

Avances en la interpretación de análisis de suelo

Nicolás Wyngaard^{1,2} y Nahuel Reussi Calvo^{1,2,3}

¹Unidad Integrada INTA-FCA Balcarce, ² CONICET, ³FERTILAB,
wyngaard.nicolas@inta.gob.ar; nreussicalvo@laboratoriofertilab.com.ar

Introducción

El diagnóstico de la fertilidad de suelos y la recomendación de fertilización de cultivos contemplan diferentes etapas entre las que se destacan: 1- *muestreo de suelo*, 2- *el análisis propiamente dicho* y 3- *la interpretación de los resultados* (Barbazán y García, 2015). La primera de ellas resulta clave, dado que representa el primer paso dentro del proceso que lleva a la recomendación de fertilización. En los últimos años se han observado que los errores en el muestreo de suelos son de 3 a 6 veces superiores a los errores durante el análisis de laboratorio. Por lo tanto, se deberían considerar para una correcta toma de la muestra de suelo: el momento y profundidad de muestreo según el nutriente a cuantificar, el número de submuestras por muestra (de 25 a 50), los elementos utilizados para la extracción y el acondicionamiento de las muestras hasta su llegada al laboratorio (Carretero et al., 2016).

La etapa de interpretación puede ser definida en términos generales como el proceso mediante el cual se trata de encontrar un significado más amplio sobre información empírica recabada. Generalmente, para una mejor interpretación es necesario conocer el marco y/o contexto en el que se realiza la misma (ej: la zona, el ambiente, dinámica de nutrientes, etc.). En la actualidad, la mayoría de los métodos de diagnóstico de deficiencias de nutrientes basados en determinaciones de suelo contemplan la cuantificación de fracciones inorgánicas lábiles (para nutrientes móviles) o de índices que tratan de extraer una fracción proporcional de nutrientes semejante al que toman las raíces de las plantas (para nutrientes de baja movilidad) (Barbazán y García, 2015). Estos métodos en general han presentado moderada capacidad predictiva de la respuesta al agregado de los diferentes nutrientes, por lo tanto, la investigación e inclusión de otros factores o formas de nutrientes a los modelos actuales de diagnóstico permitiría reducir su incertidumbre y mejorar la interpretación de los análisis de suelo debido a una mejor comprensión del contexto o marco. El objetivo del presente trabajo es realizar una revisión resumida sobre los principales avances en la interpretación de los análisis de suelos que se han realizado en los últimos años para los principales nutrientes móviles (nitrógeno y azufre) y de baja movilidad (fósforo y cinc) que limitan la producción de los cultivos extensivos en la Región Pampeana Argentina.

Nitrógeno

La metodología más difundida para el diagnóstico de nitrógeno (N) se basa en la determinación del contenido de N-nitrato en suelo previo a la siembra del cultivo (profundidad de 0-60 cm). Para el cultivo de maíz, Correndo (2018) realizó un meta-análisis sobre ensayos de fertilización nitrogenada realizados en la región pampeana y determinaron una disponibilidad de N crítica en presembrado de 293 kg N ha⁻¹ para rendimientos de 11 tn/ha. No obstante, el ajuste del modelo fue solo del 18% (**Figura 1**). Por lo tanto, identificar y estudiar las variables que condicionan la respuesta a N permitirían generar modelos de diagnóstico más precisos que los actuales y, por ende, maximizar la eficiencia de uso del fertilizante aplicado.

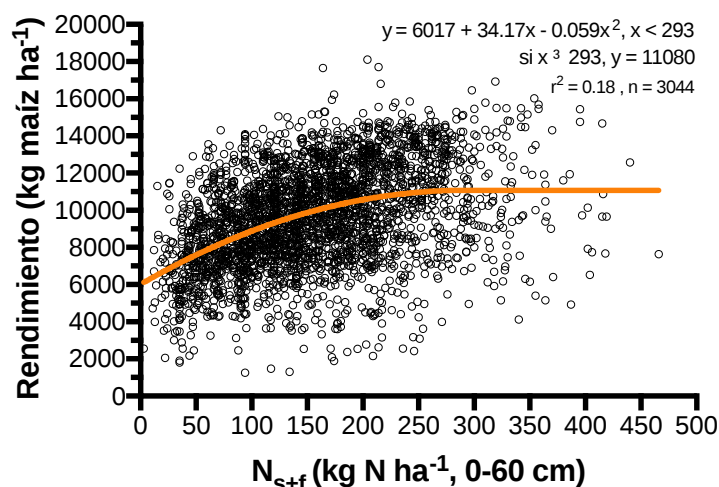


Figura 1. Rendimiento de maíz en función de la disponibilidad de N (suelo + fertilizante) previo a la siembra del cultivo para la Región Pampeana Argentina (Correndo et al., 2018).

En los últimos años se han propuesto distintos umbrales de disponibilidad de N (suelo más fertilizante), los cuales varían en función de diferentes factores entre los que se destacan: 1- *el potencial de rendimiento*, 2- *la textura del suelo*, 3- *el potencial de mineralización del suelo* y 4- *el efecto del cultivo antecesor* (Diez, 2017; Orcellet et al., 2017; Correndo et al., 2018). Trabajos recientes para maíz, determinaron que el umbral crítico de disponibilidad de N es función del potencial de rendimiento del cultivo. El umbral varió desde 133 kg N ha⁻¹ para rendimientos máximos medios de 6.5 t ha⁻¹ hasta 304 kg N ha⁻¹ para rendimientos de 14.1 t ha⁻¹ (Correndo et al., 2018). Esto representó un incremento medio de 22.6 kg N en el umbral por tonelada de maíz al cambiar de curva de potencial de rendimiento (**Figura 2**). La separación de las poblaciones de datos en función del potencial de rendimiento del cultivo permitió incrementar la capacidad predictiva del método de diagnóstico desde un 18% hasta un 45% según ambiente.

