



RESPUESTA AL AGREGADO DE POTASIO Y ZINC EN TRIGO, SOJA Y MAÍZ EN ENTRE RÍOS

Pautasso, J.M.^{1,2*}, P. A. Barbagelata², R.M. Melchiori¹

¹ EEA INTA Paraná; ² FCA UNER; * Ruta Provincial 11, km 11,5, (1100) Diamante, Prov. de Entre Ríos, Pautasso.juan@inta.gob.ar

RESUMEN

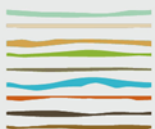
Además del N y del P otros nutrientes que podrían ser deficitarios y llegar a generar respuestas a su agregado son el zinc y el potasio. Para ambos nutrientes se han definido rangos críticos de disponibilidad, siendo para potasio el rango para todos los cultivos entre 117 y 200 mg kg⁻¹ y de alrededor de 1 mg kg⁻¹ de Zn DTPA para trigo y maíz. El objetivo de este trabajo fue explorar las respuestas al agregado de Zn y K y validar sus umbrales en suelos Molisoles y Vertisoles de Entre Ríos. En total se analizaron 38 ensayos para evaluar la respuesta a K (20 en trigo, 7 en soja y 11 en maíz) y 34 ensayos para Zn (20 en trigo, 5 en soja y 9 en maíz). Los sitios evaluados presentaron valores promedios de K intercambiable altos y de Zn DTPA dentro del umbral de respuesta. El rendimiento relativo utilizado para definir el umbral de respuesta fue de 90%. Analizando todos los cultivos, se determinó un umbral de K intercambiable que varió entre 212 y 229 mg k⁻¹ (p < 0,05). Para el caso de Zn DTPA se pudo determinar un umbral sólo para el cultivo de trigo, que se situó entre 0,39 y 0,42 mg kg⁻¹ (p < 0,05). En el análisis conjunto de los sitios no se determinaron respuestas significativas (p > 0,05) al agregado de K y Zn en suelos del Centro Oeste de ER.

PALABRAS CLAVE: K intercambiable, Zn DTPA, umbral crítico.

INTRODUCCION

La herramienta más difundida y utilizada para conocer la disponibilidad de algunos nutrientes es el análisis de suelos, a partir del cual los valores informados corresponden a "índices de disponibilidad" para los cultivos. Generalmente el valor determinado representa una porción del nutriente que está en rápido equilibrio con la solución del suelo y puede ser absorbida por los cultivos (Barbazán y García; 2015). Si bien los nutrientes que mayormente condicionan los rendimientos de los cultivos extensivos en Argentina son el nitrógeno (Echeverría y Sainz Rozas; 2015) y el fósforo (García y col. 2015), la falta de reposición y la actividad agrícola continua han producido una disminución de otros nutrientes que podrían llegar a ser actualmente limitantes, entre estos se cuentan el zinc y el potasio (Sainz Rozas y col. 2013). En la Región Pampeña existen estudios que definen probabilidades de respuestas asociadas a diferentes disponibilidades de Zn en el suelo extraído con DTPA para trigo (Martínez Cuesta et al. 2021) y maíz (Barbieri et al. 2017; Martínez Cuesta et al. 2020). Se ha definido un umbral de alrededor de 1 mg kg⁻¹ de suelo para ambos cultivos (rango en maíz 0.86 a 1.30 mg kg⁻¹ y en trigo 0.87 a 1.23 mg kg⁻¹), mientras que para soja no se han informado respuestas positivas al agregado de Zn en la región (Barbieri y col. 2018).

En el caso del K, estudios realizados en Uruguay han definido un umbral que se encuentra entre 117 y 156 mg kg⁻¹ (Barbazán y col. 2017); mientras que en otras regiones del mundo se ha definido un rango óptimo un poco más alto, entre 160 y 200 mg kg⁻¹ (Mallarino, et al. 2013); en ambos casos el rango crítico es común a todos los cultivos agrícolas. Adicionalmente, se



han explorado variables complementarias para el diagnóstico, al respecto Sainz Rozas y col. (2013) afirman que cuando la relación $(Ca+Mg)/K$ presenta valores mayores a 20 a 1 puede existir respuesta al agregado de K.

