

Efecto de tres formas de aplicación de zinc y boro en el cultivo de maíz

Effect of three ways of applying zinc and boron in maize cultivation

Carlos Andrés López Fretes¹, Blas Adalberto Vera Rokembach¹, Alodia González^{2*}

¹UNI - FaCAF Sede Natalio – Itapúa, Paraguay

²IPTA Capitán Miranda – Itapúa, Paraguay

*Autor para correspondencia (aloalta@hotmail.com)

Recibido: 05/11/2017 Aceptado: 27 /06 /2019

RESUMEN

Los micronutrientes son elementos esenciales, la planta requiere en cantidades muy pequeñas, generalmente en miligramos. El experimento fue realizado en el distrito de Natalio, departamento de Itapúa, Paraguay, en el año 2015. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de tres formas de aplicación de Zn y B en el cultivo de maíz. El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar en arreglo factorial 2x3+1, el factor A correspondió a los dos micronutrientes (Zn y B) y el factor B correspondió a las diferentes formas de aplicación (tratamiento de semillas, acuosa y granular) y un testigo para ambos elementos que solo recibió la aplicación del fertilizante básico NPK, obteniéndose siete tratamientos y cuatro repeticiones, totalizando veintiocho unidades experimentales. Se utilizó el ácido bórico (17,5%), con dosis de 1,2 kg/ha y el sulfato de zinc (22,5%), con dosis de 2,4 kg/ha. La fertilización básica para todos los tratamientos fue 200 kg/ha de 10-20-10 de NPK y como material genético se utilizó un híbrido BRS 2020 doble precoz. Las variables evaluadas fueron: días a floración masculina y femenina, altura de planta y altura de mazorca, longitud de mazorca, diámetro del tallo y diámetro de mazorca, número de hileras de granos, número de granos por hilera, peso de mil granos y rendimiento de granos. Los resultados demostraron que la altura de planta, altura de la mazorca y el peso de mil granos respondieron a la aplicación del B y Zn. El B con aplicación en semillas y forma granular con la siembra aumentaron la altura de planta y la altura de mazorca. El mayor peso de mil granos resultó con la aplicación del Zn en forma de tratamiento de semilla. El rendimiento no tuvo respuesta a la aplicación del B y Zn en sus tres formas de aplicación.

Palabras clave: *Zea mays*, formas de aplicación, micronutrientes

ABSTRACT

Micronutrients are essential elements, which the plant requires in very small quantities, usually in milligrams. The experiment was carried out in the district of Natalio, department of Itapúa, Paraguay, in 2015. The objective of this work was to evaluate the effect of three forms of application of Zn and B in the cultivation of corn. The experimental design used was randomized complete blocks in factorial arrangement 2x3 + 1, factor A corresponded to the two micronutrients (Zn and B) and factor B corresponded to the different forms of application (seed treatment, aqueous and granular) and a control treatment for both elements that only received the application of the basic NPK fertilizer, obtaining seven treatments and four repetitions, totaling twenty-eight experimental units. Boric acid (17.5%) was used, with doses of 1.2 kg / ha and zinc sulfate (22.5%), with doses of 2.4 kg / ha. The basic fertilization for all treatments was 200 kg / ha of 10-20-10 of NPK and as a genetic material the BRS 2020 double early hybrid was used. The variables evaluated were: days until male and female flowering, plant height and ear height, ear length, stem diameter and ear diameter, number of rows of grains, number of grains per row, weight of one thousand grains and yield of grains. The results showed that plant height, ear height and the weight of a thousand grains responded to the application of B and Zn. The B with application in seeds and granular form with the sowing increased the height of plant and the height of cob. The greater weight of a thousand grains resulted with the application of Zn in the form of seed treatment. Performance did not respond to the application of B and Zn in its three forms of application.

Key words: *Zea mays*, application ways, micronutrients.

INTRODUCCIÓN

Los micronutrientes son elementos esenciales, las plantas los necesitan en pequeñas cantidades y en ellas cumplen varias funciones. En el caso del Zn, se encuentra asociado a enzimas que regulan la respiración y la síntesis de clorofila. El B se asocia al metabolismo de azúcares y a la formación del tubo polínico, el contenido de la materia orgánica del suelo es, entre otros, un factor que puede afectar la biodisponibilidad en el suelo, no solo porque es fuente importante, sino además la fracción disuelta forma complejos de quelatos con los cationes como el Zn, aumentando la biodisponibilidad de los mismos (Torri *et al.* 2014).

A pesar de que las cantidades requeridas por las plantas son muy pequeñas, en caso de deficiencia muy severa los cultivos no llegan a completar su ciclo vegetativo afectando al rendimiento generando una producción baja (Malavolta, 1958).

En el caso del maíz, como todo cultivo requiere de fertilización adecuada y oportuna para que pueda expresar todo su potencial productivo, así como de técnicas de aplicación eficientes (Dunja 2000), pero frecuentemente puede presentar deficiencias de Zn, especialmente en estadios tempranos, condiciones de baja temperatura y excesiva humedad del suelo (Torri *et al.* 2014). En tal sentido, es importante señalar que la escasa utilización de micronutrientes como el Zn y el B en el cultivo de maíz, se deben

principalmente a la poca información generada y a la dificultad de acceso a las mismas, no dimensionándose el incremento que podría darse en la producción, en respuesta a la aplicación de micronutrientes. Disponer de mayor información referente al efecto de las formas de fertilización con Zn y B, proveería herramientas para mejorar la eficiencia de la producción del maíz, logrando aumentar el rendimiento por unidad de superficie y consiguientemente las utilidades económicas.