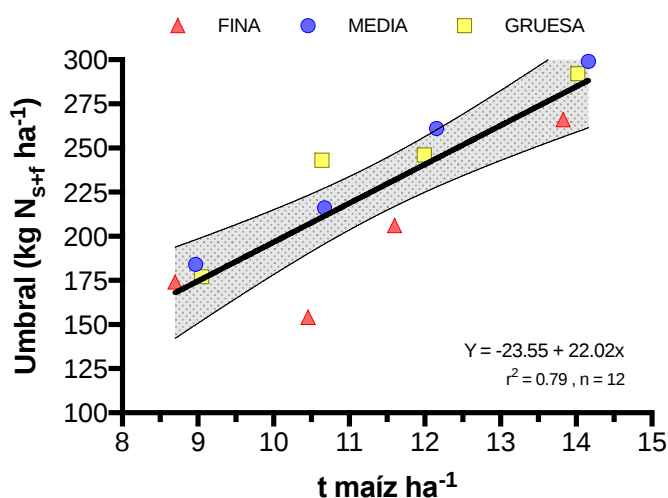


Figura 2. Relación entre el umbral de disponibilidad de N estimado y el potencial de rendimiento de maíz (t ha⁻¹). La franja vertical gris represente el intervalo de confianza (95%) de la curva de ajuste (Correndo et al., 2018).

Respecto al efecto de la textura del suelo, Correndo et al. (2018) informaron que el rendimiento del testigo resultó hasta un 83% menor en suelos de la clase fina (>90% de limo + arcilla) respecto a los de clase gruesa (promedio de 50% de limo + arcilla). Por lo tanto, los suelos de clase textural fina, al expresar rendimientos sin N más bajos que en otras texturas -y potenciales similares-, registraron un mayor potencial de respuesta al agregado de N (**Figura 3**). No obstante, dichos autores no observaron diferencias significativas en el umbral crítico entre clases texturales. Así, *se observó que, independientemente de la textura, el umbral estaría determinado por el potencial de rendimiento, mientras que la textura no afectaría al umbral, pero sí la tasa de la respuesta ante cambios en la disponibilidad de N (Figuras 2 y 3).*

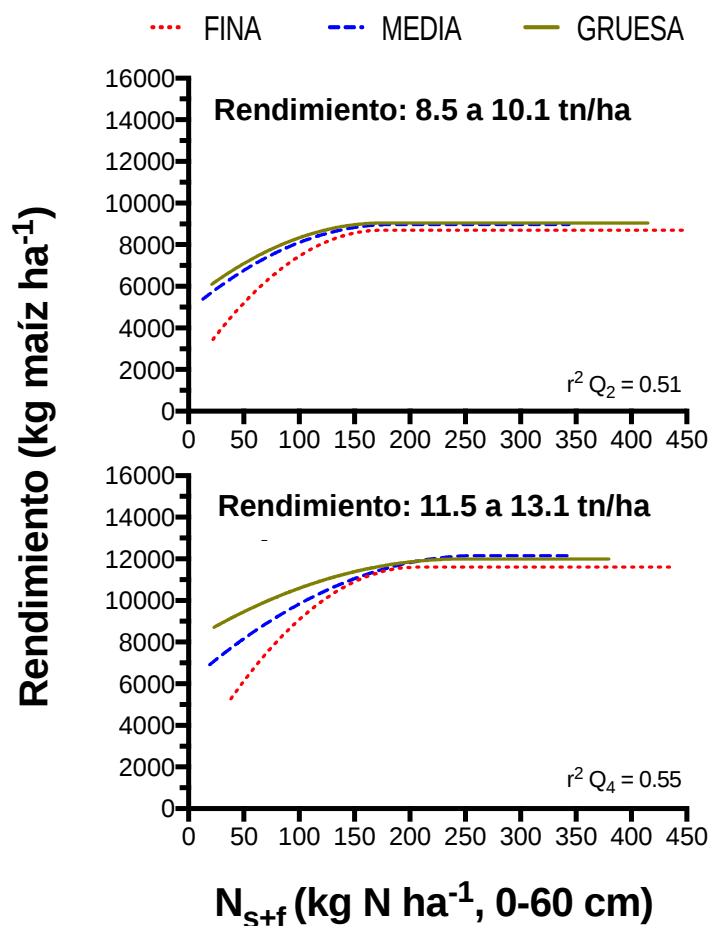


Figura 3. Relación entre rendimiento de maíz y el nivel de N disponible para ensayos de diferente potencial de rendimiento segregado en tres categorías texturales de suelo (Correndo et al., 2018).

Como se mencionó, otro aspecto a considerar para mejorar la interpretación del análisis de suelo es considerar el aporte de N desde la fracción orgánica del suelo. En general, los métodos de diagnósticos basados en la determinación del contenido de N en presiembra no contemplan de manera directa el aporte de N por mineralización durante el ciclo del cultivo (pasaje de N en la materia orgánica a N disponible para el cultivo), el cual representa una fuente de N importante para los mismos (Reussi Calvo et al., 2018). A modo de ejemplo, el aporte de N por dicho proceso puede satisfacer hasta el 80% de la demanda de N de un cultivo de maíz en la región pampeana núcleo (Orcellet et al., 2017). Trabajos recientes han demostrado que el aporte de N por mineralización

durante el ciclo del cultivo puede variar desde 22 hasta 232 kg N/ ha según zona, cultivo y fecha de siembra (Reussi Calvo et al., 2018). En los últimos años, trabajos realizados para trigo y maíz, han demostrado que la incorporación del Nan (N-amonio liberado durante la incubación anaeróbica de una muestra de suelo) a los modelos tradicionales de diagnóstico mejora la estimación de las necesidades de N. *A modo de ejemplo, para el sudeste bonaerense y norte de la región pampeana se ha determinado incrementos en la capacidad predictiva del rendimiento de maíz por la incorporación del Nan del 29% y 46%, respectivamente (Orcellet et al., 2017) (Figura 4).*