Con el objetivo de explorar las respuestas al agregado de Zn y K y determinar umbrales locales o validar los citados por la bibliografía en trigo, maíz y soja se establecieron ensayos en suelos Molisoles y Vertisoles de Entre Ríos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante las campañas 2020 y 2021 se instalaron ensayos de fertilización en la zona Centro Oeste de la Provincia de Entre Ríos, área de influencia de la EEA INTA. Se realizaron experimentos en los cultivos de trigo, soja y maíz utilizando un diseño en BCA con tres repeticiones (Tabla 1). Para evaluar la respuesta a potasio, a las parcelas tratadas se les agregó 50 kg ha^{-1} y para evaluar respuesta a Zn se agregó 1 kg ha^{-1} de Zn elemento de forma sólida. Tanto las parcelas testigos como las tratadas con K y Zn, fueron fertilizadas con 20 kg ha^{-1} de P, 12 kg ha^{-1} de S y para las gramíneas se adicionó 92 kg ha^{-1} de N. Todos los nutrientes fueron aplicados a la siembra y en cobertura. Antes de la fertilización se extrajeron muestras de suelos 0-20 cm donde se midió Zn DTPA y K intercambiable extraído con acetato de amonio. En total se analizaron 38 ensayos para evaluar la respuesta a K (20 en trigo, 7 en soja y 11 en maíz) y 34 ensayos para Zn (20 en trigo, 5 en soja y 9 en maíz).

Para obtener los valores críticos de análisis de suelo de Zn DTPA y K intercambiable para rendimiento relativo (%), los cálculos fueron realizados siguiendo dos enfoques: i) mediante el ajuste de modelos de respuesta lineal y meseta, subrutina Solver del programa Microsoft® Excel y ii) la curva de calibración arco seno logaritmo (ALCC) modificado por Correndo et al. (2017). Para comparar medias se utilizó el paquete estadístico Infostat 2020 (Di Rienzo et al. 2020). Se realizaron análisis de variancia para las variables para el conjunto de los experimentos, anidando los bloques dentro de los sitios.

RESULTADOS Y DISCUSION

1. Disponibilidad de K y Zn según análisis de suelos

Los niveles de disponibilidad de Zn en la mayoría de los suelos estudiados estuvieron dentro del rango de respuesta probable al agregado de Zn, mientras que los niveles de K intercambiable evidenciaron valores mayoritariamente dentro de los rangos de óptimo a alto. El K intercambiable promedio fue de 342 mg kg^{-1} y el de Zn de 1 mg kg^{-1} para la determinación con DTPA (Figura 1).

