



NIVELES DE ZINC y BORO DISPONIBLES EN SUELOS AGRÍCOLAS DEL CENTRO SUR DE CÓRDOBA, ARGENTINA

Bongiovanni, M.D.¹, Marzari, R.¹

¹ FAYV Universidad Nacional de Río Cuarto, *ExRuta 36 Km 601, (5800) Río Cuarto, Prov. de Córdoba, mbongiovanni@ayv.unrc.edu.ar

RESUMEN:

La intensificación agrícola en Argentina ha generado un deterioro progresivo en los niveles de micronutrientes esenciales, particularmente zinc (Zn) y boro (B), convirtiéndolos en los más deficitarios de los últimos años. En la región centro-sur de Córdoba, se realizó un relevamiento de suelos agrícolas con el objetivo de describir la situación actual de la disponibilidad de Zn y B y su relación con otras variables edáficas. El estudio abarcó aproximadamente dos millones de hectáreas en los departamentos Río Cuarto, Juárez Celman, General Roca y Roque Sáenz Peña. Se tomaron muestras compuestas de 0–20 cm de profundidad en lotes destinados a maíz durante 2023 y 2024, determinándose fósforo disponible, materia orgánica, pH, textura, Zn-DTPA y B-AcNH₄. Los resultados fueron analizados mediante estadística descriptiva, gráficos de frecuencia y regresiones lineales. Los valores medios de Zn y B fueron de 0,72 y 0,69 mg kg⁻¹ respectivamente, ambos por debajo de los umbrales críticos para cultivos exigentes como maíz y girasol. El 70% de las muestras de Zn y el 80% de las de B presentaron concentraciones menores a 1 mg kg⁻¹, confirmando deficiencias generalizadas. La materia orgánica mostró una relación positiva y significativa con el Zn, aunque con bajo ajuste, mientras que no se observó interacción con el B. El fósforo disponible se correlacionó significativamente con el Zn, destacando que más del 50% de los suelos se ubicaron en condiciones críticas de ambos nutrientes, lo que incrementa el riesgo de deficiencia ante fertilizaciones fosfatadas. Asimismo, la textura del suelo influyó en la disponibilidad de Zn y B, siendo los suelos arenosos los más vulnerables. En conclusión, los suelos agrícolas del centro-sur de Córdoba presentan una marcada fragilidad nutricional respecto a Zn y B, lo que evidencia la necesidad de estrategias de manejo que incluyan reposición de micronutrientes, conservación de la materia orgánica y monitoreo sistemático para garantizar la sustentabilidad productiva.

PALABRAS CLAVE: fósforo, materia orgánica, micronutrientes.

INTRODUCCIÓN

Los niveles de Zinc (Zn) y Boro (B) en los suelos argentinos han mostrado un deterioro sistemático, convirtiéndose en los micronutrientes que más se han degradado en los últimos años debido a la intensificación agrícola. Actualmente el Zn es considerado el cuarto nutriente más deficitario en los suelos de Argentina. Hace algunos años, la deficiencia de Zn se encontraba en el 40% de los casos analizados, pero en la actualidad esa cifra ha escalado hasta superar el 80% de los casos (Sainz Rosas et al. 2025). La intensificación agrícola sin reposición ha reducido los niveles de Zn-DTPA en un 69,6% respecto a su estado prístino, afectando a más de 12 millones de hectáreas en la Región Pampeana con niveles menores a 1 mg kg⁻¹ (Sainz Rozas et al., 2019). Relevamientos recientes confirman que esta tendencia persiste, con un 75% de la superficie agrícola nacional presentando deficiencias críticas hacia finales de 2024 (Sainz Rozas et al., 2025).

