

ZINC EN EL CULTIVO DE MAÍZ, DEFICIENCIA DE OPORTUNIDAD

Silvia E. Ratto ¹ y Fernando H. Miguez ²

Introducción

El manejo integral de nutrientes se ha convertido en una necesidad debido a la variabilidad introducida en los sistemas agrícolas. Las nuevas variedades e híbridos, la acumulación de residuos en la superficie del suelo con el desarrollo de siembra directa y la aplicación de una cantidad importante de nutrientes producen una alteración en el balance de los ciclos biológicos, químicos y geológicos que se manifiesta como nuevos equilibrios edáficos. Estos nuevos equilibrios afectan al zinc (Zn) y, por esta razón, en muchas áreas agrícolas del mundo se lo considera como el tercer elemento limitante, luego del nitrógeno (N) y el fósforo (P). Por su abundancia relativa en el ambiente, el Zn es considerado como un micronutriente y normalmente su concentración se expresa en partes por millón (ppm), lo que equivale a microgramos por gramo ($\mu\text{g g}^{-1}$) o miligramos por kilogramo (mg kg^{-1}).

Desde hace algunos años se ha comenzado a observar deficiencia de Zn en maíz en el área conocida como Pampas en Argentina. Por sus características, esta condición se puede definir como “*deficiencia de oportunidad*”, más adelante en este artículo se explica el significado de esta expresión. Estudios de campo realizados en la Región Pampeana en el pasado encontraron que el contenido foliar de Zn en maíz era cercano o ligeramente superior al nivel crítico. De igual manera, se demostró que existe una correlación positiva entre el rendimiento de cultivo y la concentración de Zn en la hoja (Ratto et al., 1991). La misma tendencia se observó en ensayos de invernáculo, donde el aumento de Zn en el suelo estuvo acompañado por un incremento de absorción y producción de materia seca de las plántulas de maíz (Ratto y Mizuno, 1991).

En los últimos años se han utilizado importantes volúmenes de fertilizante nitrogenado en la Región Pampeana para asegurar el rendimiento de los cultivos. Existe evidencia de que la fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz aumenta la absorción de Zn (Goldman et al., 2002; Ratto et al., 1991), incrementando así la cantidad de elemento extraído. Es lógico intuir que este incremento en rendimiento, inducido por la disponibilidad de N, aumente la absorción y que aparezcan deficiencias de otros nutrientes.

Sintomas de deficiencia de Zn

Los síntomas visuales de deficiencia constituyen una gran ayuda en el diagnóstico nutricional, sin embargo, para que el diagnóstico sea efectivo se debe conducir en un contexto amplio que tenga en cuenta en conjunto la disponibilidad del nutriente en el suelo, el material genético utilizado y el manejo del cultivo.

La deficiencia de Zn en maíz frecuentemente aparece en las primeras semanas del cultivo. Se manifiesta como fajas de color amarillento entre nervaduras de la lámina foliar (**Foto 1**). Los síntomas generalmente aparecen en la segunda o tercer semana del ciclo y se caracterizan por su corta duración. Pueden durar hasta por dos semanas, para luego desaparecer por completo. Sólo en algunas situaciones, en lotes de suelos arenosos, se ha observado que los síntomas de deficiencia de Zn persiste hasta la floración. Sin embargo, una situación similar ocurre en lotes que están en producción bajo siembra directa, con elevada fertilización fosfatada y en períodos de baja humedad. La aplicación foliar de Zn ha controlado en todas las situaciones los problemas de deficiencia.

Los síntomas de deficiencia de Zn que se observan específicamente en plantas de maíz se han generalizado a partir de la introducción de la siembra directa en el paquete tecnológico. Las condiciones que predisponen la presencia de estos síntomas parecen ser los siguientes: siembras tempranas en suelos fríos, siembra



Foto 1. Amarillamiento intervenal en las hojas más desarrolladas de un cultivo de maíz de tres semanas cultivado bajo siembra directa.

¹ Cátedra de Edafología - FAUBA, Argentina.

² Cátedra de Cereales y Oleaginosas - Fac. Ciencias Agrarias UCA (1): 14-16. Argentina. Correo electrónico: sratto@agro.uba.ar

directa con elevada cobertura de residuos y fertilización con cantidades altas de P colocado en banda cerca de la semilla. La deficiencia se describe como una deficiencia de Zn inducida por una elevada disponibilidad de P (Ratto y Giuffr , 1997). Estos síntomas desaparecen al poco tiempo, probablemente debido a la mayor exploración radical del perfil y a la mayor temperatura del suelo que aumentaría la difusión del Zn.