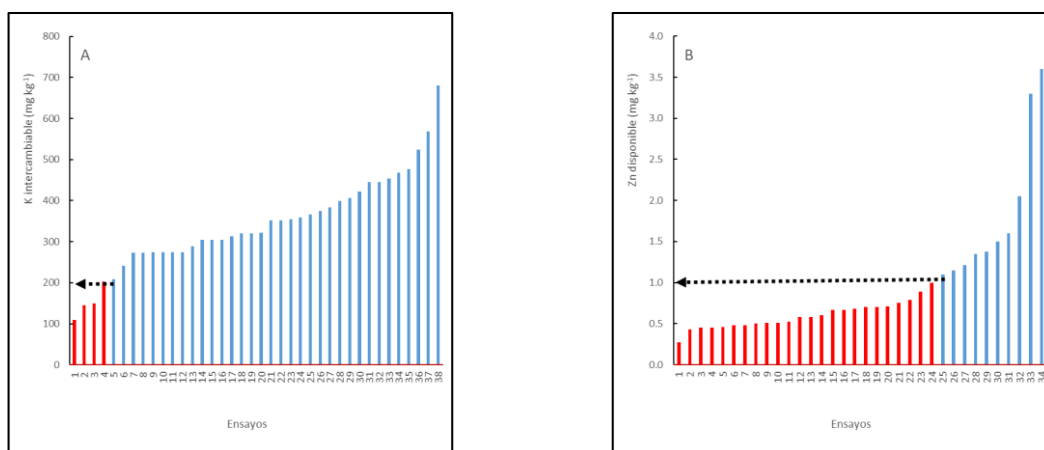


Figura 1: Disponibilidad de nutrientes en suelos del centro oeste de la provincia de Entre Ríos. A) niveles de Potasio intercambiable, y B) niveles de Zn extractable por DTPA. Las flechas en las figuras indican el nivel crítico para cada nutriente.

2. Respuesta al agregado de potasio.

En un análisis conjunto del rendimiento para todos los experimentos agrupados por cultivo no se determinó efecto significativo de la interacción Sitio*Tratamiento, ni del agregado de K ($p > 0,05$, Figura 2).

En la Figura 3 se muestran umbrales críticos de K intercambiable obtenidos para los distintos modelos estadísticos utilizados; los resultados locales, fueron levemente superiores a los valores informados en la bibliografía. Una de las limitantes importantes de los modelos obtenidos y las comparaciones realizadas es la baja cantidad de sitios con valores de K intercambiable bajos, lo que podría afectar el umbral determinado para este nutriente.

En la Tabla 2 y 3 se analizan las respuestas al agregado de K según el nivel de K intercambiable (definiendo 200 ppm de K intercambiable como umbral) y considerando la relación de bases intercambiables (Ca + Mg) / K, (particionado la población de datos por encima y por debajo de 20). La incorporación de la variable que relaciona bases al diagnóstico mejoró la predicción de la respuesta al agregado de K en el cultivo de trigo, donde en el 25% de los casos relevados se observaron valores mayores a 20 y respuesta a K, mientras que este criterio no sumó ventajas para predecir respuesta al agregado de K en maíz y soja.

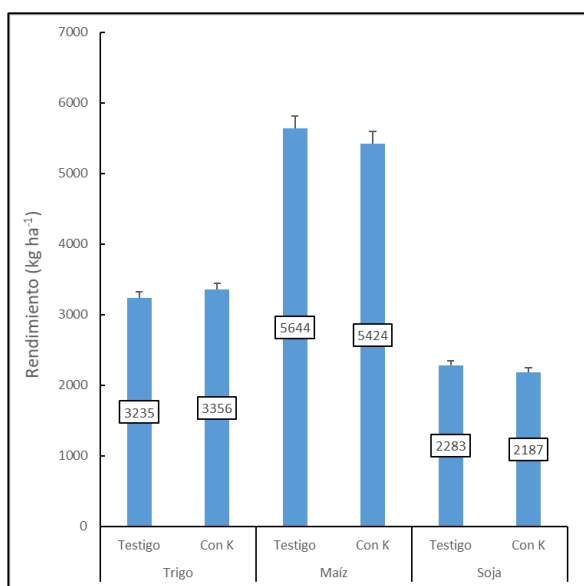


Figura 2: Rendimiento de los cultivos de trigo maíz y soja y respuesta al agregado de K (dosis de K = 50 kg ha⁻¹) en el Centro Oeste de Entre Ríos

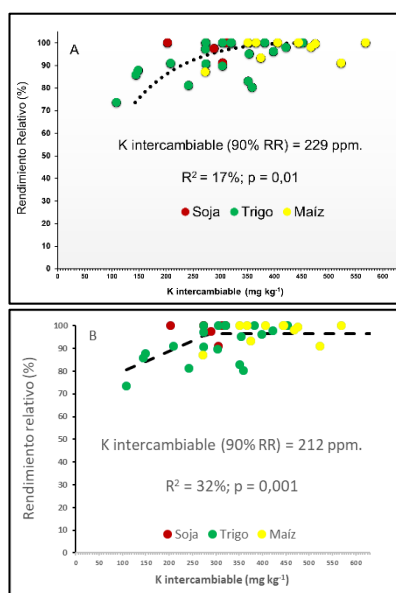


Figura 3: Rendimiento relativo de los cultivos de trigo, maíz y soja en función del K intercambiable y determinación de umbrales de respuesta para el Centro Oeste de Entre Ríos, utilizando dos métodos estadísticos: A) método ALCC; B) Modelo de respuesta lineal y meseta.

