas por metro cuadrado, aunque otros autores reportan una correlación positiva sobre el macollamiento y el desarrollo de las estructuras reproductivas del arroz mediante la fertilización edáfica con este nutriente (Rashid *et al.*, 2004; Khan *et al.*, 2006; Ahmad e Irshad, 2011).

Cuadro 5. Efecto de la fertilización foliar con boro sobre el crecimiento, la fisiología de la planta, el rendimiento de arroz y la eficiencia de uso en la localidad de La Vega de Ospino, municipio Ospino del estado Portuguesa.

Dosis de B (g ha ⁻¹)	Variables						
	Altura (cm)	No. Hijos m ⁻²	SPAD	No. panículas m ⁻²	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Peso 1000 granos (g)	PPF
0 (TA)	64,5 c	572 a	440 a	330 a	3.449,8 a	33,34 a	-
150	65,2 bc	511 a	390 a	206 a	4.329,4 a	33,84 a	28,9 a
225	69,6 a	602 a	409 a	280 a	4.607,2 a	32,52 a	20,5 ab
300	69,2 ab	630 a	416 a	297 a	4.037,7 a	33,29 a	19,2 ab
198 (TC)	67,4 abc	528 a	391 a	305 a	3.800,8 a	33,46 a	13,5 b
p (<0,05)	0,0061	0,5686	0,0997	0,3232	0,4417	0,2778	0,0126
CV (%)	2,78	19,98	6,35	29,08	22,18	2,40	24,38

Tratamientos con distintas letras difieren significativamente (p<0,05) según la prueba de medias de Tukey. TA: Testigo absoluto. TC: Testigo comercial a la dosis recomendada por el fabricante. SPAD: Verdor relativo. PPF: Productividad parcial del factor (kg de arroz/g de B). C. V. (%): Coeficiente de variación.

Los resultados de rendimiento en este estudio no arrojaron diferencias significativas entre tratamientos en correspondencia con los datos reportados por Dunn *et al.* (2005), quienes obtuvieron rendimientos similares durante dos años al comparar la fertilización foliar y edáfica con las mismas dosis de boro (280, 560, 840 y 1.120 g ha⁻¹) contra un testigo sin aplicación. Sin embargo, en un tercer año de evaluación, tanto la aplicación edáfica como la aspersión foliar incrementaron significativamente el rendimiento en 19,2% y 11,8% respectivamente. Estos autores señalan que el clima pudo haber afectado la respuesta del arroz al uso de boro. Existe profusa evidencia experimental que soporta la influencia de la fertilización con B sobre el rendimiento del arroz en suelos deficientes (Rashid *et al.*, 2000; Yu y Bell, 2002; Rashid *et al.*, 2004) y aunque en el presente trabajo no se determinó el contenido edáfico de B, algunos autores sugieren que es poco probable obtener respuesta a la aplicación de este micronutriente en suelos ácidos, de texturas medias, con contenidos de materia orgánica moderados a bajos y una adecuada suplencia de agua (Parker y Gardner, 1982; Jin *et al.*, 1988; Goldberg, 1997), condiciones de suelo y manejo muy similares a las del presente ensayo.

La fertilización foliar con boro no produjo diferencias significativas sobre el peso de 1000 granos de arroz paddy, en concordancia con los resultados reportados por Saleem *et al.* (2010) mediante la aplicación edáfica de 1 kg ha⁻¹ de B, en tanto que Khan *et al.* (2006) lograron un incremento significativo de esta variable haciendo aplicaciones similares de 1 y 2 kg ha⁻¹ de este elemento. La literatura sugiere que un adecuado contenido de boro en los tejidos favorece la síntesis de carbohidratos y el transporte de azúcares hacia los órganos de reserva como la semilla, promoviendo el llenado de granos (Dell y Huang, 1997; Shorrocks, 1997; Blevins y Lukaszewski, 1998). Por el contrario, una concentración muy alta, interfiere con el normal metabolismo, inhibiendo las actividades de biosíntesis y las relaciones energéticas de la planta, reafirmando que el B es el nutriente esencial con el rango más estrecho entre deficiencia y toxicidad (Reid *et al.*, 2004).

