



Artículo de Investigación / *Research Article*

Disponibilidad de Boro en Suelos del Sureste de la Región Oriental del Paraguay.

Boron Availability in Soils of the Southeast of the Eastern Region of Paraguay.

Jimmy Walter Rasche-Alvarez¹

<https://orcid.org/0000-0002-2517-6868>

¹Universidad Nacional de Asunción. Facultad de Ciencias Agraria. San Lorenzo, Central, Paraguay.

jwrasche@agr.una.py

Mirelly Paola Rolón-Galeano¹

<https://orcid.org/0000-0002-9380-3624>

paorolon2@gmail.com

Diego Augusto Fatecha-Fois¹

<https://orcid.org/0000-0002-0672-745X>

dfatecha@agr.una.py

Camila Erna Aurora Ortiz-Grabski¹

<https://orcid.org/0000-0001-8903-9064>

camilaeaog@gmail.com

Carlos Andrés Leguizamón-Rojas¹

<https://orcid.org/0000-0003-1326-1309>

carlos.leguizamon@agr.una.py

Gustavo Adolfo Rolón-Paredes¹

<https://orcid.org/0000-0002-4156-6567>

gustavorolon@agr.una.py

INFORMACION SOBRE ARTICULO

Palabras Clave:

Micronutriente
Niveles
Oligoelemento
Cultivo

Keywords:

Micronutrient
Level
Trace elements
Crop

Historial del Artículo

Fecha de Recepción: 02/01/2025

Fecha de Aprobación: 10/06/2025

Fecha de Publicación: 02/07/2025

Área del conocimiento: Ciencias Agrícolas.

RESUMEN

El boro (B) es un micronutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas. En Paraguay existen pocos estudios relacionados a este nutriente en el suelo, por lo que resulta importante conocer su disponibilidad y distribución. Con el objetivo de evaluar y clasificar la disponibilidad de B en suelos de los departamentos de Alto Paraná, Caaguazú, Canindeyú e Itapúa a nivel de distrito fue generada una base de datos con los resultados de análisis de suelo de los laboratorios de la FCA-UNA y FUCAI-UCA. Se clasificó la concentración de B disponible de los suelos en nivel alto (>0,6 mg kg⁻¹); medio (0,6 - 0,2 mg kg⁻¹) y bajo (<0,2 mg kg⁻¹), generándose un mapa de disponibilidad de B a nivel distrital. Considerando la media de los niveles de B a nivel de distrito, de los 87 distritos que conforman los cuatro departamentos, en el 83% (72 distritos) presentaron nivel medio, 7% nivel bajo (6 distritos) y 10 distritos no poseen datos. De las 7.890 muestras, el 7% presentaron nivel alto de B, el 74% presentaron nivel medio de B, y el 19% presentaron nivel bajo de B. La media general considerando las 7.890 muestras de suelo fue de 0,30 mg kg⁻¹ de B, por lo tanto, en 93% de los suelos analizados presentan niveles de B inferiores al nivel crítico (0,60 mg kg⁻¹), para las actividades agrícolas, de forrajes y forestales de producción.

ABSTRACT

Boron (B) is an essential micronutrient for plant growth and development. Few studies have been conducted in Paraguay on this nutrient in soils, so understanding its availability and distribution is important. To evaluate and classify B availability in soils in the departments of Alto Paraná, Caaguazú, Canindeyú, and Itapúa at the district level, a database was created with the results of soil analyses from the FCA-UNA and FUCAI-UCA laboratories. Available B concentrations in soils were classified as high (>0.6 mg kg⁻¹); medium (0.6-0.2 mg kg⁻¹), and low (<0.2 mg kg⁻¹), generating a B availability map at the district level. Considering the average B levels at the district level, of the 87 districts that make up the four departments, 83% (72 districts) had a medium level, 7% (6 districts) had a low level, and 10 districts had no data. Of the 7,890 samples, 7% had a high level of B, 74% had a medium level of B, and 19% had a low level of B. The overall average considering the 7,890 soil samples was 0.30 mg kg⁻¹ of B; therefore, 93% of the soils analyzed had B levels below the critical level (0.60 mg kg⁻¹) for agricultural, fodder, and forestry production activities.

Autor de correspondencia

Email: jwrasche@agr.una.py (Jimmy Walter Rasche Alvarez)

<https://doi.org/10.70833/rseisa19item658>

Conflictos de Interés: Los autores declaran no tener conflicto de interés de ningún tipo.