En trabajos anteriores, Melgar *et al.* (2001) encontraron que la fertilización con boro en maíz incrementó el rendimiento de granos en forma lineal hasta la dosis de 0,5 kg de B ha⁻¹, a razón de 0,58 mg ha⁻¹, en tanto que el zinc permitió el incremento del rendimiento de granos en 0,109 miligramo de maíz por kg de Zn aplicado. Ferraris *et al.* (2010) compararon en cuatro experimentos, diferentes formas de aplicaciones de Zn al maíz: en tratamiento de semillas, por vía foliar y agregado al suelo, en tres experimentos se encontró respuesta significativa en el rendimiento. En uno se encontró en la aplicación al suelo, en otra a la forma foliar y en la tercera a ambas formas de aplicación.

Por su parte Pérez y Nieto (2012) observaron que al aplicar Zn en el cultivo de maíz, se incrementa el rendimiento de granos en un 15%. Dourado Neto *et al.* (2015) aplicaron Zn junto a otros nutrientes como tratamiento de semilla en forma sólida y líquida en el momento de la siembra de maíz, resultando que el tratamiento con aplicación líquida en semillas, promovió el aumento en la acumulación de materia seca en la parte aérea y raíces de las plantas, así como en el número de granos y en el rendimiento de granos de maíz. Esposito *et al.* (2016) encontraron una relación directa entre el contenido de Zn y el de materia orgánica del suelo, además una respuesta lineal en el rendimiento de granos al incrementar la dosis de Zn hasta 1,5 kg/ha.

Si bien la literatura es abundante en relación a la fertilización con micronutrientes, no existe información actualizada con respecto a Paraguay, por más que se trate de una práctica agrícola habitualmente realizada por productores locales. Ante esta situación, se realizó una investigación con el objetivo de evaluar el efecto de tres formas de aplicación de zinc y boro en el cultivo de maíz, adoptando como hipótesis, que la forma de aplicación de zinc y boro, independientemente de su concentración en el suelo, influyen en el rendimiento de granos del maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de investigación se llevó a cabo en el distrito de Natalio, departamento de Itapúa, Paraguay. Las coordenadas de la parcela son 26° 41' 14,16" de latitud Sur y 55° 8' 46,28" de longitud Oeste.

El clima predominante en la zona es subtropical, con temperaturas medias anuales de 21°C y con promedio de precipitaciones de 1600 mm anuales. El periodo de ejecución del experimento estuvo comprendido entre enero y julio del 2015.

El terreno cuenta con un historial agrícola de sucesiones de cultivos soja-trigo principalmente, en los últimos diez años, en sistema de siembra directa (SSD). El suelo del lugar fue clasificado como *Rhodic Paleudult*, de textura arcillosa fina de origen basáltico con 3 a 15% de pendiente, con buen drenaje y nula rocosidad (López *et al.* 1995).

El local experimental posee alto contenido de materia orgánica (MO) con 3,30%, pH_{H2O} de 5,60 y pH_{SMP} de 6,40. El nivel de Zn en el suelo es alto (4,10 mg kg⁻¹) y el contenido de B es medio (0,23 mg kg⁻¹), de acuerdo a resultados arrojados por el análisis químico de muestras suelo extraídas a 0 – 20 cm de profundidad, realizados en el laboratorio de análisis de suelos de la Fundación Universitaria Ciencias Agrarias (FUCAI). De manera a tener informaciones locales en diferentes

condiciones de fertilidad se utilizó la parcela aun con niveles alto y medio de Zn y B respectivamente.

El diseño experimental utilizado fue el de bloques completos al azar en arreglo factorial 2 x 3 +1 con cuatro repeticiones. Los factores correspondieron a dos micronutrientes (Zn y B) y tres formas de aplicación (tratamiento de semillas, acuosa y granular) se tuvo un testigo de referencia sin ninguna aplicación de micronutrientes.

Para la fertilización básica se utilizó 10-20-10 a razón de 200 kg/ha, y fue aplicado a todos los tratamientos. Las unidades experimentales estuvieron constituidas

de seis hileras de 6 m de largo, con separación entre hileras de 0,45 m y entre plantas 0,40 m, alcanzando una superficie total de 16,2 m² cada una. La densidad poblacional se constituyó en 55.555 plantas por hectárea.

El área útil fue de 9 m², descartándose las dos hileras laterales y 0,50 m en cada cabecera.

Como fuente de boro se utilizó el ácido bórico (17,5%), con dosis de 1,2 kg/ha y como fuente de zinc, el sulfato de zinc (22,5%), con dosis de 2,4 kg/ha. Las formas de aplicación y sus respectivas dosis se detallan en la tabla 1.