La siembra directa provoca cambios que son altamente beneficiosos, pero que también modifican ciertos parámetros como la temperatura y especialmente su amplitud térmica del suelo. La menor temperatura diurna del suelo limita el crecimiento de las raíces y la difusión del Zn y en siembras tempranas, la temperatura nocturna normalmente está por debajo de la temperatura base de crecimiento del maíz. La baja temperatura del suelo provoca también una menor tasa de liberación de Zn de formas medianamente lábiles hacia formas solubles o intercambiables que son las más rápidamente disponibles por la planta. La presencia de una importante cantidad de residuos vegetales en la superficie promueve una demanda importante de Zn por parte de los microorganismos del suelo. Se podría decir que existe inactivación del Zn por un período variable que depende de la cantidad y la relación C/N de los residuos, la concentración de P en la banda de fertilización y la temperatura y humedad del suelo. Toda condición que favorezca la mineralización de los residuos contribuye a una mayor liberación de Zn aprovechable por las plantas.

La combinación de restos orgánicos en descomposición, suelos fríos en relación a la velocidad de crecimiento de las raíces de maíz y una secuencia de cultivos que privilegia al trigo, maíz y/o soya muy exigentes en Zn genera una baja disponibilidad del nutriente en todo el sistema. Por esta razón, se habla de *deficiencia de oportunidad*, ya que no se han determinado contenidos de Zn en el suelo o en la planta que tengan valores que indiquen deficiencias severas.

Funciones del Zn en la planta

- n No interviene en sistemas redox. Participa en muchos procesos metabólicos.
- n Interviene en la síntesis de auxinas.
- n Tiene gran afinidad para formar complejos con N, oxígeno (O) y azufre (S) en funciones catalíticas y estructurales de reacciones enzimáticas.
- n Es absorbido como Zn^{2+} y Zn hidratado.
- n Se ha encontrado que la aplicación de quelato de Zn a las semillas de maíz puede aumentar la velocidad de germinación y el vigor de la plántula (Miguez, 2006).

Distribución de Zn en el perfil

En las Pampas se ha medido el contenido de Zn total en suelo para evaluar las reservas, el contenido de Zn en la fracción biodisponible y se han conducido ensayos de invernáculo y de campo para evaluar respuesta. El Zn total oscila entre 60 y 90 $mg\ kg^{-1}$, contenido que se considera de normal a bueno, de acuerdo al contenido promedio de la corteza terrestre. Es interesante observar la distribución del Zn total en dos perfiles de suelo representativos de la región (**Figuras 1 y 2**).

En la **Figura 1**, correspondiente al Hapludol, se observa que parte del Zn se ha acumulado en la superficie formando parte de los compuestos orgánicos y que en la zona de mayor exploración radical el contenido de Zn se reduce apreciablemente. Algo parecido ocurre en el Argiudol (**Figura 2**), donde también se observa una importante disminución del contenido de Zn entre los 40 y 50 cm de profundidad y luego se observa la presencia de una zona de enriquecimiento que corresponde al horizonte argílico, cuyas arcillas retienen Zn. En estas figuras se puede

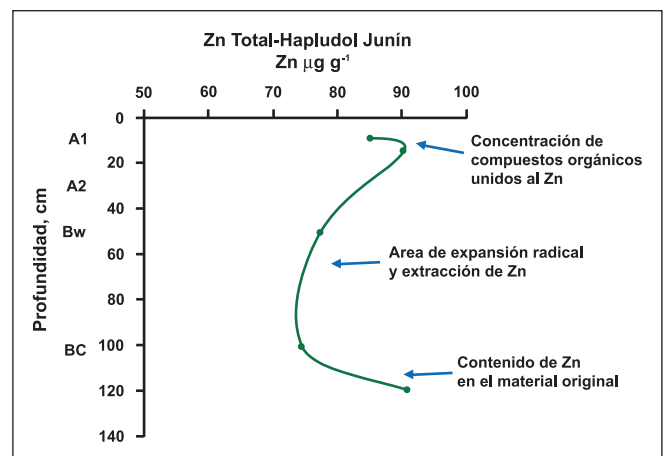


Figura 1. Distribución del Zn total en el perfil de un Hapludol (Mizuno et al., 1988).