Este es un artículo de acceso abierto bajo una licencia Creative Commons CC-BY. Licencia <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Citación recomendada: Rasche-Alvarez, J. W., Rolón-Galeano, M. P., Fatecha-Fois, D. A., Ortiz-Grabski, C. E. A., Leguizamón-Rojas, C. A., Rolón-Paredes, G. A., (2025). Disponibilidad De Boro En Suelos Del Sureste De La Región Oriental Del Paraguay. Revista sobre estudios e investigaciones del saber académico (Encarnación), 19(19): e2025007

Introducción

El B, al igual que los demás micronutrientes, aunque es absorbido en pequeñas cantidades por las plantas, es indispensable para las mismas y es así que su deficiencia, nivel óptimo o su exceso, se encuentran determinados por un margen muy estrecho (Álvarez y Rimski-Korsakov 2015, Arunkumar et al. 2018). En la litósfera el contenido de B es muy variable, y se encuentra en cantidades que oscilan de 2 a 200 mg kg⁻¹ (Navarro y Navarro 2013, Padbhushan y Kumar 2017).

Tanto el sistema de manejo como la intensidad de uso de los suelos y la cantidad de micronutrientes extraídos por los cultivos, generan una variación en la disponibilidad y distribución de B (Casanova y Lobo 2007). Miretti et al. (2012) observaron que el contenido de B en el suelo fue variable para distintos usos, sobre todo en sistemas de agricultura y ganadería intensivos, por lo que recomiendan que su concentración en el suelo sea monitoreada rutinariamente.

El B es considerado un elemento móvil en el suelo y disminuye su disponibilidad a medida que aumenta el pH del suelo, principalmente a pH superior a 6,5. En suelos ácidos e interperizados, con pH inferior a 5,5, el B puede quedar retenido en la fracción orgánica del suelo o ser adsorbido por los minerales, principalmente en las superficies de los sesquióxidos de hierro y aluminio (Soares et al. 2008, Raji 2011, Arunkumar et al. 2018, Rios 2020). En suelos áridos con material de origen rico en B los niveles de dicho nutriente pueden llegar a niveles tóxicos para las plantas (Álvarez y Rimski-Korsakov 2015).

El B es absorbido por las plantas por vía radicular o foliar, principalmente como ácido bórico (H₃BO₃) (Navarro y Navarro 2013). Es un nutriente poco móvil en la planta y posee un rol importante dentro de la fisiología vegetal, ya que forman parte de procesos de la división y elongación celular, fijación de nitrógeno y asimilación de nitrato, disminución del estrés oxidativo y de varios metabolismos secundarios que

actúa en la formación de tubo polínico y de la fructificación, entre otras funciones (Dechen y Nachtigall 2007, Camacho-Cristobal et al. 2008, Barbieri et al. 2015, López et al. 2019). La falta de B causa aborto de flores y acortamiento de entrenudos, clorosis, encrespamiento de la hoja, desórdenes de crecimiento y muerte del meristema apical con surgimiento de múltiples meristemas axilares o brotes excesivos de meristemas (Jones 1991, Moreno 2007, Camacho-Cristobal et al. 2008, Toledo 2016). El contenido de B en la planta puede variar de 7 a 150 mg kg⁻¹ de materia seca (MS) (Souza et al. 2007, Torres et al. 2018). Los cultivos como el girasol, el algodón o las leguminosas como la soja y la alfalfa requieren de concentraciones de B en el tejido vegetal de entre 20-55 mg kg⁻¹ de MS, es decir, superior a las monocotiledóneas, como el maíz o el trigo que requieren de 5 a 25 mg kg⁻¹ (Montoya et al. 2003, Torri et al. 2005, Rosolem 2007, Rosolem et al. 2008). Actualmente aunque existan algunos experimentos en el Paraguay relacionados a la respuesta de cultivos a la aplicación de B, tanto en macetas en ambientes controlados (González et al. 2019, Aguilar 2020, Roa 2020, Rodríguez 2021, Pereira 2021, Romero 2022), a campo en cultivos extensivos (Raimundi et al. 2013, Aguayo et al. 2015, González et al. 2017, López et al. 2019) y a campo en cultivos intensivos (Armadans et al. 2020, Armadans et al. 2022a, Armadans et al. 2022b), aún resulta insuficiente o escasa la información generada sobre los niveles de B en el suelo en el país, así como la respuesta de los cultivos a su aplicación.

El objetivo de esta investigación fue evaluar y clasificar la disponibilidad de B en suelos a nivel de distrito en los departamentos de Alto Paraná, Caaguazú, Canindeyú e Itapúa.

Materiales y Métodos

El área de estudio abarca los departamentos de Alto Paraná con 14.895 km², Caaguazú con 11.474 km², Canindeyú con 14.667 km² e Itapúa con 16.525 km²,

situados en el sur-este de la región Oriental del Paraguay, con una superficie total de 57.561 km², lo que constituye el 14,15% de la superficie total del país. El material de origen de los suelos del área del experimento es mayormente de origen ígneo, correspondiente a la formación Alto Paraná ocupando el 45,3 % de la superficie total (Tabla 1), cuyas rocas son duras, con antigüedad de 141 millones de años (m.a.) y se encuentra en los cuatro departamentos, ubicados principalmente al este del área de estudio bordeando el río Paraná. El área restante de la investigación se encuentra principalmente sobre roca sedimentaria, de tipo arenisca, en el cual resalta la formación Misiones (35,6 % del área de estudio), perteneciente al periodo triásico, con 195 m.a, seguido de la formación Tacuary (8,0 %) que no se encuentra en el Alto Paraná, y que se caracteriza por ser una roca más gruesa del tipo arenisca y margas, perteneciente al periodo Pérmico superior 225 m.a, ocupando grandes superficies principalmente al oeste de Caaguazú y Canindeyú.