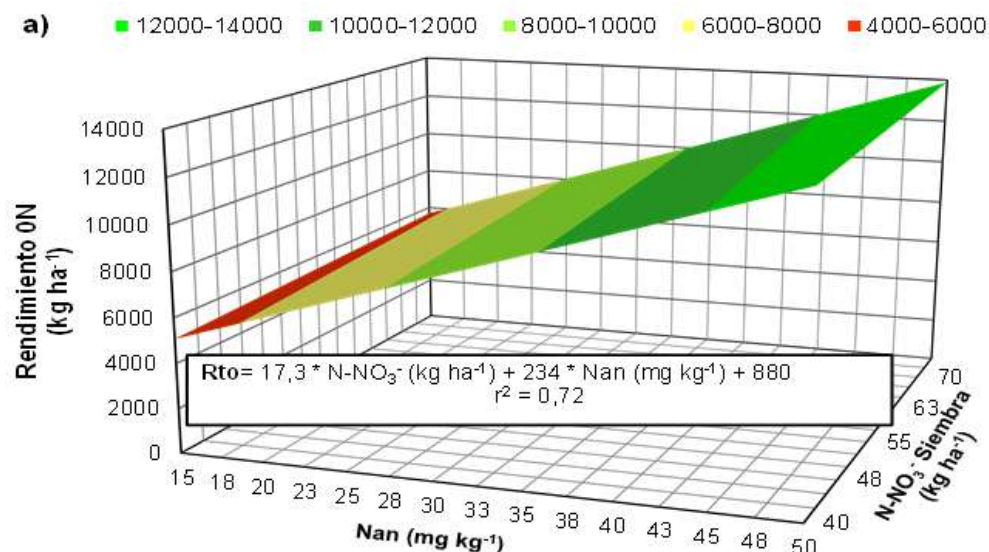


Figura 4. Rendimiento del testigo (0N) en función del test N-NO₃⁻ en presiembra (0-60cm) y nitrógeno incubado en anaerobiosis (Nan; 0-20cm) para maíz temprano en el norte de la Región Pampeana (Orcellet et al., 2017).

Por último, el cultivo antecesor (sea cultivo puente o no) modifica la dinámica de N para el cultivo posterior en la rotación en función de la especie, relación carbono (C)/N de los residuos, tipo de suelo, temperatura, agua disponible y momento y método de incorporación, entre otros (Ranells y Waggoner, 1996). Trabajos realizados en los últimos años en maíz reportaron aportes de N por efecto del cultivo antecesor que varían desde 30 hasta 100 kg N ha⁻¹ según ambiente y cultivo en consideración (**Figura 5**) (Diez, 2017). Los modelos de diagnóstico citados (N disponible en presiembra + Nan) no contemplan el N que pudo haber sido liberado o inmovilizado por los residuos del cultivo antecesor en estadios posteriores a seis hojas (V₆) del maíz. Si bien se ha informado que el Nan es sensible a cambios en las prácticas de manejo y uso del suelo (Genovese et al., 2009), los resultados determinados por Diez (2012), indican que no habría un efecto del cultivo antecesor inmediato sobre el Nan determinado a la siembra del maíz y, por lo tanto, debería ser considerado al momento de definir la dosis de N. Diez (2017), *determinaron que la incorporación de la relación C/N de la materia seca del cultivo puente, por un lado, y el N acumulado en materia seca, por otro, mejoró la capacidad predictiva del rendimiento relativo del cultivo de maíz y, por ende, de la dosis de N.* Estos resultados remarcan la importancia de considerar el efecto del cultivo antecesor en los actuales modelos de diagnóstico de nitrógeno para cultivos extensivos.

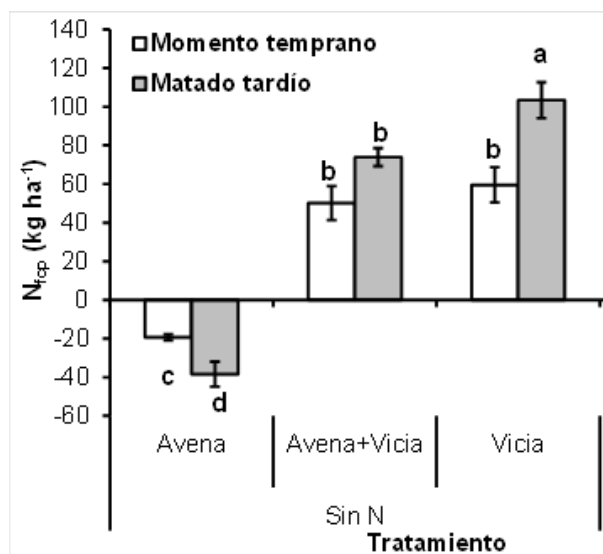


Figura 5. Nitrógeno absorbido por efecto del cultivo puente (N_{fcp}) en materia seca aérea de maíz al estadio R6 en distintos momentos de interrupción (temprano: 1/10 y tardío: 30/10). Las líneas verticales en cada barra indican error estándar observado de la media (Adaptado de Diez, 2017).

Azufre

Los métodos de diagnóstico de azufre (S) basados en la determinación del contenido de S-sulfato (0-20 cm) en suelo en presiembra del cultivo han mostrado resultados contradictorios (Reussi Calvo et al., 2006; Pagani y Echeverría, 2011). Esta diferencia entre estudios se explica en parte por la variabilidad subsuperficial (> 20 cm) de S-sulfato entre sitios, que no es tenida en cuenta y que representa un compartimento muy importante para la nutrición de las plantas (San Martín y Echeverría 1995). Por lo tanto, algunos trabajos han planteado el empleo de la determinación S-sulfato a 0-60 cm de profundidad, aunque la capacidad predictiva también fue variable según caso (Prystupa et al., 2006; Pagani y Echeverría, 2011; Carciochi et al., 2016; Carciochi et al., 2018). Una posible explicación es que dicho método no contempla el aporte de S por mineralización desde la fracción orgánica durante el ciclo del cultivo (Camberato et al., 2012). Aproximadamente el 50% del S total incorporado a la biomasa aérea del cultivo de maíz es absorbido luego de la floración (Ciampitti et al., 2013). Debido a las altas temperaturas que ocurren en la Región Pampeana en ese momento, se produce un incremento en la tasa de mineralización de S. Así, es esperable que el S proveniente de esta fuente cubra gran parte del total absorbido por el cultivo, y es por esto que debería ser tenido en cuenta con el fin de predecir con mayor exactitud el S disponible para las plantas. Trabajos realizados en EE.UU., determinaron una estrecha asociación entre la mineralización de S y el Nan en el estrato de 0-20cm (**Figura 6**), por lo cual este último podría ser utilizado para el diagnóstico de S en los cultivos (Wyngaard y Cabrera, 2015). En línea con lo mencionado, en la región pampeana, Carciochi et al. (2016) reportaron que el Nan explicó un 62% de la variación en la respuesta a la fertilización azufrada en maíz (**Figura 7**). Valores superiores a 54 mg kg^{-1} indicarían suficiente disponibilidad de S para el cultivo. Considerando el intervalo de confianza para el umbral de Nan (entre 40 y 69 mg kg^{-1}) (**Figura 7**), se observó que tres de los cinco sitios con valores de Nan menores a 40 mg kg^{-1} respondieron a la fertilización azufrada, mientras que en todos los sitios con Nan superiores a 69 mg kg^{-1} no hubo respuesta a S. Este hecho muestra que el Nan es un buen indicador para predecir la respuesta a S en condiciones de campo. En consecuencia, el índice Nan podría ser potencialmente usado para predecir simultáneamente la disponibilidad de S y N en el