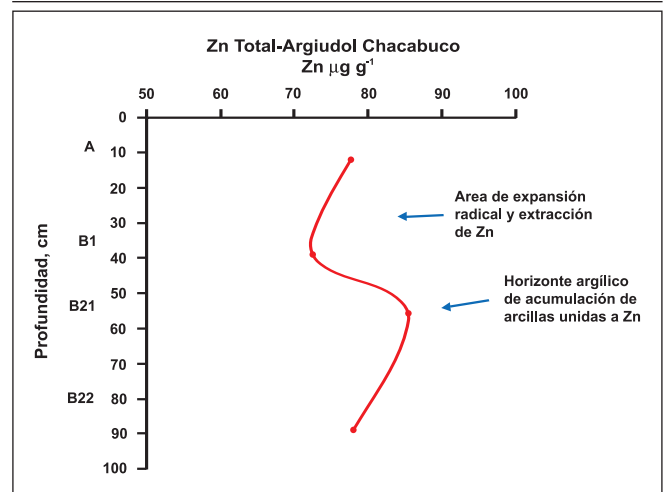


Figura 2. Distribución del Zn total en el perfil de un Argiudol (Mizuno et al., 1988).

observar el efecto, a mediano y largo plazo, de sucesivas cosechas que extraen Zn del área de exploración de las raíces y lo reubican en los residuos acumulados previniendo su disponibilidad en el futuro.

Otras formas del Zn en el suelo

El Zn es retenido por las arcillas silicatadas, carbonatos, óxidos de hierro (Fe) y aluminio (Al) y compuestos orgánicos. Las fracciones del Zn soluble en agua, intercambiable y retenida por compuestos orgánicos son las más importantes para caracterizar la fracción lábil de este nutriente en el suelo. Se cree que esta fracción representa lo que la planta puede absorber. Se considera que la mejor forma de extraer el Zn de la fracción lábil es utilizando soluciones TEA-DTPA (llamada DTPA), EDTA y Melich 3. Se considera también que el Zn extraído por las dos primeras soluciones es el mejor indicador de la cantidad disponible para la planta, sin embargo, para estas determinaciones se deben hacer extracciones independientes de las utilizadas normalmente en la rutina en el laboratorio.

Se han conducido estudios en la mayoría de los suelos del área pampeana utilizando las metodologías de extracción de Zn mencionadas anteriormente. Los resultados indican que aunque el contenido total de Zn es aparentemente suficiente, en muchos suelos los valores de Zn biodisponible están cerca del valor crítico o limitante. Los valores críticos son: 0.5 mg kg⁻¹ para el DTPA, 1.4 mg kg⁻¹ para el EDTA y 1 mg kg⁻¹ para Melich-3.

Es importante indicar que estos valores críticos fueron obtenidos en ensayos de invernáculo y su extrapolación a cultivos de campo debe ser hecha con cuidado. De acuerdo con esta información, un 20% de los suelos de la región Pampeana tendrían valores cercanos a los considerados pobremente provistos de Zn (Ratto et al., 1991; Melgar et al., 2001).

Composición foliar y rendimiento

Aparte de la disponibilidad en suelo, es importante considerar la cantidad de nutriente absorbida por la planta, ya que esto demuestra la efectividad del estudio realizado. A partir de este supuesto, se condujeron distintos estudios para evaluar el contenido de Zn en planta. Para el cultivo de maíz, estos estudios permiten concluir que:

- n Existe relación positiva entre el rendimiento y la concentración de Zn en la hoja opuesta a la mazorca en floración, cuando se explora un amplio rango de valores.

- n La fertilización nitrogenada aumenta la cantidad de Zn absorbido por la planta.
- n Se considera que el valor de 20 µg g⁻¹ de Zn en la hoja opuesta a la mazorca separa la deficiencia de la suficiencia, coincidiendo con valores en la literatura (Jones, 2002).
- n En los casos en los que se observan síntomas de deficiencia de Zn en hojas maduras en floración, los valores de la relación P/Zn son muy altos y esta condición induce la deficiencia de Zn por exceso de P.
- n La deficiencia de Zn está muy difundida en sistemas productivos a nivel mundial. Se considera que el mejor diagnóstico de la condición se logra de la combinación de la observación de síntomas con el análisis foliar y el análisis de suelo.