Finalmente en parte de Caaguazú y de Itapúa se observan un recubrimiento por sedimentos del grupo cuaternario de 2.0 m.a, formada por sedimentos aluviales (6,9 %). También se evidencian en menor escala otras formaciones como las de Coronel Oviedo perteneciente al periodo carbonífero 325 m.a, Cariy 430 m.a, Vargas Peña 410 m.a y Eusebio Ayala 395 m.a donde las rocas son del tipo arenisca, arcillita y lutita, respectivamente, y la formación Sapucaí 140 m.a con una roca del tipo alcalino (Proyecto PAR 83/005. 1986, González et al., 1998).

Tabla 1.
Distribución de la superficie de las formaciones geológicas a nivel de departamento y el total del área en estudio.

Formación	Alto Paraná	Caaguazú	Canindeyú	Itapúa	TOTAL
	Superficie km ² (%)				
Alto Paraná	10.417,2 (69,9 ^a)	2,1 (0,02)	6050,8 (41,3)	9.596,1 (58,1)	26.066 (45,3)
Misiones	4.035,9 (27,1)	7.667,1 (66,8)	5525,9 (37,7)	3.238,9 (19,6)	20.468 (35,6)
Acaray	441,8 (3,0)	108,3 (9,4)	506,4 (3,5)	-----	1.057 (1,8)
Tacuari	-----	1.905,5 (16,6)	2.584,0 (17,6)	00,8 (0,6)	4.590 (8,0)
Cuaternario	-----	1.082,8 (9,4)	-----	2891,9 (17,5)	3.975 (6,9)
Cnel Oviedo	-----	714,2 (6,2)	-----	78,4 (3,5)	1.293 (2,2)
Otros	-----	102,3 (0,9)	-----	-----	102 (0,2)

Fuente: Adaptado de Ojeda (2008), Portillo (2008), Martínez (2008), Rojas (2008). 1 En la columna, el porcentaje que ocupa cada formación en cada uno de los departamentos en estudio y la representación porcentual del total del área de estudio.

Los órdenes de suelo reconocidos en esta región son en extensión el Ultisol (3.029.731 ha), Alfisol (1.159.985 ha), Oxisol (927.529 ha), Entisol (405.874 ha) (Tabla 2) (López & Lesme 2024). Los ultisoles y oxisoles se ubican principalmente sobre material de origen ígneo y los alfisoles mayoritariamente sobre material de origen sedimentario.

Tabla 2.
Distribución de las clases taxonómicas de los suelos a nivel de Orden. Superficie y porcentaje de cada superficie a nivel de departamento y el total del área en estudio. 2017.

Orden de Suelo	Alto Paraná	Caaguazú	Canindeyú	Itapúa	TOTAL
	Superficie km ² (%)				
Ultisol	6.559,8 (45,5 ^a)	4.666,2 (40,7)	7.087,4 (48,3)	11.983,9 (72,5)	30.297,3 (53,3)
Alfisol	3.075,2 (21,3)	4.877,1 (42,5)	3.027,8 (20,6)	619,7 (3,8)	11.599,8 (20,4)
Oxisol	3.415,5 (23,3)	1.458,5 (12,7)	3.366,9 (23,0)	1.034,5 (6,3)	9.275,3 (16,3)
Entisol	478,7 (3,3)	136,6 (1,2)	855,7 (5,8)	2.587,8 (15,7)	4.058,7 (7,1)
Tierras M	887,2 (6,2)	335,5 (2,9)	212,3 (1,4)	34,7 (0,2)	1.469,8 (2,6)
Inseptisol	-----	-----	-----	264,4 (1,6)	264,4 (0,5)
Mollisol	-----	-----	116,9 (0,8)	-----	116,9 (0,2)

Fuente: Adaptado de Ojeda (2008), Portillo (2008), Martínez (2008), Rojas (2008). 1 En la columna, corresponde al porcentaje que ocupa cada Orden de suelo en cada uno de los departamentos en estudio y la representación porcentual del total del área de estudio

La base de datos fue generada a partir de la recolección de resultados de análisis de suelos comprendidos entre los años 2006 y 2017. Fueron registrados 7.890 resultados de análisis de suelo para B, de los cuales 1.156 son de Alto Paraná, 1.035 de Caaguazú, 1.292 de Canindeyú y 4.407 de Itapúa. Los resultados de los análisis de suelo provinieron de los archivos de la base de datos de los laboratorios de la Fundación

Universitaria Ciencias Agrarias Itapúa (FUCAI) situada en el distrito de Hohenau, departamento Itapúa y de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción (FCA-UNA) ubicada en el distrito de San Lorenzo, departamento Central. Estos laboratorios realizan extracción de B disponible por el método de agua caliente (Tedesco et al. 1995).