Tabla 2: Respuesta en rendimiento de los cultivos de trigo, maíz y soja al agregado de K para distintos niveles de K intercambiable.

| Cultivo | nivel de K en suelo | K Intercambiable ppm (promedio) | Sitios (n) | Respuesta (kg ha ⁻¹) | p valor* |
|---------|---------------------|---------------------------------|------------|----------------------------------|-----------|
| Trigo | K < 200 ppm | 134 | 3 | 314 | 0.02 |
| | K > 200 ppm | 349 | 17 | 91 | 0.47 |
| Maíz | K < 200 ppm | Sin datos | 0 | Sin datos | Sin datos |
| | K > 200 ppm | 427 | 11 | -220 | 0.46 |
| Soja | K < 200 ppm | Sin datos | 0 | Sin datos | Sin datos |
| | K > 200 ppm | 283 | 7 | -96 | 0.29 |

*Prueba t para una media diferente de 0

Tabla 3: Respuesta en rendimiento al agregado de K para los cultivos de trigo, maíz y soja en función de la relación (Ca+Mg)/K en el Centro Oeste de Entre Ríos.

| Cultivo | (Ca+Mg)/K Nivel de clase | (Ca+Mg)/K (promedio) | Sitios (n) | Respuesta (kg ha ⁻¹) | p valor* |
|---------|--------------------------|----------------------|------------|----------------------------------|----------|
| Trigo | < 20 | 10 | 15 | 57 | 0.69 |
| | > 20 | 44 | 5 | 326 | < 0,01 |
| Maíz | < 20 | 9 | 9 | -330.3 | 0.35 |
| | > 20 | 38 | 2 | 278 | 0.58 |
| Soja | < 20 | 13 | 5 | -99 | 0.40 |
| | > 20 | 28 | 2 | -93 | 0.55 |

*Prueba t para una media diferente de 0

3. Respuesta al agregado de zinc.

El análisis conjunto de todos los sitios evaluados no mostro efecto significativo de la interacción Sitio*Tratamiento ($p > 0,05$), ni del tratamiento de agregado de Zn ($p > 0,05$). sobre el rendimiento de los cultivos (Figura 4).

La respuesta en función del Zn DTPA en trigo y soja presentaron respuesta al agregado de Zn cuando el suelo presentó valores muy bajos de Zn, mientras que el maíz en cambio respondió a la fertilización con este nutriente hasta valores cercanos a 1,5 ppm (Figura 5). Con valores de suelos de Zn DTPA menores a 0,6 ppm se esperan respuestas al agregado de este nutriente de 134 kg ha⁻¹ y de 66 kg ha⁻¹ para trigo y soja, y para el caso del cultivo de maíz con valores menores a 1,5 ppm se presentaron en promedio un incremento de rendimiento de 198 kg ha⁻¹.

Los resultados obtenidos, sólo permitieron definir un umbral de ZN DTPA para el cultivo de trigo (Figura 6), con muy poca variación en la magnitud según la metodología utilizada, y un valor inferior al informado para la región pampeana en su conjunto por Martínez Cuesta et al. (2021).