Rotaciones

Las rotaciones juegan un importante papel en la dinámica del Zn en el suelo. Se considera que las rotaciones trigo-maíz son las que más deprimen el contenido de Zn intercambiable en el suelo. Esta fracción es muy importante en la biodisponibilidad de Zn, ya que es la fracción que más rápidamente repone el Zn en solución del suelo (Chandi and Takkar, 1982). Si se agrega a esta rotación el cultivo de soya, cuya tasa de extracción es semejante o mayor a la de maíz, puede comprenderse con claridad el impacto que el actual sistema de rotaciones de la región Pampeana tiene sobre la dinámica del Zn en el sistema. No resulta aventurado suponer que a corto y mediano plazo se producirá un incremento de las manifestaciones de deficiencia de Zn.

La extracción de Zn del suelo luego de cada cosecha se traduce en valores de Zn soluble e intercambiable muy bajos al finalizar el ciclo y el sistema queda empobrecido para el cultivo siguiente. Esto produce un desplazamiento del equilibrio del Zn en el sistema, la fracción disponible para la planta es menor a la de extracción por el cultivo y se manifiesta la deficiencia.

Es necesario fertilizar?

Esta pregunta no es sencilla de responder si se pretende generalizar. Cada caso debe ser considerado individualmente, evaluando particularmente el historial de uso del suelo y la aplicación de otros nutrientes. Para obtener evidencia que permita un diagnóstico regional, luego de haber caracterizado los ambientes de la zona maicera usando análisis de suelo y foliar, se efectuaron durante varios años (1999-2003) ensayos de campo para evaluar la respuesta del cultivo a la fertilización con Zn en el rendimiento de maíz.

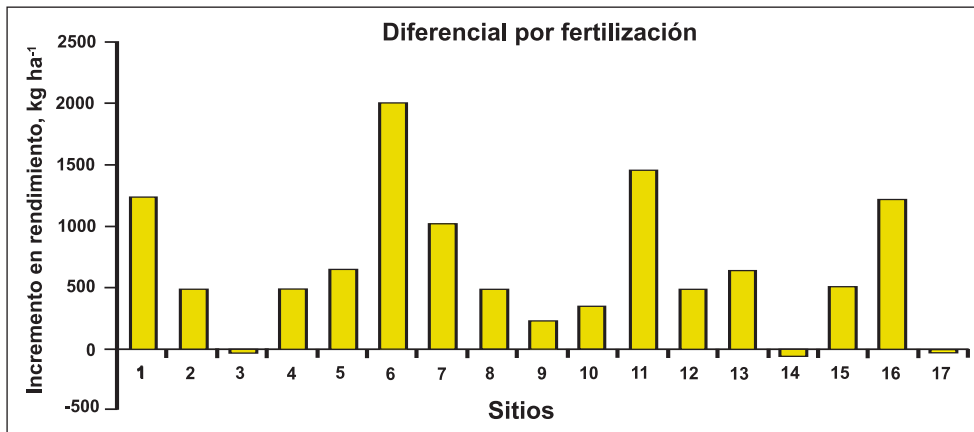


Figura 3. Incremento de rendimiento de maíz sobre el testigo, como respuesta a la aplicación foliar de Zn, en lotes de producción en la campaña con mejor uniformidad de respuesta en ensayos realizados en la Región Pampeana.

Los resultados no fueron consistentes (**Figura 3**). En varios sitios de elevada fertilidad natural y con aplicación de dosis de N y P elevadas se observó respuesta con un aumento importante de rendimiento. Esta respuesta estuvo probablemente asociada a la marcha térmica en las primeras etapas del cultivo y a la distribución de las precipitaciones. Las bajas temperaturas luego de la emergencia del cultivo y la escasez de lluvias parecen aumentar la probabilidad de respuesta.