Fue clasificado el contenido de B disponible de los suelos en nivel alto ($>0,6 \text{ mg kg}^{-1}$); medio ($0,6 - 0,2 \text{ mg kg}^{-1}$) y bajo ($<0,2 \text{ mg kg}^{-1}$), respectivamente, establecidos por Raij (2011).

Para la elaboración del mapa de B en los cuatro departamentos en estudio la región Oriental fue utilizada como unidad cartográfica el mapa con la división política a nivel distrital, provista por la Dirección General de Encuestas Estadísticas y Censos de la Secretaria Técnica de Planificación (DGEEC-STP, 2018).

Fue empleado el SIG del Área de Suelos y Ordenamiento Territorial de la FCA-UNA, con la utilización del software QGIS versión 3.10.12-A Coruña, en el cual fueron introducidos los resultados de la clasificación de los niveles de B con la generación de los mapas correspondientes. Los datos fueron sometidos a análisis estadístico descriptivo con la ayuda del programa Agrostat.

Resultados

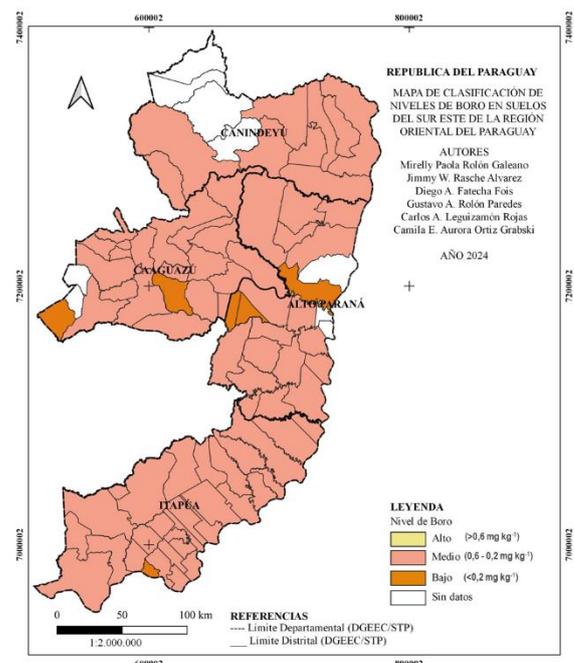
De los 87 distritos que componen los cuatro departamentos analizados, ningún distrito presentó nivel alto de B, 72 municipios (83%) del total fueron clasificados con nivel medio de B disponible en el suelo, y 6 distritos (7%) fueron clasificados con nivel bajo de B, entre ellos al de Juan Manuel Frutos y San José de los Arroyos (Caaguazú), San Juan del Paraná (Itapúa) y Dr. Juan León Mallorquín, Hernandarias y Juan E. O'leary (Alto Paraná) (Figura 1), donde a excepción de Hernandarias que presenta predominantemente suelo arcilloso de origen

basáltico, todos los demás distritos que presentaron nivel “bajo” de B son de origen arenisca.

De los 87 distritos analizados, 10 no fueron clasificados debido a la falta de datos (11% del total). Estos distritos corresponden al departamento de Alto Paraná (Ciudad del Este, Presidente Franco y Santa Fé del Paraná), Caaguazú (La Pastora y Nueva Londres), y Canindeyú (Itaraná, Villa Igatimi, Ypejhú e Yvy Pyta). La ausencia de análisis de suelos en dichos distritos se debe a que en su mayoría son zonas urbanas, o a su reciente creación como municipio o a la escasa o nula actividad agrícola que presentan (Figura 1).

Figura 1.

Clasificación de niveles de boro disponible en el suelo en los distritos de los departamentos de Caaguazú, Itapúa, Alto Paraná y Canindeyú. Periodo 2006- 2017



Analizando los datos a nivel departamental, se puede observar que, en los departamentos de Caaguazú, Canindeyú e Itapúa, el valor de la mediana fue inferior al valor del promedio (Tabla 3), por lo tanto, la distribución del conjunto de datos es asimétrica, sesgado a la derecha, es decir, existe una mayor cantidad de muestras de suelo con valores inferiores al promedio de concentración de B. Por otro lado, en el departamento de Alto Paraná la distribución del

conjunto de datos es simétrica, sin sesgo, es decir que la cantidad de muestras de suelo con valores de B disponible en el suelo inferior y superior al promedio del departamento de Alto Paraná fueron similares.

Tabla 3.

Estadística descriptiva sobre los niveles de boro disponible en el suelo en los distritos de los departamentos de Caaguazú, Itapúa, Alto Paraná y Canindeyú Periodo 2006-2017..