Con la aspersión foliar de la dosis menor de boro se obtuvo la mayor eficiencia de uso (28,9 kg/g B), la cual fue estadísticamente similar a la aplicación de 225 y 300 g ha⁻¹ de este elemento y superior a la dosis comercial recomendada de 198 g ha⁻¹ (Cuadro

5). Los valores obtenidos muestran una tendencia a disminuir esta variable con el incremento de las dosis de boro. Varios autores han reportado que la eficiencia fisiológica del uso de este nutriente por el cultivo de arroz es relativamente baja (Rashid *et al.*, 2004).

CONCLUSIONES

La fertilización foliar con 350 g ha⁻¹ de Zn incrementó significativamente la altura de la planta (14,4%) y la eficiencia de uso (11,99 kg arroz/g Zn), mientras que con 700 g ha⁻¹ se incrementó significativamente el rendimiento y el peso de 1000 granos en 63% y 2,76%, respectivamente.

La aspersión con 225 g ha⁻¹ de B incrementó significativamente la altura de la planta en 7,9% respecto del testigo absoluto, en tanto que con la aplicación de la menor dosis (150 g ha⁻¹) se obtuvo la mayor productividad parcial del factor (28,9 kg arroz/g B).

LITERATURA CITADA

- Alexander, A. and M. Schroeder. 1987. Modern trends in foliar fertilization. *Journal of Plant Nutrition* 10 (9-16): 1391-1399.
- Ahmad, R. and M. Irshad. 2011. Effect of boron application time on yield of wheat, rice and cotton crop in Pakistan. *Soil Environ.* 30 (1): 50-57.
- Blevins, D. G. and K. M. Lukaszewski. 1998. Boron in plant structure and function. *Annual Review of Plant Physiological and Molecular Biology* 49: 481-500.
- Borkert, C. M.; F. R. Cox and M. R. Tucker. 1998. Zinc and copper toxicity in peanut, soybean, rice and corn in soil mixtures. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 29 (19-20): 2991-3005.
- Broadley, M. R.; P. J. White, J. P. Hammond, I. Zelko and A. Lux. 2007. Zinc in plants. *New Phytologist* 173: 677-702.
- Brown, P. H.; I. Cakmak and Q. Zhang. 1993. Form and function of zinc in plants. *In: Robson, A. D. (ed). Zinc in Soils and Plants. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.* p: 93-106.