Tabla 1. Tratamientos del ensayo de evaluación de tres formas de aplicación de Zn y B, en cultivo de maíz. Natalio, 2015

Tratamiento (1)	Elemento	Formas de aplicación	Dosis
1	Boro	Tratamiento de semilla	62 g/kg semilla
2	Boro	Acuosa*	18,5 g/1 L agua
3	Boro	Granular	18,5 g/1,296 kg NPK
4	Zinc	Tratamiento de semilla	120 g/kg semilla
5	Zinc	Solución Acuosa	35,9 g/1 L agua
6	Zinc	Granular	35,9 g/1,296 kg NPK
7	Testigo		

1. Todos los tratamientos tuvieron una fertilización básica de 200 kg/ha de 10-20-10.

2. * Micronutrientes disueltos en agua, y aplicados en el suelo.

La aplicación de los micronutrientes en forma de tratamiento de semilla se realizó mezclando con las mismas, dentro de un frasco de plástico donde se agregaron las dosis de micronutrientes correspondientes, añadiendo una pequeña cantidad de agua hasta humedecerlos levemente para lograr una buena distribución. Posteriormente se realizó la siembra.

Para la aplicación en forma acuosa se preparó una solución de Zn y B, diluyendo las dosis de los micronutrientes en un litro de agua.

Posterior a la siembra se regaron las hileras con esta dilución.

La aplicación granular de Zn y B se realizó añadiéndolos al fertilizante básico y luego fueron aplicados conjuntamente con la siembra. El material de siembra utilizado fue el BRS 2020, híbrido doble de ciclo precoz, con granos semiduros, de color anaranjado. Este cultivar tiene una excelente adaptación y estabilidad a todas las regiones productoras de maíz en la zafra de invierno. La calidad de granos es un destaque en este

material debido a su coloración anaranjada y el desgrane fácil (EMBRAPA 2003). El stand de siembra recomendado es de 55.000 a 60.000 semillas/ha.

La siembra se realizó el 21 de enero del 2015, para ello se utilizó una sembradora manual (matraca) de doble pico, que permitió aplicar el fertilizante base en forma simultánea con la semilla.

La emergencia del 50% de las plántulas se observó entre el 1 y 9 de febrero del 2015. Cabe destacar que el retraso de la emergencia de las plántulas fue debido a la falta de humedad del suelo, ya que los días próximos a la siembra no se registraron precipitaciones.

Se realizó una desecación con glifosato 62% (2,5 L/ha), 15 días antes de la siembra; esta aplicación se realizó en la primera semana de enero de 2015 en horas de la mañana con velocidad del viento de 5 km/h aproximadamente. A los 10 días después de la aplicación, se eliminaron en forma manual y mecánica las malezas no controladas por el herbicida.

En la primera quincena de febrero se aplicaron insecticidas para el control de chinche marrón (*Euschistus heros*) y gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*); se utilizó un producto organofosforado, clorpirifos 48%, a una dosis de 1 L/ha. Quince días después, se realizó otra aplicación de insecticida de amplio espectro, que pertenece al grupo de los piretroides, lamdbacihalotrina 5% con una dosis de 250 ml/ha. A los 18 días después de la emergencia

de las plántulas, se realizó el raleo con el fin de uniformizar la población por unidad experimental, dejando una planta por hoyo.

El control de malezas se realizó mediante carpidas a los 15, 35 y 50 días después de la emergencia.

A mitad de marzo se realizó la aplicación de N en cobertura, a razón de 50 kg/ha, utilizando como fuente urea (110 kg/ha), que fue incorporado en el suelo por medio de un escardillo. Con esta operación se alcanzó 70 kg de nitrógeno por hectárea, ya que 20 kg ya se había aplicado en el momento de la siembra con la fertilización básica.

La cosecha de las mazorcas se realizó manualmente el 18 de julio de 2015, cuando las plantas estaban en el estado de punto de cosecha. Las variables fueron evaluadas hechas la metodología descritas por Machado (1995) y se presentan a continuación.

Días a floración masculina (unidad). Se registró la fecha en que el 50% de las plantas en la parcela útil emitieron polen. Los días se contaron desde la fecha de emergencia de plántulas hasta la fecha en que se registró el 50% de emisión de polen.

Días a floración femenina (unidad). Se apuntó la fecha en que el 50% de las plantas en la parcela útil emitieron estigma. Los días se contaron desde la fecha de emergencia de plántulas hasta la fecha en que se registró el 50% de emisión del estigma.

Altura de planta (cm). Cuando las plantas aún presentaban hojas verdes, cerca del inicio de madurez fisiológica, en una muestra de seis plantas de la parcela útil, fue midiéndose desde el nivel del suelo hasta el ápice de la panoja. Fue hecha con una cinta métrica.

Altura de mazorca (cm). Se utilizó la misma muestra de seis plantas de la parcela útil, mencionada para altura de plantas. Fue determinada mediante la medición desde el nivel del suelo hasta el nudo de la mazorca más alta, con de una cinta métrica.

Diámetro de tallo (cm). Se determinó en la misma muestra de seis plantas de la parcela útil, utilizada para altura de mazorca. Se midió a 10 cm del suelo, con calibre de Vernier.

Caracteres de mazorca y grano

Para la medición de caracteres de mazorca y de grano, de lo cosechado en cada parcela, se separaron cinco mazorcas representativas a fin de efectuar las correspondientes mediciones.