Distrito	muestra analizadas	B							CV
		promedio	mediana	moda	desviación estándar	cuartil inferior	cuartil superior	intercuartil	
		mg kg ⁻¹							%
Alto Paraná	1.156	0,40	0,40	0,18	0,19	0,23	0,54	0,31	46,3
Caaguazú	1.035	0,31	0,26	0,23	0,17	0,19	0,42	0,23	53,4
Canindeyú	1.292	0,45	0,44	0,43	0,18	0,31	0,56	0,25	41,4
Itapúa	4.407	0,25	0,23	0,20	0,13	0,20	0,26	0,06	53,3
Total	7.890	0,31	0,25	0,20	0,17	0,20	0,39	0,19	55,6

Se observa también que, en todos los departamentos, con excepción de Caaguazú, el valor del cuartil inferior es igual o superior a 0,2 mg kg⁻¹ de B (Tabla 3), el cual corresponde al límite entre los niveles bajo y medio de B en el suelo. Esto indica que la mayoría de las muestras (75%) superaron este umbral, clasificándose como nivel medio de B en el suelo. A diferencia de los otros departamentos, los suelos del departamento de Caaguazú se originan en su mayoría a partir de rocas sedimentarias y presentan una textura arenosa. Aunque el material original (la arenisca) puede contener más B que el basalto, una vez formado el suelo, la lixiviación de este elemento es más intensa en suelos arenosos debido a su alta movilidad. Además, el B se retiene principalmente en la materia orgánica y en los óxidos minerales presentes en la fracción arcillosa, componentes menos abundantes en estos suelos. En cambio, en los departamentos de Alto Paraná, Canindeyú e Itapúa, los suelos provienen en su mayoría de materiales de origen basáltico que son más arcillosos y con mayor contenido de materia orgánica, por lo tal tiende a presentar mayor disponibilidad de B en el suelo.

Al analizar el desvío estándar y el coeficiente de variación (CV), se observa alta dispersión en los resultados de análisis de suelo, con valores superiores al 40%. Sin embargo, dicha variabilidad puede considerarse aceptable, debido a que el suelo según su naturaleza es un componente heterogéneo, y además

está influenciado por factores antrópicos, como su uso, manejo, la aplicación de fertilizantes químicos y enmiendas orgánicas. Estas prácticas pueden ocasionar alta heterogeneidad en los niveles de B en el suelo, comparado con la variación natural atribuida al material de origen o al proceso de formación del suelo que generalmente suele ser menor (Miretti et al. 2012). En ese contexto, Ríos (2020) observó, en el distrito de Coronel Oviedo, que la concentración de B varía según el uso del suelo: en sistemas de siembra directa se registró un promedio de 0,15 mg dm⁻³, mientras que en áreas de bosque fue de 0,35 mg dm⁻³. Así mismo, se constató un valor mínimo de 0,07 mg dm⁻³ en suelos con pastura y un valor máximo de 0,58 mg dm⁻³ en sistemas silvopastoriles. Ambos usos presentaron coeficientes de variación superiores al 50%. El mismo autor observó mayor concentración de B en la capa superficial del suelo, con una disminución hasta los 60 cm de profundidad, seguida de un aumento hasta los 150 cm. Además, señaló que los niveles de B mostraron alta correlación con el contenido de materia orgánica (r = 0,83), el pH (r = 0,71) y el porcentaje de arcilla (r = 0,54), indicando que el aumento de éstos parámetros incrementa la disponibilidad de B en el suelo.

En relación a los cuartiles, se destaca que el departamento de Itapúa, presenta un bajo intercuartil (0,06 mg kg⁻¹) en comparación con los demás departamentos, lo que indica una menor variabilidad en los niveles de B (Tabla 3). Esta menor amplitud puede atribuirse a los bajos contenidos de B en estos suelos, o al menor uso de fertilizantes con B en el cultivo de soja por los agricultores. A diferencia de otros departamentos que poseen suelos más arenosos e incorporan con mayor frecuencia la fertilización boratada en su plan de nutrición de los cultivos.

Del total de 7.890 muestras de suelos analizadas, se observa que únicamente el 7% (547 muestras) presentan niveles de B clasificados como alto, mientras que el 74% (5.873 muestras) se encuentran en la categoría medio y el 19% (1.470 muestras) en la

categoría bajo (Tabla 4). En términos generales, esto indica que el 93% de las muestras de suelos presentan una probabilidad media a alta de respuesta a la fertilización con B, principalmente en los cultivos con alta demanda de este micronutriente como es el caso de soja, algodón, canola y girasol (Montoya et al., 2003; Torri et al., 2005). Cabe destacar que en estos cuatro departamentos se concentra el 74,5% de la superficie sembrada con soja, el 80 % con canola, el 87 % con girasol y 5% con algodón (DCEA, 2023).

Tabla 4. Clasificación de los niveles de los niveles de boro disponible en el suelo en los distritos de los departamentos de Caaguazú, Itapúa, Alto Paraná y Canindeyú basados en 7.890 resultados de análisis de suelos entre 2006 y 2017.