Si se tiene en cuenta que los parámetros de Zn extraíble (método DTPA) para indicar deficiencias son los siguientes: menor a 0,5 mg kg⁻¹ deficiente, entre 0,5 y 1mg kg⁻¹ crítico y valores superiores a 1 mg kg⁻¹ son adecuados, suelos de la provincia de Córdoba, el sudoeste de Santa Fe, y el norte y sudoeste de Buenos Aires se encuentran con valores con niveles de

Zn por debajo de $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ (Volmer Buffa y Ratto, 2005; Ratto 2006; Prabhacar Reddy et al. 2017). Otro aspecto importante en la disponibilidad de Zn es tener en cuenta los niveles de fósforo en el suelo ya que pueden ocurrir interacciones antagonistas P-Zn cuando los suelos reciben altas dosis de aplicación de P o aquellos que tienen muy bajos niveles de Zn disponible para las plantas (Nath et al., 2024).

En el caso del micronutriente boro los valores medios de B extractable en los suelos agrícolas se encuentran por debajo del umbral crítico informado para soja y maíz por Ferraris et al. (2019) y Barbieri et al. (2024) ($0,76$ y $0,78 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente). Sainz Rozas et al. (2025) informa que los valores medios de B en el suelo determinados en 2024 fueron inferiores a los del 2018 y cuando se lo comparó con la situación prístina, los niveles de B del 2024 son del 47 al 61% más bajos, lo que indica claramente que el balance de B es negativo observando un crecimiento del área con niveles de B-AcNH₄ en los suelos entre $0,5$ y 1 mg kg^{-1} a expensas de una reducción del área con niveles superiores a 1 mg kg^{-1} .

El objetivo de este trabajo fue realizar un análisis descriptivo de la situación actual de los contenidos de zinc (Zn) y boro (B) disponibles y su relación con otras variables en suelos agrícolas del centro sur de Córdoba.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se localizó en la región centro-sur de Córdoba de Argentina, delimitada específicamente por las coordenadas geográficas que comprenden desde los $32^{\circ}38'S$ $64^{\circ}35'W$ hasta los $32^{\circ}40'S$ $64^{\circ}42'W$, y extendiéndose hacia el sur entre los $34^{\circ}53'S$ $64^{\circ}53'W$ y los $34^{\circ}29'S$ $63^{\circ}44'W$. (IGN, 2025). Esta zona abarca aproximadamente dos millones de hectáreas de los departamentos Río Cuarto, Juárez Celman, Gral. Roca y Roque Sáenz Peña. Las muestras de suelo fueron tomadas en campos de productores en lotes destinados a la siembra del cultivo de maíz en suelos mayoritariamente Hapludoles típicos, Haplustoles énticos y típicos. Las muestras de suelo compuestas se tomaron de 0-20 cm de profundidad en los años 2023 y 2024 en lotes en barbecho que provenían de soja o con cultivos de servicio y en ningún caso tenían aplicación de efluentes o residuos orgánicos de tambo o feetlot. A las muestras secadas al aire se le determinó fósforo disponible (Pd) por el método de Bray y Kurtz 1 (Olsen and Sommers, 1982), materia orgánica por Walkley y Black (Nelson y Sommers 1996), pH en agua 1:2,5, Zinc (Zn) por el método de DTPA (Lindsay y Norvell, 1978) y boro (B) con AcNH₄ (Bingham, 1983) y textura por el método de Bouyucus. El análisis de los resultados se realizó por medio de un estudio descriptivo a través de gráficos de frecuencia y regresiones lineales para determinar relación entre variables que fueron procesadas con el programa Infostat (2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se observan valores medios, máximo y mínimos del contenido de materia orgánica, fósforo, pH, zinc y boro en los suelos del área de estudio en centro sur de Córdoba. El contenido medio de MO encontrado fue de $16,4 \text{ g.Kg}^{-1}$, con una gran variabilidad entre los valores máximos y mínimos, esto probablemente se debe a los cambios texturales de acuerdo a los suelos asociados en el área estudiada (Córdoba, 2024). El nivel medio de P relevado fue $13,7 \text{ mg kg}^{-1}$, valor que se encuentra en el límite bajo del nivel crítico para para muchos cultivos agrícolas. La gran desviación estándar ($7,6$) sugiere que la disponibilidad de fósforo cambia mucho de un punto a otro muestreado. El pH encontrado fue ligeramente ácido ($6,4$), valor que no genera inconvenientes para la mayoría de los cultivos y para la disponibilidad de los micronutrientes estudiados. El zinc y el boro se encuentran en el suelo del área de estudio por debajo de $1,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ que se consideran críticos o deficientes para cultivos exigentes como el maíz y girasol (Prabhacar Reddy et al., 2017). Los valores medios de zinc y boro fueron de $0,72$ y $0,69 \text{ mg Kg}^{-1}$ respectivamente.