Longitud de mazorca (cm). El día de la cosecha, se determinó en una muestra de cinco mazorcas representativas de la parcela, midiendo desde la base hasta el ápice de la mazorca. Fue hecha con una cinta métrica.

Diámetro de mazorca (cm). Se utilizó la misma muestra de cinco mazorcas usadas para medir la longitud y en el mismo momento, se midió en la parte media de la mazorca, con calibre de Vernier.

Número de hileras de granos (unidad). Se estableció en la misma muestra de las mazorcas usadas para medir la longitud y el diámetro y en el mismo momento, se contó en la parte media de la mazorca.

Número de granos en la hilera (unidad). Se estableció en la misma muestra de mazorcas usadas para medir la longitud y el diámetro y en el mismo momento, se contó en la hilera más larga de la mazorca.

Peso de mil granos (g). De las mazorcas cosechadas y desgranadas, se pesaron 100 granos contados al azar, se multiplicó por 10, para obtener el peso de 1000 granos.

Rendimiento (kg/ha). Para el rendimiento, debido a que hubo plantas faltantes, primero se efectuó una corrección por población dentro de cada unidad experimental mediante la fórmula adaptada de LeClerg, citado por Machado et al. (2004) que se presenta a continuación:

$$P_{\text{Corregido}} = P_{\text{Parcelario}} \left[\frac{(52) - (0,3 \times M)}{(52 - M)} \right]$$

Donde, M = número de plantas faltantes; 52 = número de plantas ideales

Para calcular el rendimiento por hectárea, ajustado a una humedad de 14%, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento en kg/ha} = \left[\frac{\text{Peso parcelario en g/área útil} \times 10 \times (100 - \text{Hum. real})}{86} \right]$$

Para el análisis de varianza se utilizó la planilla electrónica, donde los datos fueron analizados como factorial modificado o con testigo de referencia. Se realizó primeramente un análisis factorial con dos factores en Bloques Completos al Azar y luego se realizó el análisis completo que incluyó al testigo, en diseño de Bloques Completos al Azar. Con cada análisis de varianza se obtuvo un coeficiente de variación, aplicando la que correspondió al análisis completo ya que este consideró los datos del testigo. Utilizando ambos análisis, se calculó las fuentes de variación tratamientos factoriales vs tratamientos factoriales y testigo, descrito por (UJCM/EPIA, citado por Ruiz e Ibarra 2015). Las variables que resultaron significativas fueron analizadas con la separación de medias (seis tratamientos), utilizando la prueba de Duncan al 5 % de probabilidad de error.

En las variables que presentaron efectos significativos en los tres factores (Factor A, factor B y la interacción Ax B) se realizó análisis de varianza factorial y la comparación de medias mediante el programa ASSISTAT versión 7.7 beta (Silva 2014), utilizando Tukey al 5% de probabilidad de error.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 2, se presenta el análisis de varianza de días de floración masculina y femenina, altura de planta, altura de la mazorca y diámetro de tallo, con tres formas de aplicación de zinc y boro en el cultivo de maíz. Los resultados indican diferencias altamente significativas entre elementos, formas de aplicación y la interacción elementos x formas para altura de planta. En la altura de mazorca se presenta diferencias significativas entre los elementos. Al observar ambas

variables de altura de planta y mazorca, teniendo como fuente de variación Testigo vs Trat. Fact. que comparó el análisis completo incluyendo al tratamiento testigo sin B y Zn, ante el análisis factorial (sin testigo) presentó resultados altamente significativos indicando diferencias entre no aplicar nada y hacer una aplicación de uno de ellos. En días a floración masculina, días a floración femenina y diámetro de tallo no se observaron diferencias significativas para ninguno de los factores estudiados.

Tabla 2. F calculada de días de floración masculina, días de floración femenina, altura de planta, altura de mazorca y diámetro de tallo de maíz, con tres formas de aplicación de Zn y B. Natalio, 2015.

Fuentes de variación	F calculada				
	Flor. Masculina (días)	Flor. Femenina (días)	Alt. Planta (cm)	Alt. Mazorca (cm)	Diam. Tallo (cm)
Elemento (E)	0,04 ns	1,55 ns	15,43 **	4,81 *	1,27 ns
Forma de aplic. (FA)	0,98 ns	0,66 ns	15,16 **	3,48 ns	1,11 ns
E x FA	0,14 ns	0,22 ns	9,13 **	1,05 ns	1,27 ns
Trat. Fact.	1,16 ns	2,43 ns	39,72 **	9,34 **	3,65 *
Testigo vs Trat.Fact.	0,61 ns	0,37 ns	81,09 **	26,95 **	3,11 ns
TodosTrat.	0,49 ns	0,50 ns	12,29 **	6,64 **	1,71 ns
Rep	0,04	0,86	2,06	0,17	3,80
Coef. Variac. (%)	1,98	2,19	2,93	7,04	4,35

ns: no significativo; * significativo al 5% de probabilidad; **significativo al 1% de probabilidad.

En las tablas 3 y 4, se muestran los valores promedios obtenidos con días a floración masculina y días a floración femenina sin diferencias significativas.