Distrito	muestras analizadas	Niveles de B			promedio	
		alto	medio	bajo		
					mg kg ⁻¹	
	%				
Alto Paraná	1.156	15	71	14	medio	0,40
Caaguazú	1.035	6	69	25	medio	0,31
Canindeyú	1.292	18	73	9	medio	0,45
Itapúa	4.407	2	77	21	medio	0,25
Total muestras	7.890	547	5.873	1.470	medio	0,31
% de las muestras	100	7	74	19	--	--

Los niveles de B disponible en alto (>0,6 mg kg⁻¹); medio (0,6 – 0,2 mg kg⁻¹) y bajo (<0,2 mg kg⁻¹), respectivamente fueron establecidos por Raij (2011).

Aunque los experimentos con fertilización boratada en cultivos, realizados en Paraguay son escasos o limitados, la mayor parte de los mismos han mostrado respuesta positiva a la fertilización boratada (Raimundi et al. 2013; Aguayo et al. 2015; Armadans et al. 2020; Armadans et al. 2022a, Armadans et al. 2022b).

Entre los estudios realizados sobre fertilización con B, Raimundi et al. (2013), evaluaron tres métodos de aplicación de B (en el surco, al voleo y en el surco más al voleo) en el cultivo de soja, aplicando una dosis de 10 kg ha⁻¹ de B. Los autores observaron diferencias significativas entre los tratamientos, destacándose que la aplicación en el surco más al voleo generó rendimientos superiores con respecto a los otros tratamientos. Del mismo modo, Aguayo et al. (2015) reportaron incrementos en el rendimiento de soja con la aplicación foliar de dosis crecientes de B, siendo 9,3 kg ha⁻¹ la dosis con mejor respuesta. Armadans et al. (2020) registraron un aumento en la producción de

frutilla con la aplicación de hasta 4 ml de B por cada 10 litros de agua vía irrigación. Armadans et al. (2022a) observaron incremento en la producción de pimiento con aplicaciones de 30 a 60 ml de B en 10 litros de agua, mientras que Armadans et al. (2022b) obtuvieron respuesta positiva a la fertilización boratada en pepino aplicando 1,5 L ha⁻¹ de un producto con 11% de B.

Por su parte, González et al. (2017), con la aplicación de 2 kg ha⁻¹ de ácido bórico (17% de B), no observaron respuesta sobre el rendimiento en el cultivo de trigo. En un estudio posterior, González et al. (2019) identificaron síntomas de toxicidad por B con dosis mayores a 40 kg ha⁻¹ en los cultivos de trigo, soja y sésamo. De manera similar, Aguilar et al. (2019), Roa (2020) y Godoy (2021) reportaron que la aplicación de dosis de B superiores a 10 mg kg⁻¹ B en el cultivo de soja, sésamo y algodón, respectivamente, pueden afectar negativamente al cultivo.

Era previsible que la mayoría de las muestras de suelo analizadas fueran clasificadas dentro del rango de contenido medio de B, principalmente en los departamentos de Itapúa y Alto Paraná, considerando que esos suelos son predominantemente de origen arcilloso, cuyo material de origen es basalto, derivados de una roca ígnea. Sin embargo, resulta llamativo que Itapúa sea el departamento con el menor porcentaje de muestras clasificadas como alto en contenido de B, considerando justamente el material de sus suelos.

Dados los niveles de B encontrados y considerando que los suelos con textura franco a franco arenosa, característicos del oeste de Canindeyú, Alto Paraná, Itapúa y casi todo Caaguazú (López & Lesme 2024), presentan una mayor susceptibilidad a la lixiviación de B se hace necesario implementar estrategias de fertilización boratada y manejo del suelo. Estas deben orientarse a minimizar la pérdida del micronutriente y a optimizar su disponibilidad para las plantas.

Conclusiones

Basado en los resultados a partir de la evaluación y clasificación de la disponibilidad de B de las muestras de suelo se concluye que en el 93% de las muestras presentan deficiencia moderada a alta de B, y que en los cuatro departamentos de mayor producción agrícola de la región Oriental del Paraguay existe predominio de suelos con disponibilidad de B clasificado como “medio”, debiéndose considerar este nutriente en el momento de la toma de decisión de la fertilización de los cultivos, principalmente de los más exigentes como es el caso de algodón, canola, girasol y soja.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), enmarcada en el proyecto 14-INV-130 “Manejo sostenible de la fertilidad del suelo para la producción de alimentos”. A los laboratorios de la Fundación Universitaria Ciencias Agrarias de Itapúa (FUCAI) y de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción (FCA-UNA) por ceder los resultados de análisis de suelos.

Referencias

Aguayo, S., Rasche, JW., Britos, CS., Karajallo, JC., González, AL. (2015). Fertilización foliar con boro en el cultivo de la soja. *Investigación Agraria* 17(2):129-137.