cultivo de maíz. No obstante, para el diagnóstico de S también deberían ser considerados el potencial aporte de S por parte del cultivo antecesor, la napa de agua, la tosca y/o el riego entre otras fuentes.

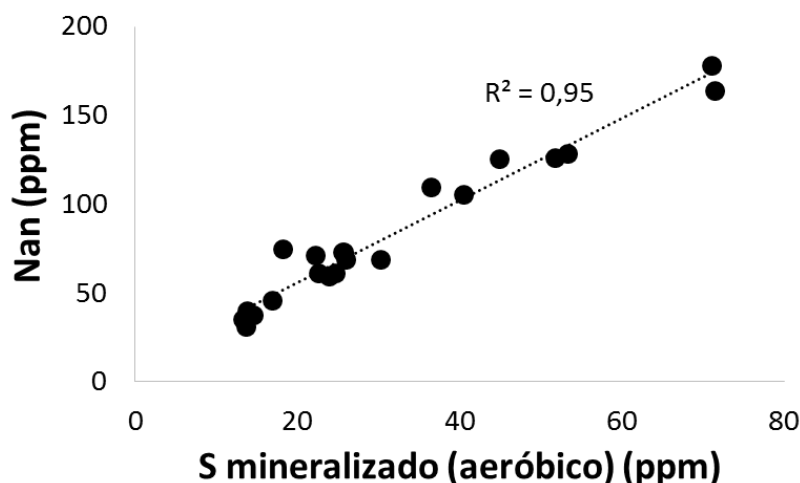


Figura 6. Relación entre el S mineralizado y el nitrógeno incubado en anaerobiosis (Nan) en el estrato de 0-20cm (Wyngaard y Cabrera, 2015).

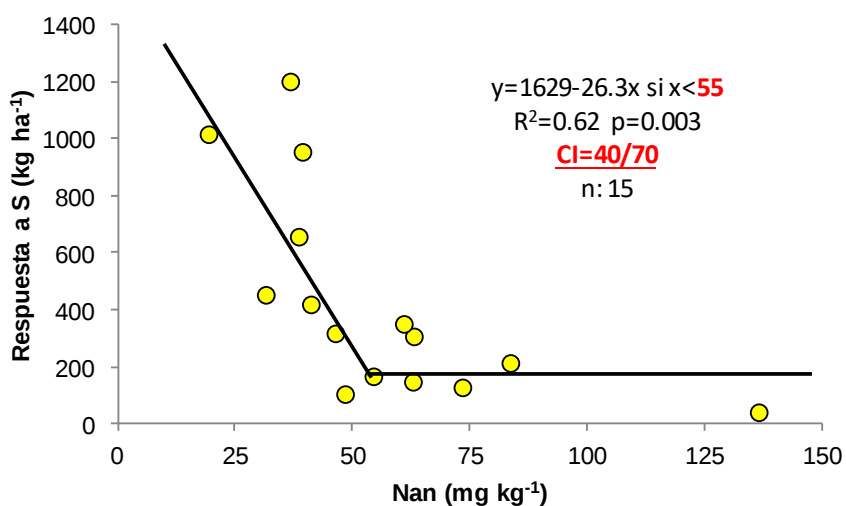


Figura 7. Relación entre la respuesta al agregado de S en maíz y el nitrógeno incubado en anaerobiosis (Nan) en el estrato de 0-20cm (Carciochi et al., 2016). CI = intervalo de confianza. n: número de sitios.

Fósforo

A diferencia de lo descrito para N y S, no todo el P inorgánico está disponible para los cultivos durante su ciclo de crecimiento. Por lo tanto, utilizar al contenido de P-fosfato del suelo como un

indicador de la disponibilidad de P, de la misma manera que se utilizan N-nitrato y S-sulfato para N y S, respectivamente, resultaría en la sobreestimación de la disponibilidad de P. Por tal motivo, deben utilizarse otros índices de disponibilidad, siendo el más difundido en la región pampeana el propuesto por Bray y Kurtz (1945; P-Bray) (García et al., 2015). La fracción de P extraída por este extractante ha sido asociada a la respuesta de cultivos como maíz, trigo, soja y papa (**Figura 8**) (Mallarino et al., 1997; García et al., 2015; Correndo, 2018).