Estos resultados concuerdan con los de Vinhas et al. (2011), quienes no observaron diferencias en las mismas variables.

Tabla 3. Promedio de días a floración masculina del maíz con las diferentes formas de aplicación de Zn y B. Natalio, 2015.

Elemento	Forma de aplicación			Promedio E
	Trat. de semilla	Acuoso	Granular	
B	54,75	53,75	54,25	54,25 ns
Zn	54,50	54,00	54,50	54,33 ns
Promedio FA	54,63ns	53,88 ns	54,38 ns	
Promedio Trat Fact.				54,29
Promedio de Testigo				54,75

ns: no significativo

Los promedios para días a floración masculina variaron de 54 a 55 días, mientras

que para días a floración femenina fueron de 58 días.

Tabla 4. Promedio de días a floración femenina del maíz con las diferentes formas de aplicación de Zn y B. Natalio, 2015.

Elemento	Forma de aplicación			Promedio E
	Trat. de semilla	Acuoso	Granular	
B	58,00	57,25	57,50	57,58 ns
Zn	58,25	57,75	58,50	58,17 ns
Promedio FA	58,13ns	57,50 ns	58,00 ns	
Promedio Trat Fact.				57,88
Promedio de Testigo				58,25

ns: no significativo

En la tabla 5, se observan los promedios obtenidos con la altura de planta. Con la aplicación del B se presentó el promedio más alto, es decir la altura de la planta de maíz tuvo respuesta a la aplicación del B, debido a que interviene en la división celular y elongación de las células, y justamente su carencia puede causar entrenudos cortos. En cuanto al factor forma de aplicación de tratamiento de semilla y granular arrojaron resultados similares entre si y superiores a la forma acuosa. En la interacción de ambos factores, el B aplicado como tratamiento de semilla y granular registraron las medias más altas de altura de planta y superiores al B aplicado en forma acuosa. En cuanto al Zn, la media más alta en altura de planta se dio con la aplicación como tratamiento

de semilla y ha sido superior a las otras formas de aplicación. La altura de planta obtenida con la aplicación del B y Zn como tratamiento de semilla y en forma acuosa, resultaron con promedios similares. Con la aplicación granular el B ha registrado mayor altura de planta que el Zn y ha sido estadísticamente superior. Los resultados arrojados en esta variable, difieren de los resultados de Melgar *et al.* (2001), quienes no encontraron diferencias significativas. Concuera con los resultados obtenidos con Ferraris *et al.* (2010) quienes encontraron que los tratamientos con Zn mejoraron el crecimiento inicial de la planta, como altura de planta en la fase V4 a V8 cuando fueron aplicados como tratamiento de semilla o en el suelo entre siembra, en 5% superior al testigo.

Tabla 5. Promedio de altura de planta del maíz con las diferentes formas de aplicación de Zn y B. Natalio, 2015.

Elemento	Forma de aplicación			Promedio E
	Trat. de semilla	Acuoso	Granular	
B	199,00 aA	188,25 aB	205,00 aA	197,42 A
Zn	196,75 aA	187,50 aB	188,75 bB	191,00 B
Promedio FA	197,88 a	187,88 b	196,88 a	
Promedio Trat Fact.				194,21 a
Promedio de Testigo				174,75 b

Medias seguidas por la misma letra mayúscula en las filas (factor E) y minúsculas en las columnas (factor FA), no difieren significativamente por el Test de Tukey al 5% de probabilidad de error.

En la tabla 6 se presentan los valores promedios de la altura de mazorca. El análisis estadístico arrojó diferencias significativas en el factor elemento, con la aplicación de B. Para los demás factores no se registraron respuestas significativas.

Los resultados arrojados en el factor elemento,

difiere con la investigación de Melgar *et al.* (2001), quienes encontraron diferencias no significativas en esta variable. Por otra parte, en el factor forma de aplicación y factor elemento x forma, en las cuales no se obtuvieron respuestas significativas, coinciden ambas investigaciones.

Tabla 6. Promedio de altura de mazorca del maíz con las diferentes formas de aplicación de Zn y B. Natalio, 2015.

Elemento	Forma de aplicación			Promedio E
	Trat. de semilla	Acuoso	Granular	
B	84,05	77,30	85,48	82,28 A
Zn	81,65	74,53	76,13	77,43 B
Promedio FA	82,85ns	75,91ns	80,80ns	
Promedio Trat Fact.				79,85 a
Promedio de Testigo				64,65 b

Medias seguidas por la misma letra mayúscula en las columnas, no difieren significativamente por el Test de Tukey al 5% de probabilidad. ns: no significativo

En la tabla 7, se registran los valores promedios obtenidos en diámetro del tallo. Se demuestran que no se presentaron diferencias

significativas con ninguno de los tratamientos en los diferentes factores. El promedio fue de 2,8 cm.

Tabla 7. Promedio de diámetro del tallo del maíz con las diferentes formas de aplicación de Zn y B. Natalio, 2015.