Aguilar O, ZMF. (2020). Residualidad de la aplicación de boro en características agronómicas del trigo y maíz en dos suelos de diferentes texturas. Tesis Ing. Ag. San Lorenzo, Paraguay, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. 43 p.

Álvarez, C., Rimski-Korsakov, H. (2015). Manejo de la fertilidad del suelo en planteos orgánicos. Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 166 p.

Armadans R, AA. (2020). Efectos de la aplicación Boro en la producción de la Frutilla. *Ventana Científica*, 10(16), 113-120. Recuperado a partir de <http://dicyt.uajms.edu.bo/revistas/index.php/ventana-cientifica/article/view/43>

Armadans, AA., Martínez, A., Britos, UB., Rojas, M., & Martínez, G. (2022a). Evaluación del rendimiento del Locote (*Capsicum Annum L.*) con la aplicación de diferentes dosis de Boro. *Ventana Científica*, 12(19), 116-120. Recuperado a partir de <http://dicyt.uajms.edu.bo/revistas/index.php/ventana-cientifica/article/view/1337>

Armadans, AA., Rojas, M., Britos, UB., Dos Santos, C., Martínez, G. (2022b). Evaluación del rendimiento de pepino (*Cucumis sativus L.*) con la aplicación de diferentes dosis de boro. *Horticultura*, 41(104), 35-43.

Arunkumar, B., Thippeshappa, G., Anjali, M., Prashanth, K. (2018). Boro: a critical micronutrient for crop growth and productivity. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 7(2):2278-2741.

Barbieri, P., Echeverria, H., Sainz, H., Martínez, J., Velasco, J., Reussi, N. (2015). Fertilización en trigo: ¿es necesario fertilizar con zinc y cobre en Balcarce?. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica* (18):9-16.

Camacho-Cristobal, JJ., Rexach, J., Gonzalez-Fontes, A. (2008). Boron in plants: deficiency and toxicity. *J. Integr. Plant Biol.* 50(10), 1247–1255.

Casanova, E., Lobo, D. (2007). Relación entre la física y la fertilidad de los suelos. *Revista Venesuelos* 15(1):42-56.

DCEA (Dirección de Censos y Estadísticas Agropecuarias). VI Censo Agropecuario Nacional. (2023). VI Censo Agropecuario Nacional (en línea). Consultado 6 dic. 2024. Disponible en

https://can2022.mag.gov.py/geoportal/VI_CENSO_A GROPECUARIO_NACIONAL_Volumen_1.pdf

Dechen, AR., Nachtigall, GR. (2007). Elementos requeridos á nutrição de plantas. In Novais, RF; Alvarez, VH; Barros, NF; Fontes, RL; Cantarulli, RB; Lima, JC. Fertilidade do solo. Viçosa, Brasil, Sociedade Brasileira do Ciência do Solo. p 91-132

DGEEC (Dirección General de Estadística, Encuesta y Censos, Paraguay) Secretaría Técnica de Planificación (STP). Compendio estadístico 2018 (en línea). Fernando de la Mora, Paraguay. Consultado 17 may. 2020. Disponible en https://www.dgeec.gov.py/Publicaciones/Biblioteca/documento/6a53_Compndio%20Estadistico%202018.pdf

Godoy S, CD. (2021). Fertilización con fuentes y dosis de boro y su efecto en crecimiento del algodón en un suelo arcilloso. Tesis Ing. Ag. San Lorenzo, Paraguay, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. 36 p.

González, A., Szostak, J., Morel, J. (2017). Fertilización del cultivo de trigo con micronutrientes boro, cobre, zinc y cloro en un suelo arcilloso rojo bajo siembra directa en Capitán Miranda-Paraguay. *Tecnología Agraria* 2(1):24-28.

González, AN., Osorio, LR., Rasche, JW., Leguizamón, CA., Fatecha, DA. (2019). Fertilização com boro em trigo, soja e gergelim em solos de diferentes texturas. *Cultivando o Saber* 12(2):149-160.

González, M., Lahner, L., Muff, R., Wiens F. (1998). Mapa Geológico de la República del Paraguay. Texto explicativo. Dirección de Recursos Minerales (MOPC). Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR).

Jones, JB. (1991). Plant tissue analysis in micronutrients. In JJ Mortvedt, FR Cox, LM Shuman, RM Welch (ed.). *Micronutrients in Agriculture*, 2nd ed. SSSA Book Series. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wi, USA. 4: 477-522.

Kyrkby, E., Römheld, V. (2008). Micronutrientes en la fisiología de las plantas: funciones, absorción y movilidad. *Informaciones Agronómicas* (68):1-6.

López G, OE., Lesme B, JA. (2024). Grandes grupos de suelos de la región oriental del Paraguay. San Lorenzo, Paraguay: SOPACIS. 34 p.

López, C., Vera, A., González, A. (2019). Efecto de tres formas de aplicación de zinc y boro en el cultivo de maíz. *Tecnología Agraria* 2(2):29-39.