Tabla 1 Niveles medios, desvió estándar (D.E.), mínimos (Min), máximos (Máx) y mediana del contenido de materia orgánica (M.O.), fósforo (P), pH, cinc (Zn) y boro (B) de 0-20 cm de profundidad en los suelos del área de estudio

		n	Media	D.E.	Mín	Máx	Mediana
M.O.	(g.Kg-1)	880	16,4	0,5	4,8	39,8	15,9
P	(mg.Kg-1)	911	13,7	7,6	3,1	47,9	11,6
pH		895	6,4	0,31	4,84	7,9	6,38
Zn	(mg.Kg-1)	966	0,72	0,37	0,1	2,41	0,63
B	(mg.Kg-1)	222	0,69	0,3	0,2	2,4	0,62

Cuando a los contenidos de Zn y B encontrados se los analiza en un gráfico de frecuencia (Fig.1) se puede observar que para Zn de las muestras estudiadas (n=966) el 70% de las mismas contenían menos de 1 mg Kg⁻¹, siendo el valor de mayor frecuencia es cercano a 0,67 mg.Kg⁻¹. Para el caso del B el 80% de las muestras (n=222) poseían menos de 1 mg.kg⁻¹, valores muy por debajo de los niveles críticos a partir del cual se pueden generar deficiencia y se pueden esperar respuestas a la fertilización con estos nutrientes (Barbieri et al. 2024, Sainz Rosas et al. 2025)

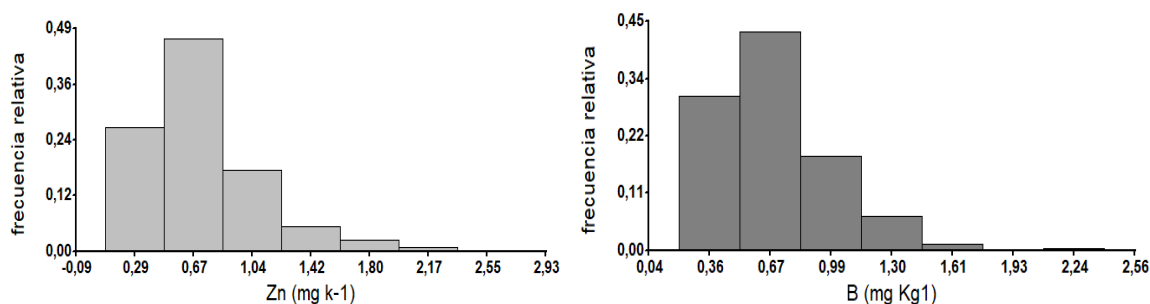


Figura 1 Frecuencia de distribución de zinc (Zn) (izq.) y boro (B) (der.) disponible de 0-20 cm en los suelos del centro sur de Córdoba

El contenido M.O en los suelos estudiados tuvo una influencia positiva y significativa con el Zn mostrando modelos de regresión lineal altamente significativos ($p < 0,01$), existiendo mayor probabilidad de encontrar mayores niveles de Zn con más M.O. El bajo ajuste de esta interacción se puede deber la gran variabilidad en el manejo de los lotes donde se tomaron las muestras, lo que sugiere que otros factores también influyen en esta relación (Fig. 3). Cuando se estudia esta relación para B a diferencia de lo encontrado por Goldberg (1997) y Barbieri (2024) no se encontró una interacción significativa con la M.O. en las muestras estudiadas (Fig. 4).