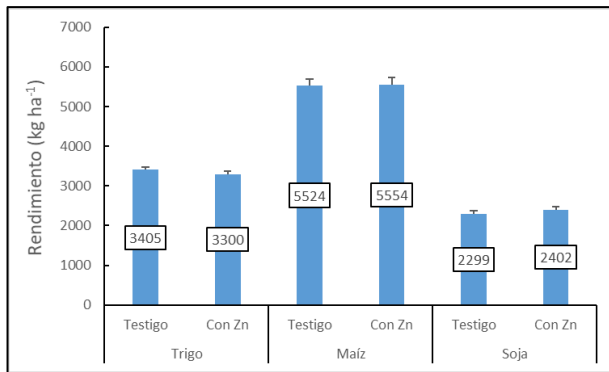


Figura 4: Rendimiento de los cultivos de trigo, maíz y soja y respuesta al agregado de Zn (dosis de Zn = 1 kg ha⁻¹) en el Centro Oeste de Entre Ríos en el Centro Oeste de Entre Ríos.

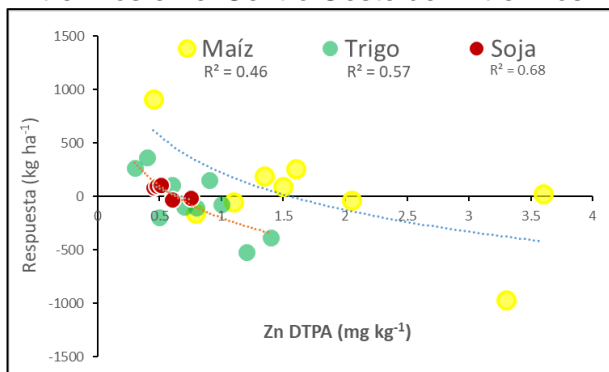
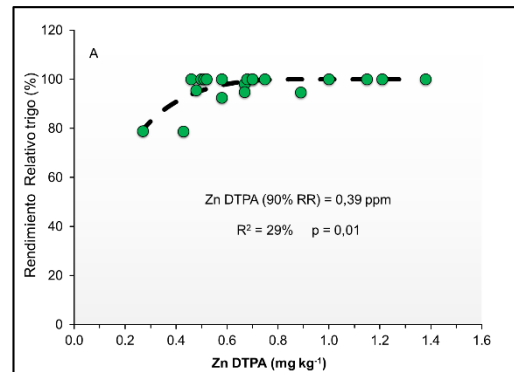


Figura 5: Respuesta de los cultivos de trigo, maíz y soja al agregado de Zn en función del Zn DTPA del suelo el Centro Oeste de Entre Ríos.

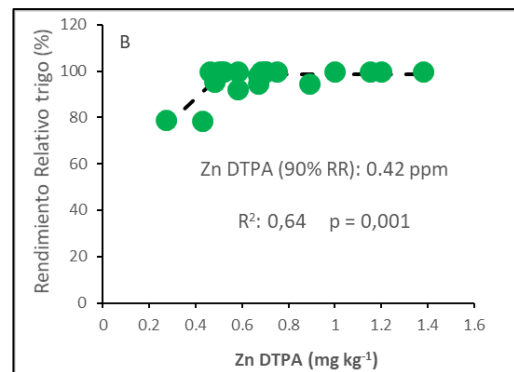


Figura 6: Rendimiento del cultivo de trigo en función del Zn DTPA y determinación de umbrales de respuesta para el Centro Oeste de Entre Ríos, utilizando dos métodos estadísticos: A) método ALCC; B) Modelo de respuesta lineal y meseta.

Los resultados obtenidos en 72 experimentos conducidos en el Centro Oeste de Entre Ríos, evidencian dos particularidades que requieren seguir siendo estudiadas: i) el umbral de K intercambiable determinado en la región es levemente superior al encontrado para suelos de Uruguay (Barbazán et al., 2017), afirmación que puede estar asociada a la baja probabilidad de encontrar sitios con bajos niveles de este nutriente y ii) el umbral de respuesta al agregado de Zn para trigo es considerablemente inferior al definido para el conjunto de la Pampa Húmeda.

CONCLUSIONES

Para el centro oeste de la provincia de Entre Ríos no se observaron respuestas generalizadas al agregado de K y Zn.