Elemento	Forma de aplicación			Promedio E
	Trat. de semilla	Acuoso	Granular	
B	2,75	2,70	2,78	2,74 ns
Zn	2,90	2,78	2,73	2,80 ns
Promedio FA	2,83 ns	2,74 ns	2,75 ns	
Promedio Trat Fact.				2,77
Promedio de Testigo				2,75

ns: no significativo

A continuación, se presentan las variables evaluadas durante la etapa reproductiva del cultivo. En la Tabla 8 se muestran los resultados de las Fc de longitud de mazorca, número de hileras de granos, número

de granos en la hilera y diámetro de mazorca, que no presentaron diferencias significativas. Estos resultados coinciden por lo encontrado por Dourado Neto *et al.* (2015).

Tabla 8. F calculada de longitud de mazorca, número de hileras de granos, número de granos en la hilera y diámetro de mazorca del maíz, con tres formas de aplicación de Zn y B. Natalio, 2015.

Fuentes de variación	F calculada				
	Flor. Masculina (días)	Flor. Femenina (días)	Alt. Planta (cm)	Alt. Mazorca (cm)	Diam. Tallo (cm)
Elemento (E)	2,63 ns	0,45 ns	0,01 ns	0,13 ns	1,27 ns
Forma de aplic (FA)	0,70 ns	3,52 ns	0,15 ns	0,10 ns	1,11 ns
E x FA	2,17 ns	0,11 ns	0,78 ns	0,89 ns	1,27 ns
Trat. Fact.	5,49 ns	4,09 ns	0,94 ns	1,11 ns	3,65 *
Testigo vs Trat. Fact.	0,47 ns	0,06 ns	0,47 ns	0,34 ns	3,11 ns
Todos Trat.	1,26 ns	1,30 ns	0,40 ns	0,38 ns	1,71 ns
Rep	0,32	3,13	0,15	0,39	3,80
Coef.	1,98	2,19	2,93	7,04	4,35
Variac. (%)	5,93	4,15	12,67	3,97	

ns: no significativo

En los valores de longitud de mazorca (tabla 9), no se encontraron diferencias significativas indicando que la aplicación de B y Zn no tuvo efecto sobre el crecimiento longitudinal de la mazorca. Echeverría *et al.* (2014) mencionan que la tasa de adsorción del B

y Zn es baja al principio y luego aumenta a partir de V_{7-8} manteniéndose constante hasta la madurez del cultivo, excepto el B que desciende entre R_1 y R_2 . En la tabla 10 se presentan los valores promedios de número de hileras de granos de maíz.

Tabla 9. Promedio de longitud de mazorca del maíz con las diferentes formas de aplicación de Zn y B. Natalio, 2015.

Elemento	Forma de aplicación			Promedio E
	Trat. de semilla	Acuoso	Granular	
B	14,90	15,75	14,75	15,13 ns
Zn	16,23	15,35	15,50	15,69 ns
Promedio FA	15,56ns	15,55ns	15,13 ns	
Promedio Trat Fact.				15,41
Promedio de Testigo				15,00

ns: no significativo

Tabla 10. Promedio de número de hileras de granos del maíz con las diferentes formas de aplicación de Zn y B. Natalio, 2015.

Elemento	Forma de aplicación			Promedio E
	Trat. de semilla	Acuoso	Granular	
B	14,25	14,75	15,00	14,67 ns
Zn	14,00	14,75	14,75	14,50 ns
Promedio FA	14,13 ns	14,75 ns	14,88 ns	
Promedio Trat Fact.				14,58
Promedio de Testigo				14,50

ns: no significativo

El número de hileras de granos tabla 10 y (2008) encontró resultados que coinciden con el número de granos por hilera (tabla 11), no este experimento en lo que se refiere a número registraron diferencias significativas. Costa de hileras de grano.

Tabla 11. Promedio de número de granos en hilera del maíz con las diferentes formas de aplicación de Zn y B. Natalio, 2015.

Elemento	Forma de aplicación			Promedio E
	Trat. de semilla	Acuoso	Granular	
B	31,25	32,50	31,25	31,67ns
Zn	32,75	29,75	33,00	31,83ns
Promedio FA	32,00ns	31,13ns	32,13ns	
Promedio Trat Fact.				31,75
Promedio de Testigo				30,25

ns: no significativo

El diámetro de mazorca (tabla 12), no obtuvo diferencias significativas en ninguno de los tratamientos, que coinciden con Melgar *et al.* (2001) y Vinhas *et al.* (2011).

Tabla 12. Promedio de diámetro de mazorca del maíz con las diferentes formas de aplicación de Zn y B. Natalio, 2015.

Elemento	Forma de aplicación			Promedio E
	Trat. de semilla	Acuoso	Granular	
B	4,50	4,55	4,43	4,49ns
Zn	4,50	4,40	4,50	4,47ns
Promedio FA	4,50ns	4,48ns	4,46ns	
Promedio Trat Fact.				4,48
Promedio de Testigo				4,50

ns: no significativo

En la tabla 13 se observa el peso de mil granos que presentó estadísticamente diferencias significativas en la interacción elemento x forma, obteniendo el mayor incremento la interacción del Zn aplicado en forma de tratamiento de semilla que difirió estadísticamente con la aplicación en forma acuoso y fue igual al granular; el B resultó estadísticamente similar en las tres formas (tratamiento de semilla,

acuoso y granular). El Zn fue superior al B en la aplicación de tratamiento de semilla. El peso de mil granos en función a la interacción entre el Zn y B y las tres formas aplicadas al cultivo de maíz, coincide con Sousa Costa (2008), Vinhas *et al.* (2011), Pérez y Nieto (2012) y Melgar *et al.* (2001), quienes no encontraron diferencias significativas en esta variable.