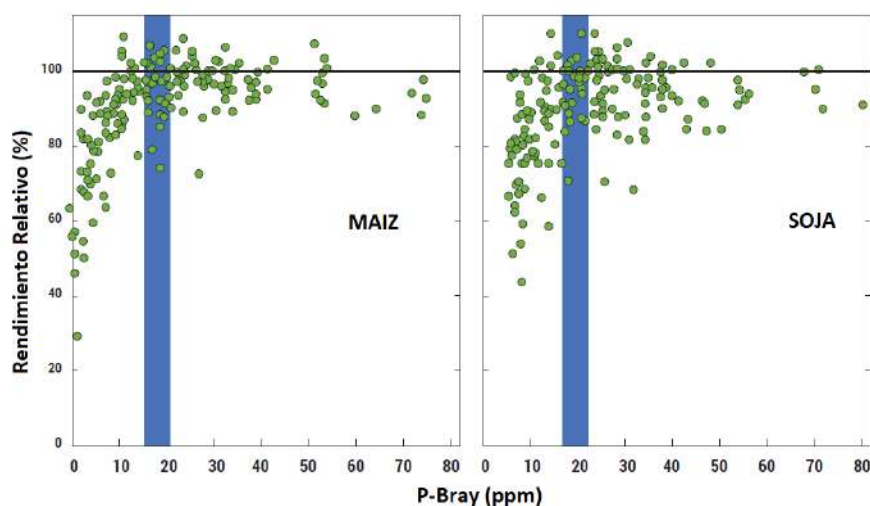


Figura 8. Relación entre el P-Bray y el rendimiento relativo del maíz y la soja (Mallarino, 1999)

Sin embargo, la asociación entre el rendimiento relativo de los cultivos y P-Bray suele ser baja (Correndo, 2018). Al igual que para N, el valor del umbral para P podría ser afectado por el potencial de rendimiento, la textura del suelo, el potencial de mineralización del suelo y el efecto del cultivo antecesor. En este sentido, Correndo (2018) observaron que el potencial de rendimiento no afectó el nivel crítico para maíz. Esto es esperable para nutrientes poco móviles como el P, que llegan a la planta mediante difusión e interceptación radicular. Así, plantas con mayor rendimiento y exploración radicular tienen más acceso a P, lo que puede compensar la mayor demanda de este nutriente (Dodd y Mallarino, 2005).

Respecto a la textura del suelo, los suelos con partículas finas tienen un umbral de P-Bray más bajo, para cultivos como trigo, soja y maíz (Bell et al. 2013; Correndo et al., 2018) (**Figura 9**). Dicho de otra manera, los cultivos presentan menor respuesta a la fertilización fosforada en suelos arcillosos que en arenosos. Esta tendencia puede deberse a dos factores: el potencial buffer de P del suelo y la materia orgánica. El potencial buffer del suelo se define como el cambio en la cantidad de P sorbido requerido por cambio unitario en la concentración de P en la solución. Para la calibración de análisis de suelo, el enfoque más comúnmente utilizado ignora los posibles efectos de la capacidad buffer de P del suelo sobre los niveles críticos (Moody et al., 2013). Por otra parte, los suelos de textura fina presentan un mayor contenido de materia orgánica, que puede potencialmente mineralizarse liberando P disponible para las plantas, que tampoco es tenido en cuenta por los métodos de diagnóstico.

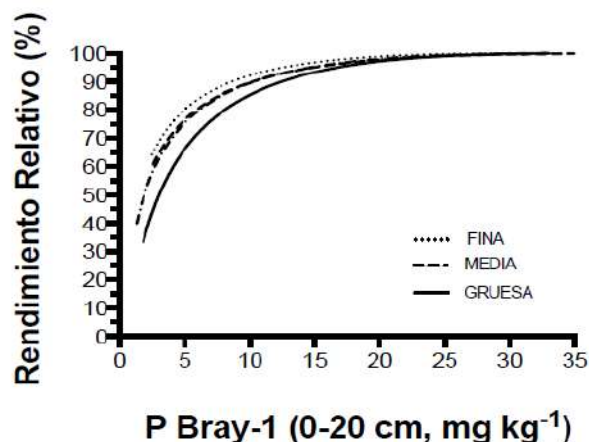


Figura 9. Relación entre el rendimiento relativo de maíz y el fósforo extractable Bray para suelos con diferente textura (n=377). Adaptado de Correndo (2018).

Aunque hasta el 80% del P total puede encontrarse en la fracción orgánica del suelo (Kellogg *et al.*, 2006), no existen en la actualidad métodos que permitan estimar de manera simple y económica el potencial de mineralización de P. Un indicador recientemente propuesto de la capacidad del suelo para suministrar P durante el ciclo de los cultivos mediante el proceso de mineralización es el contenido de P en la fracción particulada del suelo (Ciampitti *et al.*, 2011) (**Figura 10**). Se conoce como fracción particulada a aquella con un tamaño de partícula superior a los 53 μm y se caracteriza por poseer alta respuesta al manejo y alta contribución en la dinámica de los nutrientes. Sin embargo, estudios recientes realizados en la región pampeana no observaron relación entre el P en la fracción gruesa y el rendimiento relativo de la soja (Appelhans *et al.*, 2016) (**Figura 10**). Otra alternativa para estimar la mineralización de P sería utilizar el indicador Nan que, como fue previamente descrito, se ha empleado como un indicador de mineralización de S además de N. Sin embargo, esta alternativa no ha sido aún evaluada.

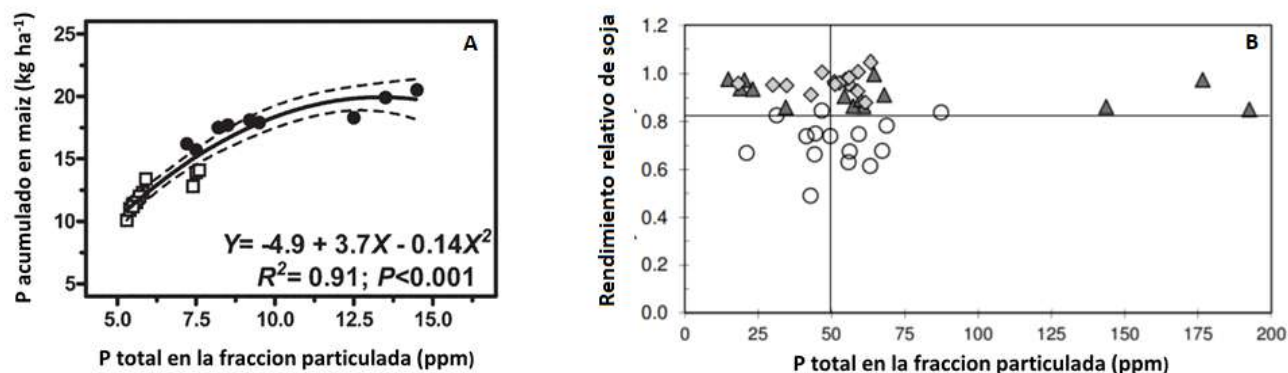


Figura 10. Relación entre el P total en la fracción particulada y A) el P absorbido por el maíz (Adaptado de Ciampitti *et al.*, 2011) y B) el rendimiento relativo de la soja (Adaptado de Appelhans *et al.*, 2016).