Cuando se relacionó la disponibilidad de Zn y B con el pH del suelo, en los dos casos las regresiones lineales probadas dieron no significativas ($p > 0,05$), no existiendo para el rango de pH, en las muestras estudiadas, interacción con los dos micronutrientes.

En la figura 5 se observa la interacción positiva y significativa ($p < 0,01$), pero con un muy bajo ajuste entre los nutrientes Zn y P para las muestras estudiadas.

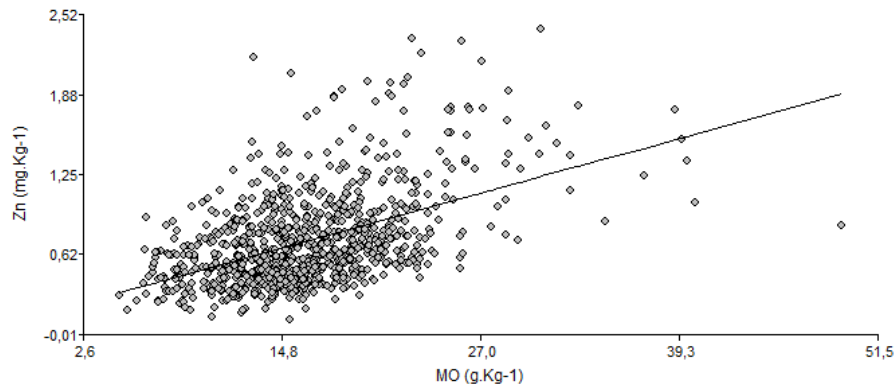


Figura 3. Correlación entre materia orgánica (M.O.) y zinc (Zn) disponible de 0-20 cm en los suelos del centro sur de Córdoba

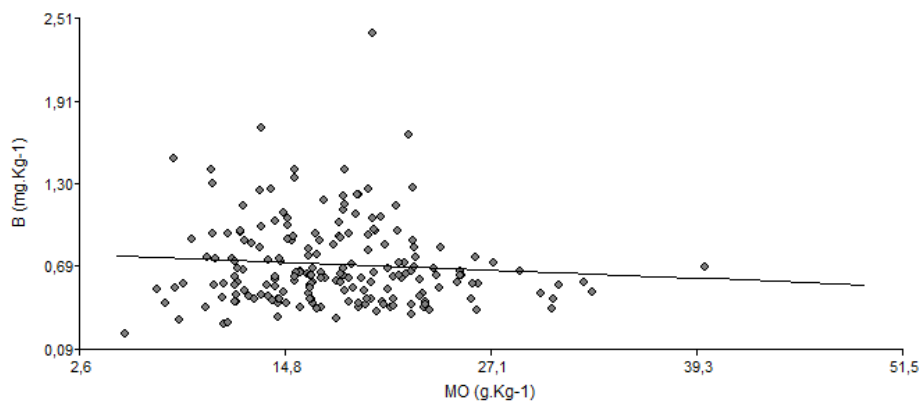


Figura N°4. Correlación entre materia orgánica (M.O.) y boro (B) disponible de 0-20 cm en los suelos del centro sur de Córdoba

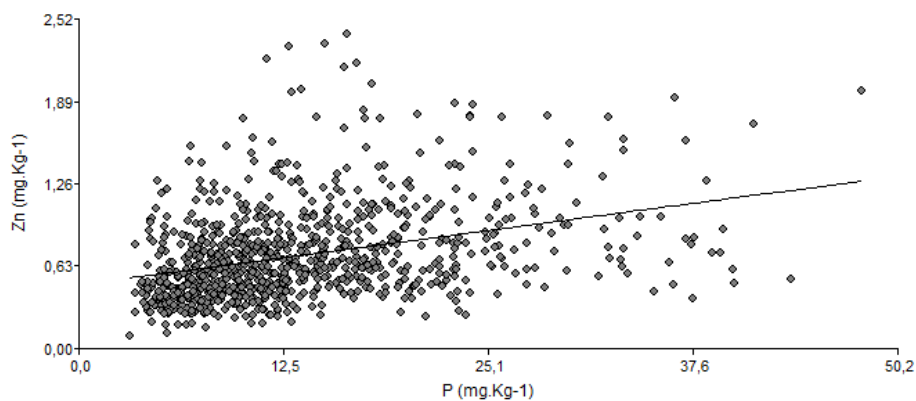


Figura 5. Interacción entre fósforo disponible (P) y zinc (Zn) disponible de 0-20 cm en los suelos del centro sur de Córdoba