El contenido de K intercambiable en trigo, maíz y soja y el de Zn DTPA en trigo permitieron determinar umbrales para predecir la respuesta a la fertilización.

BIBLIOGRAFIA

- Barbazán M. & F. García. 2015. Evaluación de la fertilidad y recomendaciones de fertilización. En H. E. Echeverría y F.O. García (eds). En Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Ediciones INTA, Bs. As. Argentina. Pp. 379-399.
- Barbazán M.; M. Bordoli; A. del Pino; M. Ferrando; O. Ernst; E. Hoffman; S. Mazzilli; L. Rocha & F. García. 2017. Assessment of potassium deficiencies in agricultural systems in Uruguay. Frontiers of Potassium Science. Rome, Italy. Pp. 367-372.

- Barbieri, P.; H. Sainz Rozas, N. Wyngaard; M. Eyherabide; N. Reussi Calvo, F. Salvagiotti; A. Correndo; P. Barbagelata; C. Espósito Goya, J. Colazo & H. Echeverría. 2017. Can edaphic variables improve DTPA-based zinc diagnosis in maize? *Soil Science Society of America Journal*, 81 (3), 556 – 563. <https://doi.org/10.2136/sssaj2016.09.0316>
- Barbieri P.; H. Sainz Rozas; H. Echeverría; F. Salvagiotti; G. Ferraris; H. Sánchez; R. Cáceres Díaz & A. Bústos. 2018. Respuesta del cultivo de soja (*Glycine max.*) al agregado de zinc y boro. XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Miguel de Tucumán, 15 al 18 de mayo 2018.
- Correndo A.A.; F. Salvagiotti; F.O. García & F.H. Gutiérrez-Boem. 2017. A modification of the arcsine–log calibration curve for analysing soil test value–relative yield relationships. *Crop Pasture Sci.* 68:297-304., doi:10.1071/CP16444
- Di Rienzo J.; F. Casanoves; M. Balzarini; L. Gonzalez; M. Tablada & C. Robledo. 2020. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Echeverría H. & H. Sainz Rozas. 2015. Nitrógeno. Pp. 189-228. En H. E. Echeverría y F.O. García (eds). En *Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos*. Ediciones INTA, Bs. As. Argentina.
- García F.; L. Picone & I. Ciampitti. 2015. Fósforo. Pp. 229-264. En H. E. Echeverría y F.O. García (eds). En *Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos*. Ediciones INTA, Bs. As. Argentina.
- Mallarino A.; J. Sawyer & S. Barnhart. 2013. A General Guide for Crop Nutrient and Limestone Recommendations in Iowa. PM 1688 Revised October 2013. Department of Agronomy, Iowa State University. <https://store.extension.iastate.edu/Product/A-General-Guide-for-Crop-Nutrient-and-Limestone-Recommendations-in-Iowa-PDF>
- Martínez Cuesta N; N. Wyngaard; H. Saínz Rozas; N. Reussi Calvo; W. Carciochi; M. Eyherabide; J. Colazo; M. Barraco; E. Guertal & P. Barbieri. 2020. Determining Mehlich-3 and DTPA extractable soil zinc optimum economic threshold for maize. *oil Use Manage* 2021; 37: 736– 748.
- Martínez Cuesta N; W. Carciochi; F. Salvagiotti; H. Sainz Rozas; N. Wyngaard; M. Lopez De Sabando & P. Barbieri. 2021. DTPA-extractable zinc threshold for wheat grain yield response to zinc fertilization in Mollisols. *SoilSci. Soc. Am. J.* 2021; 85:1858 – 1862.
- Sainz Rozas, H; M. Eyherabide; H. Echeverría; H. Barbieri; H. Angelini & G. Larrea. 2013. ¿Cuál es el estado de la fertilidad de los suelos argentinos? Simposio Fertilidad 2013. *Nutrición de cultivos para la intensificación productiva sustentable*. 22 – 23 de mayo de 2013. Rosario – Santa Fe – Argentina.