Los productos utilizados para los ensayos fueron: sulfato de zinc ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), preparado a partir de compuesto puro, en dosis de 5 a 10 kg ha^{-1} de Zn y otros fertilizantes foliares de uso comercial donde el elemento estaba en forma de óxido o quelato de Zn. Se ensayó también la aplicación de Zn con la semilla. De todas las fuentes de Zn aplicadas, el $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ fue el que presentó mayor respuesta. En ningún caso se hizo aplicación de Zn al suelo. Estudios de Melgar et al, (2001) con Zn aplicado al suelo en sistemas intensivos de producción de maíz obtuvieron respuesta positiva en 5 de los 14 sitios evaluados.

Resumen

Las condiciones que predisponen al sistema de cultivo de maíz a la deficiencia de Zn son:

- Siembra directa, alta cobertura de rastrojo y/o suelos fríos.
- Zn disponible menor a niveles críticos en el suelo.
- Siembras con elevada fertilización fosfatada en banda cercana a la semilla.
- Rotaciones: el sistema trigo-maíz-soya produce una marcada disminución del Zn intercambiable.

La cantidad total de Zn en el suelo no constituye una limitante severa. La fracción denominada llamada disponible o bioasimilable oscila entre valores al nivel

crítico y suficiencia de acuerdo a ensayos de invernáculo. En ensayos de campo las respuestas no han sido consistentes, si bien en algunos casos las respuestas son de magnitud. Los valores de Zn en el grano, a la cosecha, están dentro de los estándares de calidad, aún para rendimientos altos.

Las rotaciones practicadas en el área maicera de la región Pampeana están produciendo una extracción alta y

permanente de Zn. La reducción del contenido de Zn en el suelo puede afectar a la actividad de microorganismos que cumplen funciones relevantes en el reciclamiento de nutrientes. La fertilización nitrogenada incrementa la extracción de Zn por los cultivos.

Por ahora, la evidencia indica que la deficiencia de Zn en la región Pampeana es una deficiencia de oportunidad, ya que la deficiencia desaparece luego de las primeras semanas de crecimiento del cultivo, cuando las raíces han logrado explorar el suelo. Este es un llamado de atención para desarrollar conocimiento sobre el funcionamiento de los ciclos biogeoquímicos que afectan la dinámica de nutrientes y que son de fundamental importancia para un manejo sustentable de los agrosistemas.

Bibliografía

- Chandi, K.S., Takkar, P.N. 1982. Effect of agricultural cropping systems on micronutrient transformation. *Plant and Soil* 69:423-436.
- Goldman, V., Echeverría, H.E., Andrade, F., Uhart, S. 2002. Incidencia de la fertilización nitrogenada sobre la concentración de nutrientes en maíz. *Ciencia del Suelo* 20(1):27-35.
- Jones, J.B. 2002. *Agronomic Handbook: Management of Crops, Soils, and Their Fertility*. CRC Press. Fl. pp: 352
- Melgar, R.J., Lavandera, J., Torres, M., Ventimiglia, L. 2001. Respuesta de la fertilización con boro y cinc en sistemas intensivos de producción de maíz. *Ciencia del Suelo* 19(2):109-114.
- Míguez, F. 2006. Efecto de la aplicación de promotores de crecimiento sobre la velocidad de germinación y el vigor en semilla de maíz. Informe presentado a Fertiva Latinoamericana S.A.

-
-
- Mizuno, I., Villa, A.M., Jiménez, M., Moretti, M., Sanguesa, V., Efron, D., Berasategui, L. 1988. Elementos mayores y menores en algunos perfiles de suelos de la provincia de Buenos Aires. Rev. Facultad de Agronomía.
- Ratto, S., Fatta, N., Lamas, M. 1991. Análisis foliar en maíz de cultivo. II. Microelementos. Rev. Facultad de Agronomía, 12(1):31-38.
- Ratto, S., Mizuno, I. 1991. "Respuesta del maíz al agregado de zinc en ensayo de invernáculo". XIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bariloche.
- Ratto, S., Giuffré, L. 1997. Relación P/Zn en cultivo de maíz. Actas de VI Congreso Nacional de Maíz, AIANBA (II) 190-195.
- Ratto, S., Lamas, M.C., Chamorro, E. 1991. "Análisis foliar en plantas de maíz de cultivo. I. Macroelementos. Rev. Facultad de Agronomía, 12(1):23-30.
- Ratto, S., Giuffré, L. 1997. "Relación P/Zn en cultivo de maíz" VI Congreso Nacional de Maíz. Tomo 2. Pag.190-195. Ed. AIANBA. Pergamino. .