Lo importante a destacar (Fig.5) es que más del 50% de los suelos estudiados se encuentran en el cuadrante inferior izquierdo, donde la concentración de P es menor a 12 mg.Kg^{-1} y de Zn menor a 1 mg.Kg^{-1} , condición que potencia una deficiencia de Zn ante fertilizaciones que apunten a llevar los niveles de P por encima de los niveles críticos requeridos para el cultivo de maíz, por la interacción de estos nutrientes en el suelo y por la toma de las plantas (Nath et al., 2024).

En la figura 6 y 7 se observa la relación de la textura, visto a través del contenido de arcilla, y de los niveles de Zn y B del suelo. La correlación para ambos casos fue significativa en los dos nutrientes estudiados coincidiendo en el Zn con distintos autores como Moraghan y Mascagni (1991) y Noulas (2018) donde plantean una relación directa y significativa entre la textura del suelo y la disponibilidad de Zn, indicando que los suelos con mayor contenido de arcilla tienden a poseer mayores reservas y disponibilidad de este micronutriente, mientras que los suelos arenosos son los más propensos a sufrir deficiencias.

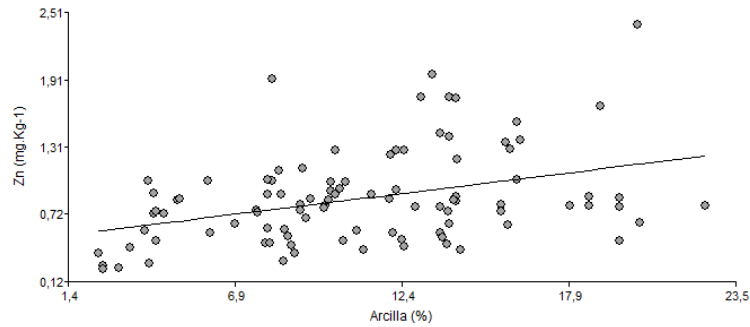


Figura 6. Relación entre zinc (Zn) y arcilla de 0 – 20 cm de profundidad en suelos centro sur de Córdoba

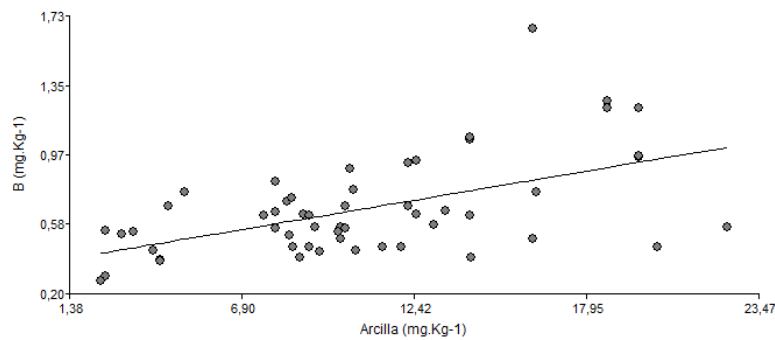


Figura N°7. Relación entre contenido de boro (B) y arcilla de 0-20 cm de profundidad en los suelos del centro sur de Córdoba