Martínez G, GA. (2008). Caracterización ambiental del Departamento de Canindeyú. Bases para la planificación del uso de la tierra Tesis Ing. Ag. San Lorenzo, Paraguay, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción., 86 p.

Miretti, C., Pilatti, M., Lavado, R., Imhoff, S. (2012). Historia de uso del suelo y contenido de micronutrientes en argiudoles del centro de la provincia de Santa Fe Argentina. *Ciencia del Suelo* 30(1):67-73.

Montoya, JC., Bono, A., Barraco, M., Diaz-Zorita, M. (2003). Boro, un nutriente que crea incertidumbre: experiencias de fertilización en la región pampeana. *Boletín de divulgación técnica* 78 INTA. 30 p.

Moreno, A. (2007). Elementos nutritivos: asimilación, funciones, toxicidad e indisponibilidad en suelos. S.L., Libros En Red. 104 p.

Navarro, G., Navarro, S. (2013). *Química agrícola: química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas*. 3 ed. Madrid, España, Mundi-Prensa. 508 p.

Ojeda N, E. (2020). Caracterización ambiental del Departamento de Alto Paraná. Bases para la planificación del uso de la tierra. Tesis Ing. Ag. San Lorenzo, Paraguay, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. 72 p.

Padbhushan R, Kumar D. (2017). Fractions of soil boron: a review. *The Journal of Agricultural Science*. 155(7):1023-1032.

Pereira, S. (2021). Fertilización con boro en trigo y girasol en suelos de diferentes texturas. Tesis Ing. Ag. San Lorenzo, Paraguay, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. 48 p.

Portillo RD, (2008). Caracterización ambiental del Departamento de Caaguazú. Bases para la planificación del uso de la tierra. Tesis Ing. Ag. San Lorenzo, Paraguay, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. 72 p.

Proyecto PAR 83/005. (1986). Mapa Geológico del Paraguay Escala 1:1.000.000 PNUD – MDN. Asunción. Texto Explicativo

Raij, B van. (2011). Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. Piracicaba, Brasil, International Plant Nutrition Institute. 420 p.

Raimundi, DL., Moreira, GC., Turri, LT. (2013). Modos de aplicação de boro na cultura da soja. *Cultivando o Saber* 6(2):112-121.

Ríos V, DR. (2020). Disponibilidad de micronutrientes en suelos del orden ultisol bajo diferentes usos y profundidades en Caaguazú, Paraguay. Tesis Maestría Ciencias del Suelo y OT. San Lorenzo, Paraguay, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. 85 p

Roa R, G de J. (2020). Fertilización con boro en maíz, sésamo y trigo en suelos de diferentes texturas. Tesis

Ing. Ag. San Lorenzo, Paraguay, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. 32 p.

Rodríguez F, A.E. (2008). Aplicación de boro y su efecto en características agronómicas del maíz y sésamo en suelos de diferentes texturas. Tesis Ing. Ag. San Lorenzo, Paraguay, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. 35 p.

Rojas O, AJ. (2020). Caracterización ambiental del Departamento de Itapúa. Bases para la planificación del uso de la tierra. Tesis Ing. Ag. San Lorenzo, Paraguay, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. 76 p.

Romero D, CJ. (2022). Fertilización con diferentes fuentes y dosis de boro en el cultivo de algodón en suelo arenoso. Tesis Ing. Ag. San Lorenzo, Paraguay, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. 76 p.

Rosolem, CA., Zancanaro, L., Bísaro, T. (2008). Boro disponível e resposta da soja em latossolo vermelho-amarelo do Mato Grosso. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:2375-2383.

Rosolem, CA. (2007). Produtividade máxima da soja. (Boletim de Pesquisa de Soja) Rondonópolis, Fundação MT, p.237-244.

Soares, MR., Casagrande, JC., Ferracciú A, LR. (2008). Adsorção de boro em solos ácidos em função da variação do pH. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:111-120.

Souza L, JCP de., Araújo do Nascimento, CW., Costa Lima, JG da., Lira J., M de A. (2007). Níveis críticos e tóxicos de boro em solos de Pernambuco determinados em casa de vegetação. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:73-79.

Tedesco, MJ., Gianello, C., Bissani, CA., Bohnen, H., Volkweiss, SJ. (1995). Análises de solo, plantas e

outros materiais. 2 ed. Porto Alegre, Brasil, S.E. 170 p.

Toledo, M. (2016). Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de Honduras. Honduras, IICA. 152 p.

Torres, A., Ardisana, EFH., Cué, JL., Ceballos, M. (2018). Fisiología vegetal: portoviejo Ecuador, UTM. 246 p.

Torri, S., Urricariet, S., Lavado, R. (2005). Micronutrientes y elementos traza. In García, F; Echeverría, H. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Buenos Aires, Argentina, INPOFOS-INTA, Balcarce, Buenos Aires, Argentina, 189-205.