Por último, otra variable que podría afectar el valor de los umbrales de P-Bray es el efecto del cultivo antecesor. Por ejemplo, se ha demostrado que más del 40% del P liberado durante la descomposición de los residuos de cultivos de cobertura es recuperado por el siguiente cultivo, con una eficiencia de absorción similar a la de los fertilizantes minerales (Maltais-Landry et al., 2015). En la región pampeana, Varela et al. (2014) determinaron que la liberación de P de cultivos de cobertura previos a la siembra de soja hasta el periodo crítico de dicho cultivo fue de 4.5 kg/ha para avena, 4.7 kg/ha para centeno y 1.7 kg/ha para raigrás en 2009/2010. En 2010/2011, la liberación de P desde los cultivos de cobertura alcanzo valores de hasta 16.5 kg/ha, lo que representa un 68% de la demanda de un cultivo de soja de 3 tn/ha. Es evidente así, que la contribución del cultivo antecesor es muy variable dependiendo del cultivo y de las condiciones climáticas durante la estación de crecimiento entre otros factores. Por este motivo, sería importante incorporar a los modelos de diagnóstico de fertilización fosforada la contribución del P desde los residuos.

Cinc

A diferencia de N, S y P, el cinc (Zn) es un micronutriente, es decir, un nutriente que las plantas necesitan para su crecimiento y desarrollo, pero en baja concentración. En la Región Pampeana, la disponibilidad de Zn en los suelos ha disminuido entre un 40-70% respecto de sus niveles iniciales (Sainz Rozas et al., 2013). En este contexto, algunos estudios muestran la respuesta en rendimiento al agregado de este micronutriente en cultivos como trigo (Salvagiotti et al., 2012), maíz (Barbieri et al., 2017) y soja (Boga y Ramírez, 2014, Martínez Cuesta et al., 2016).

En la actualidad, se utilizan dos tipos de extractantes para la determinación de la disponibilidad de Zn en suelo: DTPA o Mehlich-3. Ambos métodos pueden ser utilizados, y sus resultados están relacionados (**Figura 11**; Martínez Cuesta, no publicado). Sin embargo, en algunos laboratorios se prioriza el uso del extractante Mehlich-3 porque permite extraer simultáneamente otros micronutrientes y macronutrientes como P, lo cual representa una ventaja como método de rutina.

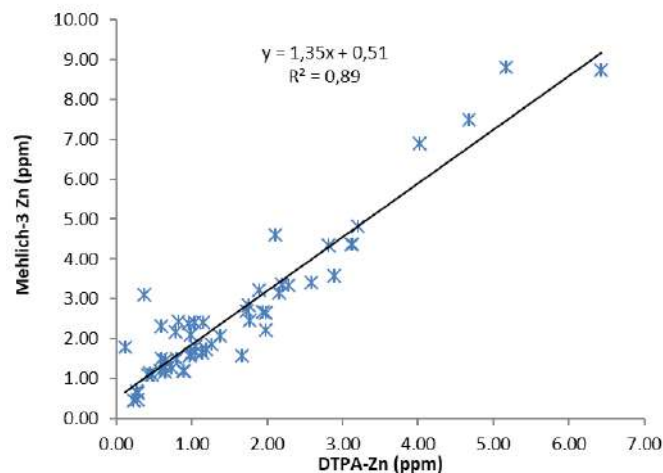


Figura 11. Relación entre el Zn extraído en suelo con Mehlich 3 o DTPA (Martínez Cuesta, no publicado).

Algunas variables que podrían afectar la respuesta de los cultivos a la fertilización con Zn son el: potencial de rendimiento, la textura del suelo, su pH, contenido de P Bray, contenido de materia orgánica y el efecto del cultivo antecesor. Al igual que para otros nutrientes poco móviles, se ha demostrado que el potencial de rendimiento no afecta la respuesta del cultivo de maíz a la fertilización (Barbieri et al., 2017) (**Figura 12**).

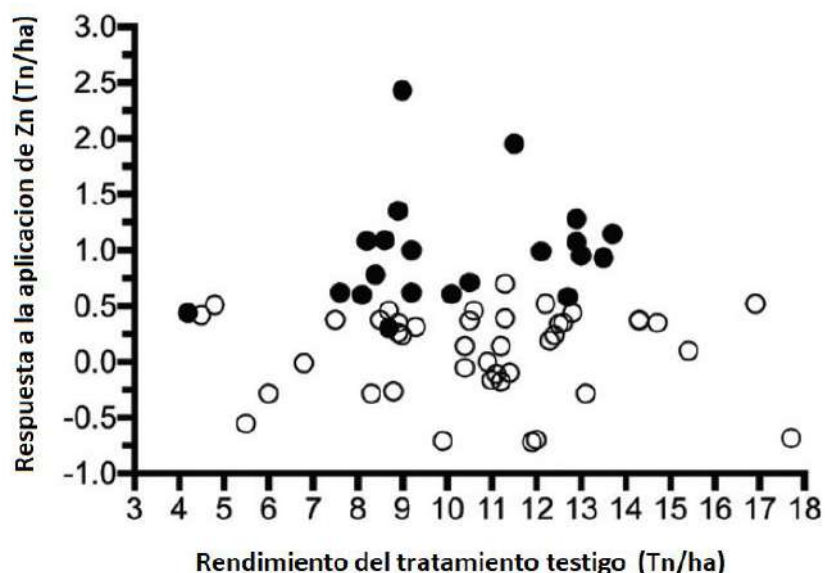


Figura 12. Relación entre el rendimiento del testigo de maíz (sin fertilización con Zn) y la respuesta del cultivo a la fertilización (Adaptado de Barbieri et al., 2017). Puntos negros: sitios con respuesta a Zn; puntos blancos: sitios sin respuesta a Zn.