CONCLUSIONES

Los valores medios de Zn y B en los suelos estudiados están por debajo de los umbrales críticos considerados adecuados para cultivos exigentes como el maíz y girasol, que suelen ser superiores a 1 mg.Kg^{-1} para ambos nutrientes. Más del 70% de las muestras analizadas tenían niveles por debajo de 1 mg.kg^{-1} . Se encontró que disponibilidad de Zn y B está influenciada positivamente por el contenido de arcilla en el suelo, mientras que el Zn también se relaciona positivamente con la materia orgánica. Los suelos arenosos y con baja materia orgánica son, por tanto, más propensos a deficiencias. El trabajo indica que el balance de estos nutrientes es negativo, pudiendo estar asociado los bajos niveles de estos nutrientes a la extracción constante por los cultivos sin una reposición adecuada. Estos hallazgos refuerzan la necesidad de implementar estrategias de manejo que contemplen la reposición de Zn y B, el monitoreo sistemático de su disponibilidad y la integración de prácticas que

favorezcan la conservación de la materia orgánica y la sustentabilidad del sistema productivo.

BIBLIOGRAFÍA

- Bingham, F. T. (1983). Boron. *Methods of Soil Analysis: Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, 9, 431-447.
- Córdoba M., Alvarez C., Faule L., Pozzi E., Morales H., Monzani F. (2024). Mapeo de Propiedades de Suelo en la Provincia de Córdoba con resolución de 90 m., Infraestructura de Datos Espaciales de Córdoba (IDECOR).
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión (2020). Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Ferraris, G. N., Dominguez, M., & Gonzalez, J. H. (2019). *Tratamientos de fertilización con zinc y boro mediante la impregnación de fuentes nitrogenadas en girasol*. https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/vufind/Record/INTADig_5965b9cce1c752de91d19d9ad2d13c09
- IGN - Instituto Geográfico Nacional. (2025). Cartografía oficial de la República Argentina. Buenos Aires: Ministerio de Defensa. Recuperado de <https://www.ign.gob.ar>
- Lindsay, WL & WA Norvell. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 42: 421-428.
- Moraghan J. T , Mascagni H. J. (1991). Environmental and Soil Factors Affecting Micronutrient Deficiencies and Toxicities in Micronutrients in Agriculture. *Soil Science Society of America, Inc. John Wiley and Sons* pp 371-425.
- Nath, S., Dey, S., Kundu, R. Paul, S. (2024). Phosphate and zinc interaction in soil and plants: a reciprocal cross-talk. *Plant Growth Regul* 104, 591–615 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10725-024-01201-6>
- Nelson, D.W. y Sommers, L.E. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. In Sparks, D.L., et al., Eds., *Methods of Soil Analysis. Part 3, SSSA Book Series*, Madison, 961-1010.
- Olsen, S.R. and Sommers, L.E. (1982) Phosphorus. In: Page, A.L., Ed., *Methods of Soil Analysis Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, 403-430.
- Prabhacar Reddy T., Vijaya Lakshmi D., Kamalakar J., Sambasiva Rao Ch. (2017). Critical Levels Of Micro And Secondary Nutrients In Soils And Crops For Optimum Plant Nutriton. *International Journal of Scientific Research (IJSR)*. Volume/Issue/Date: Vol 6, Issue 5.
- Ratto, SE. (2006). Los microelementos en el sistema productivo del área pampeana. Pp. 79-112. En: Vázquez, M. (ed.). *Micronutrientes en la Argentina*. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires, Argentina. 207 pp.
- Sainz Rozas, H. R., Eyherabide, M., Larrea, G. E., Reussi Calvo, N. I., Wyngaard, N., & Angelini, H. P. (2019). *Niveles de materia orgánica y pH en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana argentina: Actualización 2018*. En: Simposio Fertilidad 2019.
- Sainz Rozas, H. R., Eyherabide, M., Wyngaard, N., & Reussi Calvo, N. (2025). *Impacto de la Agricultura Sobre la Fertilidad de Suelos de la Región Pampeana: Actualización 2024*. Presentado en el Simposio Fertilidad 2025.
- Volmer Buffa E, Ratto SE. (2005). Disponibilidad de cinc, cobre, hierro y manganeso extraíble con DTPA en suelos de Córdoba (Argentina) y variables edáficas que la condicionan. *Ciencia del Suelo* 23,107-114.