Tabla 13. Promedio de peso de mil granos del maíz con las diferentes formas de aplicación de Zn y B. Natalio, 2015.

Elemento	Forma de aplicación			Promedio E
	Trat. de semilla	Acuoso	Granular	
B	307,50 bA	312,50 aA	317,50 aA	312,50
Zn	332,50 aA	292,50 aB	302,50 aAB	309,17
Promedio FA	320,00	302,50	310,00	
Promedio Trat Fact.				310,83
Promedio de Testigo				309,29

Medias seguidas por la misma letra mayúscula en las filas (factor E) y minúsculas en las columnas (factor FA), no difieren entre sí por el Test de Tukey al 5% de probabilidad de error.

En la tabla 14 se puede ver los resultados de rendimiento, que no presentó diferencias significativas en ninguno de los factores. Estos resultados no concuerdan con lo observado por Pérez y Nieto (2012), Melgar *et al.* (2001), Michiels (2014) y Barbieri *et al.* (2014) que encontraron diferencias significativas para esta variable, que se realizaron en suelos con bajos niveles de zinc y boro a diferencia de este experimento donde los niveles estaban alto para Zn y medio para B. Esto explicaría la falta de respuestas en el rendimiento al uso de los dos micronutrientes

evaluados, aplicados en las tres formas; además es importante señalar que la alta concentración de MO del suelo permitió la provisión de manera constante de ambos micronutrientes haciendo que sea suficiente su disponibilidad, concordando con lo mencionado por Esposito *et al.* (2016).

También difiere con los encontrado por Ferraris *et al.* (2010) que demostraron que, con el Zn, en diversas combinaciones de formas-dosis-momentos de aplicación, permitió incrementar significativamente los rendimientos de maíz.

Tabla 14. Promedio de rendimiento del maíz con las diferentes formas de aplicación de Zn y B. Natalio, 2015.

Elemento	Forma de aplicación			Promedio E
	Trat. de semilla	Acuoso	Granular	
B	6604	6658	6471	6578ns
Zn	6750	5813	6665	6409ns
Promedio FA	6677ns	6236ns	6568ns	
Promedio Trat Fact.				6493,38
Promedio de Testigo				6447,47

ns: no significativo

CONCLUSIÓN

La aplicación de boro y zinc en sus tres formas de aplicación en el cultivo de maíz presentaron efecto sobre la altura de planta, altura de mazorca y peso de 1000 granos.

El uso del boro aplicado como tratamiento de semilla y granular produjeron aumentos significativos en la altura de planta de maíz.

La aplicación de boro favoreció la altura de mazorca del maíz.

El Zn aplicado en forma de tratamiento de semilla y del boro aplicado en las tres formas (tratamiento de semilla, acuoso y granular) presentaron interacción significativa en el peso de mil granos.

Los parámetros de días a floración masculina, días a floración femenina, diámetro de tallo, longitud

de mazorca, número de hileras de granos, número de granos en hilera, diámetro de mazorca y el rendimiento no fueron afectados con la aplicación de los micronutrientes B y Zn.

Teniendo como hipótesis de que la forma de aplicación de los micronutrientes, independientemente de su concentración en el suelo, influye en el rendimiento del maíz, los resultados presentados no indican tal afirmación.

REFERENCIAS BIBLIORÁFICAS

Barbieri, PA; Sainz S, HR; Echeverría, HE; Salvagiotti, F; Barbagelata, P; Barraco, M; Colaso, JC; Ferraris, G; Sanchez, HS; Cáceres D, RH; Reussi C, NL; Esposito, G; Eyherabide, M y Larsen, B. 2014. Determinación de la respuesta del cultivo de maíz a la fertilización con Zn en la