Recientemente, Barbieri et al. (2017) evaluaron desarrollar un modelo de diagnóstico que incluya no solamente el valor de disponibilidad de Zn determinado por extracción con DTPA, sino también otras variables del suelo que afectan la disponibilidad de este nutriente en maíz (P Bray, pH, materia orgánica). Como resultado, se observó que la capacidad predictiva del modelo sólo mejoró con la inclusión de la materia orgánica, aunque la mejora fue leve. En este mismo estudio, se pudieron definir 3 rangos de valores de Zn -DTPA (**Figura 13**) con diferente probabilidad de respuesta a la fertilización: < 0.87 ppm alta probabilidad, de 0.87 a 1.30 ppm probabilidad media, > 1.3 ppm baja probabilidad.

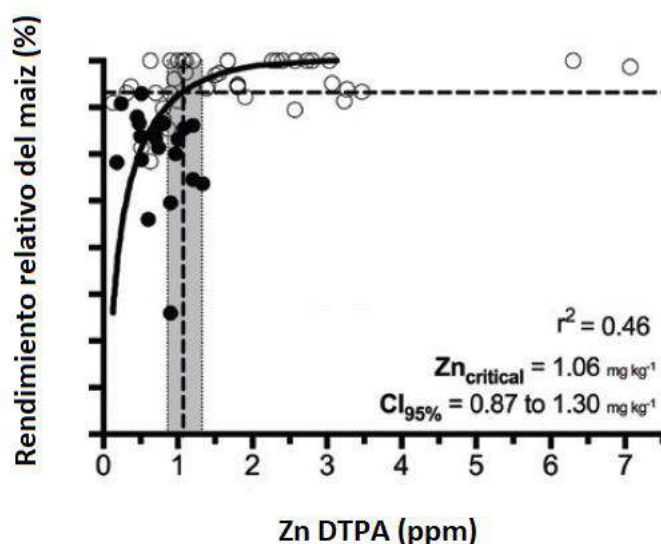


Figura 13. Relación entre el rendimiento relativo de maíz (rendimiento del tratamiento fertilizado en comparación al no fertilizado con Zn) y la concentración de Zn DTPA en el suelo. Puntos negros: sitios con respuesta a Zn; puntos blancos: sitios sin respuesta a Zn (Barbieri et al., 2017).

Por último, el cultivo antecesor no tiene un efecto directo sobre la disponibilidad de Zn, ya que la concentración de dicho nutriente en residuos es baja. Sin embargo, la historia de manejo de los cultivos puede afectar la disponibilidad de Zn. En suelos de Balcarce, Crespo (datos no publicados) demostró que la disponibilidad de Zn-DTPA en suelo para soja fue superior para lotes donde durante un periodo de 9 años se implantaron de manera anual cultivos de cobertura (2.08 ppm) respecto a otros con monocultivo de soja (1.97 ppm). Esto se debería a una redistribución del Zn del suelo desde fracciones no disponibles a otras lábiles asociadas al contenido de materia orgánica.

Conclusiones

La interpretación de los análisis de suelo y, por lo tanto, el diagnóstico de la disponibilidad de nutrientes puede ser mejorado considerando, entre otros, los siguientes factores: 1- el potencial de rendimiento, 2- la textura del suelo, 3- el potencial de mineralización del suelo y 4- el efecto del cultivo antecesor.

1. Para nutrientes móviles como N y S, el mayor potencial de rendimiento resulta en una mayor respuesta a la fertilización, a diferencia de lo observado en nutrientes poco móviles como P y Zn cuya respuesta no se asocia al potencial.
2. En el caso de la textura, esta propiedad del suelo afecta el umbral de disponibilidad de P, pero no el de N.
3. El aporte de nutrientes desde la fracción orgánica del suelo (mineralización en suelo) debe ser considerado en el diagnóstico de fertilidad para N y S mediante el empleo del índice Nan. Sin embargo, aun es necesario desarrollar índices que permitan predecir el aporte por mineralización de P.
4. El aporte por mineralización desde los residuos del cultivo antecesor deberían ser tenidos en cuenta en el diagnóstico de fertilización con N, S y P.