- 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.
- Cassman, K. G.; G. C. Gines, M. A. Dizon, M. I. Samson and J. M. Alcantara. 1996. Nitrogen-use efficiency in tropical lowland rice systems: Contributions of indigenous and applied nitrogen. *Field Crops Research* 47 (1): 1-12.
- Chutichudet, B. and P. Chutichudet. 2009. Efficacy of boron spraying on growth and some external qualities of lettuce. *Int. J. Agric. Res.* 4 (9): 257-269.
- Concepción, R. N. 2006. Sustainable fertilization management of croplands: The Philippines scenario. *In: Improving plant nutrient management for better farmer livelihoods, food security and environmental sustainability. Proceedings of a Regional Workshop, Beijing, China. Paper No. 9: 125-131. FAO Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok.*
- Dell, B. and L. Huang. 1997. Physiological response of plants to low boron. *Plant and Soil* 193: 103-120.
- Dobermann A. and T. Fairhurst. 2000. Rice. Nutrient disorders and nutrient management. Handbook series. Potash and Phosphate Institute (PPI), Potash and Phosphate Institute of Canada (PPIC) and International Rice Research Institute (IRRI). Los Baños, Laguna, Filipinas. 191 p.
- Dong, Y.; T. Ogawa, D. Lin, H. J. Koh, H. Kamiunten, M. Matsuo and S. Cheng. 2006. Molecular mapping of quantitative trait loci for zinc toxicity in rice seedling (*Oryza sativa* L.). *Field Crops Research* 95: 420-425.
- Dunn, D.; G. Stevens and A. Kendig. 2005. Boron fertilization of rice with soil and foliar applications. Online. *Crop Management* doi:10.1094/CM-2005-0210-01-RS. Disponible en: <http://www.plantmanagementnetwork.org/pub/cm/research/2005/boron/>. Visita el 16 de enero de 2012.
- Fageria, N. K. 2002. Influence of micronutrients on dry matter yield and interaction with other nutrients in annual crops. *Pesq. Agropec. Bras.* 37 (12): 1765-1772.
- Fageria, N. K. and L. F. Stone. 2008. Micronutrient deficiency problems in South America. *In: B. J. Alloway (ed.), Micronutrient Deficiencies in Global Crop Production. Springer Science+Business Media B. V. p. 245-266.*
- Fageria, N. K.; M. P. Barbosa Filho, A. Moreira and C. M. Guimarães. 2009. Foliar fertilization of crop plants. *Journal of Plant Nutrition* 32 (6): 1044-1064.
- Fageria, N. K. and V. C. Baligar. 2005. Growth components and zinc recovery efficiency of upland rice genotypes. *Pesq. Agropec. Bras.* 40 (12): 1211-1215.
- Fageria, N. K. 2008. Growth and zinc uptake and use efficiency in food crops. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 39 (15-16): 2258-2269.
- Fang, Y.; L. Wang, Z. Xin, L. Zhao, X. An and Q. Hu. 2008. Effect of foliar application of zinc, selenium, and iron fertilizers on nutrients concentration and yield of rice grain in China. *J. Agric. Food Chem.* 56 (6): 2079-2084.
- Fujita, N.; M. Yoshida, N. Asakura, T. Ohdan, A. Miyao, H. Hirochika and Y. Nakamura. 2006. Function and characterization of starch synthase I using mutants in rice. *Plant Physiol.* 140: 1070-1084.
- Goldbach, H. E.; Q. Yu, R. Wingender, M. Schulz, M. Wimmer, P. Findeklee and F. Baluška. 2001. Rapid response reactions of root to boron deprivation. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 164: 173-181.
- Goldberg, S. 1997. Reactions of boron with soils. *Plant and Soil* 193: 35-48.
- Hacisalihoglu, G. and L. V. Kochian. 2003. How do some plants tolerate low levels of soil zinc? Mechanisms of zinc efficiency in crop plants. *New Phytologist* 159: 341-350.
- Hussein, M. M.; M. M. Shaaban, A. M. El-Saady and A. A. El-Sayed. 2011. Growth and photosynthetic pigments of fodder beet plants as affected by water regime and boron foliar fertilization. *Nature and Science* 9 (1): 72-79.
- Jin, J. Y.; D. C. Martens and L. W. Zelazny. 1988. Plant availability of applied and native boron in soils with diverse properties. *Plant and Soil* 105:

- 127-132.
- Khan, M. U.; M. Qasim, M. Subhan, M. Jamil and R. D. Ahmad. 2003. Response of rice to different methods of zinc application in calcareous soil. *Pakistan Journal of Applied Sciences* 3 (7): 524-529.
- Khan, R.; A. H. Gurmani, A. R. Gurmani and M. S. Zia. 2006. Effect of boron application on rice yield under wheat rice system. *Int. J. Agri. Biol.* 8 (6): 805-808.
- Kirby, E. A. and V. Römheld. 2007. Micronutrients in plant physiology: Functions, uptake and mobility. *Proceedings* 543. The International Fertilizer Society. York, United Kingdom. p. 1-51.
- Koohkan, H.; M. Maftoun and Y. Emam. 2008. Nitrogen and boron interactional effect on growth and shoot nitrogen and boron content in rice. *J. Sci. Tech. Agric. Nat. Res.* 12 (44): 171-182.
- Lovatt, C. J. 1999. Management of foliar fertilization. *Terra* 17 (3): 257-264.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd Ed. Academic Press, New York. USA. 889 p.
- Miwa, K.; J. Tanako and T. Fujiwara. 2006. Improvement of seed yields under boron-limiting conditions through overexpression of BOR1, a boron transporter for xylem loading, in *Arabidopsis thaliana*. *The Plant Journal* 46: 1084-1091.
- Molina, E y G. Cabalceta. 1992. Fertilización foliar en arroz (*Oryza sativa* L.) en Carrillo, Guanacaste. *Agronomía Costarricense* 16 (2): 287-290.
- Parker, D. R. and E. H. Gardner. 1982. Factors affecting the mobility and plant availability of boron in some Western Oregon soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 573-578.
- Pearson, J. N. and Z. Rengel. 1997. Genotypic differences in the production and partitioning of carbohydrates between roots and shoots of wheat grown under zinc or manganese deficiency. *Annals of Botany* 80: 803-808.
- Rashid, A.; S. Muhammad and E. Rafique. 2000. Genotypic variation in rice susceptibility to boron deficiency. *International Rice Research Notes* 25 (3): 29-30.
- Rashid, A.; M. Yasin and M. Ashraf. 2004. Boron deficiency in calcareous soil reduces rice yield and impairs grain quality. *International Rice Research Notes* 29 (1): 50-60.
- Reid, R. J.; J. E. Hayes, A. Post, J. C. R. Stangoulis and R. D. Graham. 2004. A critical analysis of the causes of boron toxicity in plants. *Plant, Cell and Environment* 25: 1405-1414.
- Römheld, V. and M. El-Fouly. 1999. Foliar nutrient application: Challenges and limits in crops production. *Proceedings of the 2nd International Workshop on Foliar Fertilization*. Fertilizer Society of Thailand. Bangkok, Thailand. p. 1-34.
- Roy, R. N.; A. Finck, G. J. Blair and H. S. L. Tandon. 2006. Plant nutrition for food security. A guide for integrated nutrient management. *FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin* 16. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 249 p.
- Sabelli, P. A. and B. A. Larkins. 2009. The development of endosperm in grasses. *Plant Physiol.* 149: 14-26.
- Saleem, M.; Y. M. Khanif, C. Fauziah, A. W. Samsuri and B. Hafeez. 2010. Effectiveness of borax and colemanite as boron sources for rice grown in flooded acidic soil. *In: 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World*. Brisbane, Australia. p. 9-11.
- Savithri, P.; R. Perumal and R. Nagarajan. 1999. Soil and crop management technologies for enhancing rice production under micronutrient constraints. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 53: 83-92.
- Shah, A. L. and S. K. De Datta. 1991. Sulfur and zinc interactions in lowland rice. *Philipp. J. Crop Sci.* 26 (1): 15-18.
- Shorrocks, V. M. 1997. The occurrence and correction of boron deficiency. *Plant and Soil* 193: 121-148.
- Walker, T. W.; J. A. Bond and J. M. Satterfield. 2007. Rice grain yield and tissue response to zinc fertilizer source and rate. *ASA-CSSA-SSSA 2007 International Annual Meetings*. New Orleans, Louisiana. Abstract 296-22.

- Xie, X. J.; S. H. H. Shen, Y. X. Li, X. Y. Zhao, B. B. Li and D. F. Xu. 2011. Effect of photosynthetic characteristic and dry matter accumulation of rice under high temperature at heading stage. *Afr. J. Agric. Res.* 6 (7): 1931-1940.
- Yaseen, M.; R. H. N. Khan, M. A. Gill, A. Aziz, M. Aslam and A. R. Khan. 2000. Genetic variability among different rice cultivars for zinc uptake utilization. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 3 (7): 1174-1176.
- Yoshida, S. 1981. *Fundamentals of rice crop science*. International Rice Research Institute (IRRI). Los Baños, Philippines. 269 p.
- Yu, X. and P. F. Bell. 2002. Boron and lime effects on yield and deficiency symptoms of rice grown in greenhouse on acid Typic Glossaqualf. *Journal of Plant Nutrition* 25 (12): 2591-2602.
- Zhang, J.; M. Y. Wang, L. H. Wu, J. G. Wu and C. H. Shi. 2008. Impacts of combination of foliar iron and boron application on iron biofortification and nutritional quality of rice grain. *Journal of Plant Nutrition* 31 (9): 1599-1611.
- Zhao, D. and D. M. Oosterhuis. 2000. Effects of boron deficiency on leaf photosynthesis and nonstructural carbohydrate concentrations of cotton during early growth. *Proceedings of the 2000 Cotton Research Meeting AAES Special Report* 198.0