- región pampeana y extrapampeana, y desarrollar un método de diagnóstico de la disponibilidad de Zn para el cultivo. *Rev. Iformacs. Agronómico del Cono Sur. M /19/:* 18-21.
- Díaz., D. 2014. Funciones del boro en los cultivos. (en línea). Consultado el 3 de abr. 2015. Disponible en <http://www.engormix.com/MA-agricultura/cultivos-tropicales/foros/funciones-boro-cultivos-t28866/078-p0.htm>.
- Dourado Neto, D; Martin, TN; Pavinato, PS; Nunes, UR; Escobar, O; Fipke, GM. 2015. El tratamiento de semillas de maíz con micronutrientes aumenta el rendimiento de grano. *Revista caatinga*, 28(3), 86-92. (en línea). Consultado el 10 de julio de 2019. Disponible en <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-1252015000300086&lng=en&nrm=iso>
- Dunja, MB. 2000. Fertilización del cultivo de maíz (en línea). Fonaiap divulga no. 65. (en línea) Consultado 28 ene 2015. Disponible en http://www.sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/FonaiapDivulga/fd65/texto/maiz.htm.
- Echeverría, H; García, F. 1998. Guía para la fertilización de trigo, maíz, girasol y soja. EEA INTA Balcarce. Centro Regional Buenos Aires Sur. (Boletín técnico N0 149).
- Echeverría, H; Sainz Rozas, H; Barbieri, PA. 2014. Maíz y sorgo. In: Fertilidad de suelo y fertilización de cultivos/ editores: Hernán E. Echeverría, Fernando O. García. 2ª. Ed.. buenos aires: ediciones INTA. P.435-473.
- Espósito, G; Balboa, G; Castillo, C; Balboa, R. 2016. Disponibilidad de Zinc y Respuesta a la Fertilización del Maíz en el Sur de Córdoba. (en línea). Consultado el 10 de julio de 2019. Disponible en <http://www.fertilizando.com/articulos/Disponibilidad-Zinc-Maiz-Sur-Cordoba.asp>
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). 2003. Semilla de maíz, variedad BRS 2020. (en línea). Consultado el 15 abr. 2016. Disponible en <http://www.dicionarioinformal.com.br/significado/embrapa/1864/>.
- Ferraris, GN; Couretot, LA; Ventimiglia LA; Mousegne, F. 2010. Respuesta al zinc en maíz utilizando diferentes tecnologías de aplicación en la región Centro Norte de Buenos Aires. In IX Congreso Nacional de Maíz. Mesa de Fertilidad y Nutrición del cultivo. AIANBA. Rosario.
- López G, O; González E, E; Molinas M, A; García S, S; Ríos A, E. 1995. Mapa de clasificación de suelos de la región oriental. Asunción. Williams & Heintz Map Corporation en Washington, D.C. Esc.1: 500.000.Color.
- Machado, V. 1995. Manual de manejo de ensayos de maíz, sorgo y girasol. Capitán Miranda.
- MAG/SSJA/DIA/CRIA/PIUSG. P. 17-26. (Manual técnico N° 7).
- Machado, V; Noldin, O; Florentín, M. 2004. Evaluación de accesiones de la raza de maíz harinoso Avati Moroti. In MAG/SSEA/DIA/ Centro Regional de Investigación Agrícola. Memorias. Jornadas Técnicas, Cincuentenario del CRIA, 30 nov-1 de dic 2004. Capitán Miranda, Paraguay. p. 109-116. p.111. Fuente original: LeClerg, E.L. 1996. Significance of experimental desing in plant breeding. In K. J. Frey (ed) Plant Breeding: A symposium held at Iowa State University. The ISU Press, Ames. p. 243-313.
- Malavolta, E.O. 1958. O problema dos micronutrientes. *Revista Brasileira de Fertilizantes, Inseticidas e Rações*. San Paulo. v 1, n.4, p.5-8
- Melgar, RJ; Lavandera, J; Torres Duggan, M; Ventimiglia, L. 2001. Respuesta a la fertilización con boro y zinc en sistemas intensivos de producción de maíz. *Ciencia del suelo* 19 (2): 109-114.
- Michiels, CL. 2014. Evaluación la respuesta de MTa a la fertilización con Zn en una red de evaluación durante dos campañas. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*. *Rev. Iformacs. Agr. del Cono Sur. M /20/:* 19-23.
- Pérez, G; Nieto, A. 2012. Diferentes formas de aplicación de Zinc en el cultivo de Maíz (en línea). *Nutrición vegetal*. Consultado el 15 abr. 2015. Disponible en <http://www.ruralprimicias.com.ar/noticia-diferentes-formas-de-aplicacion-de-zinc-en-el-cultivo-de-maiz-14942.php>.
- Rajj, BV. 2011. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. *International Plant Nutrition Institute-Brasil*. p 276-279.
- Ruiz Díaz P, HR; Ibarra B, LS. 2015. Evaluación de generaciones avanzadas de híbridos de maíz (*Zea mays* L.). Tesis Ing. Agrop. Natalio, PY. Universidad Nacional de Itapúa. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. 54 p. p. 23. Fuente original: UJCM/EPIA (Universidad José Carlos Mariátegui/ Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica). 2009. Experimentación Agrícola. Moquegua, Perú. 115 p.

- Silva, FdeASe. 2014. Assistat versão 7.7 beta. Departamento de engenharia agrícola, Centro de Tecnologia y Recursos Naturales, Universidade Federal de Campino Grande, Paraíba, BR.
- Sousa Costa, R. 2008. Aplicação de quelatos de zinco em um solo eficiente cultivado com milho em casa de vegetação. Tese Mestre. Joticabal, SP, BR. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências Agrarias e Veterinarias 44 p.
- Torri, SI; Urricariet, S; Lavado, RS. 2014. Micronutrientes y elementos traza. In Echeverria, HE; Garcia, FO. eds. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. 2ª. Ed. Buenos Aires: ediciones INTA. p. 357 – 376.
- Vinhas, AAL; Lima, CP; Chris, EA; Oliveira, BP; Lima, RP; Nouti, AM. 2011. Rendimento Do Milho Safrinha Com A Aplicação De Zinco Via Foliar, Ourinhos BR. Centro Estatal de Educação Tecnológica Paula Souza – Faculdade de Tecnologia de Ourinhos – FATEC. (En linea). Consultado el 25 mayo de 2016. Disponible en http://fio.edu.br/cic/anais/2012_xi_cic/PDF/Agr/04.pdf.