Bibliografía

- Appelhans S.C., R.J. Melchiori, P.A. Barbagelata, y L.E. Novelli.** 2016. Assessing organic phosphorus contributions for predicting soybean response to fertilization. *Soil Sci. Soc. Am.* 80:1688-1697.
- Barbazán M y F.O. García.** 2015. Evaluación de la fertilidad y recomendación de fertilización. Pp: 379-399. En: H.E. Echeverría, y F.O. García (eds). En *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Barbieri P.A., H.R. Sainz Rozas, N. Wyngaard, M. Eyherabide, N.I. Reussi Calvo, F. Salvagiotti, A.A. Correndo, P.A. Barbagelata, G.P. Espósito Goya, J.C. Colazo y H.E. Echeverría.** 2017. Can edaphic variables improve DTPA-based zinc diagnosis in corn? *Soil Sci. Soc. Am. J.* 81:556-563.
- Bell M.J., P.W. Moody, G.C. Anderson; y W. Strong.** 2013. Soil phosphorus—crop response calibration relationships and criteria for oilseeds, grain legumes and summer cereal crops grown in Australia. *Crop and Pasture Science* 64:499–513.
- Boga L. y H. Ramirez.** 2014. Efecto de la fertilización con fósforo, azufre y zinc en el cultivo de soja en la región pampeana norte de argentina. *Informaciones Agronómicas De Hispanoamérica, Ipni*, N° 16. Pp. 17-20.
- Bray, R.H. y L. Kurtz.** 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59: 39-46.
- Camberato, J., S Maloney y S Casteel.** 2012. Sulfur deficiency in corn. [en línea] <www.kingcorn.org/news/timeless/SulfurDeficiency.pdf> [consulta: 13 junio 2017].
- Carciochi, W.D., N. Wyngaard, G.A. Divito, N.I. Reussi Calvo, M. Cabrera y H.E. Echeverría.** 2016. Diagnosis of sulfur availability for corn based on soil analysis. *Biol. Fert. Soils* 52:917-926.
- Carretero, R., P.A. Marasas, E. Souza y A. Rocha, A.** 2016. Conceptos de utilidad para lograr un correcto muestreo de suelos. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*. 21:1-11.
- Ciampitti I.A., F.O. García, L.I. Picone y G. Rubio.** 2011. Soil carbon and phosphorus pools in field crop rotations in Pampean soil of Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 75:616-625.
- Ciampitti I.A., J.J. Camberato, S.T. Murrell y T.J. Vyn.** 2013. Maize Nutrient Accumulation and Partitioning in Response to Plant Density and Nitrogen Rate: I. Macronutrients. *Agron. J.* 105:783–795.
- Correndo A.** 2018. Variables asociadas a la respuesta a la fertilización con N y P en maíz y soja en región pampeana. Tesis de maestría en producción vegetal. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Pp. 170.
- Correndo A., F. H. Gutiérrez-Boem, F. O. García, y F. Salvagiotti.** 2018. Attainable yield and soil texture as drivers of pre-plant Nitrogen test performance in corn in the Argentinean pampas. *ASA-CSSA Meetings*. Baltimore, Maryland, EE.UU.
- Diez S.N., G.F. Domínguez y G.A. Studdert.** 2012. Uso de una leguminosa como alternativa de provisión de nitrógeno para el cultivo de maíz (*Zea mays* L). *Actas 19° Congreso Latinoamericano y 23° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina, abril 2012. En CD.
- Diez S.N.** 2017. Cultivos puente: efecto sobre la disponibilidad de agua y de nitrógeno para un cultivo de maíz. Tesis de maestría en producción vegetal. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Pp. 70.
- Dodd J.R. y A.P. Mallarino.** 2005. Soil-test phosphorus and crop grain yield responses to long-term phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69:1118-1128.
- García O.G., L.I. Picone y I.A. Ciampitti, I.A.** 2015. Fósforo. Pp. 229-264. En: Echeverría H.E. y F.O. García (eds.). *Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos*. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina.
- Genovese M.F., H.E. Echeverría, G.A. Studdert y H.R. Sainz Rozas.** 2009. Nitrógeno de amino-azúcares en suelo: calibración y relación con el nitrógeno incubado anaeróbico. *Cienc. Suelo*. 27:225-236.
- Kellog L.E., S.D. Bridgham y D. Lopez-Hernandez.** 2006. A comparison of four methods of measuring gross phosphorus mineralization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70:1349-1358.
- Mallarino A.P.** 1997. Interpretation of soil phosphorus tests for corn in soils with varying pH and calcium carbonate content. *J. Prod. Agric.* 10:163-167.
- Mallarino, A.** 1999. *Proc. Integrated crop management conf.* pp 185-192. Iowa state Univ. Extension, Ames.
- Maltais-Landry G. y E. Frossard.** 2015. Similar phosphorus transfer from cover crop residues and water-soluble mineral fertilizer to soils and a subsequent crop. *Plant Soil* 393: 193-205.
- Martínez Cuesta, N., W. Carciochi, H.R. Sainz Rozas, P. Barbieri, S. Silva, F. Salvagiotti y F. Ferraris.** 2016. Tecnologías de fertilización con cinc: concentración y exportación del nutriente en granos de soja. *Resúmenes y mesas redondas, XXV CACS*. Pp. 207.
- Moody P.W., S.D. Speirs, B.J. Scott y S.D. Mason.** 2013. Soil phosphorus tests I: What soil phosphorus pools and processes do they measure? *Crop and Pasture Science* 64, 461–468.
- Orcellet, J.M., N.I. Reussi Calvo, H.R. Sainz Rozas, N. Wyngaard y H.E. Echeverría.** 2017. Anaerobically incubated nitrogen improved nitrogen diagnosis in corn. *Agronomy Journal* 109: 291-298.

- Pagani A. y H.E. Echeverría.** 2011. Performance of sulfur diagnostic methods for corn. *Agron J.* 103:413-421.
- Prystupa P., F. Gutierrez Boem, F. Salvagiotti, G. Ferraris y L. Couretot.** 2006. Measuring corn response to fertilization in the Northern Pampas. *Better Crops.* 90: 25-27
- Reussi Calvo N.I., H.E. Echeverría y H. Sainz Rozas.** 2006. Respuesta del cultivo de trigo al agregado de azufre en el sudeste bonaerense. *Cienc Suelo.* 24:77-87.
- Reussi Calvo N.I., N. Wyngaard, J.M. Orcellet, H.R. Sainz Rozas y H.E. Echeverría.** 2018. Predicting field apparent nitrogen mineralization from anaerobically incubated nitrogen. *Soil Science Society of America Journal* 82:502-508.
- Sainz Rozas H.R., M. Eyherabide, H.E. Echeverría, H. Angelini, G.E. Larrea, G.N. Ferraris y M. Barraco.** 2013 ¿Cuál es el estado de la fertilidad de los suelos argentinos? En: Gracia, F.; Correndo, A. (Eds.). Simposio Fertilidad 2013: Nutrición de cultivos para la intensificación productiva sustentable. 22-23 De Mayo 2013. Rosario. IPNI Cono Sur-Fertilizar Ac: 62-72.
- Salvagiotti F., J. Castellarin y F. Ferraguti.** 2012. Respuesta a la fertilización con zinc y boro en el cultivo de trigo en el sur de santa fe. Para mejorar la producción número 47 - INTA EEA Oliveros.
- San Martín N. y H.E. Echeverría.** 1995. Sulfato en suelos del Sudeste Bonaerense. *Cienc Suelo* 13:95-97
- Varela M.F., C.M. Scianca, M.A. Taboada y G. Rubio.** 2014. Cover crop effects on soybean residue decomposition and P release in no-tillage systems of Argentina. *Soil and Tillage Research*, 143: 59-66.
- Wyngaard N. y M.L. Cabrera.** 2015. Measuring and estimating sulfur mineralization potential in soils amended with poultry litter or inorganic fertilizer. *Biol Fertil Soils.* 51: 545-552.