

Manuel-Navarrete, D., G. Gallopín, M. Blanco, M. Díaz-Zorita, D.O. Ferraro, H. Herzer, P. Lateral, J. Morello, M.R. Murmis, W. Pengue, M. Piñeiro, G. Podestá, E.H. Satorre, M. Torrent, F. Torres, E. Viglizzo, M.G. Caputo, y A. Celis. 2005. Análisis sistémico de la agriculturización en la pampa húmeda argentina y sus consecuencias en regiones extrapampeanas: sostenibilidad, brechas de conocimiento e integración de políticas. CEPAL. Serie Medio Ambiente y Desarrollo N° 118. Santiago de Chile, Chile. pp. 65.

Manuel-Navarrete, D., G. Gallopín, M. Blanco, M. Díaz-Zorita, D.O. Ferraro, H. Herzer, P. Lateral, M. Murmis, G. Podestá, J. Rabinovich, E. Satorre, F. Torres, y E. Viglizzo. 2009. Multi-causal and integrated assessment of sustainability: the case of agriculturization in the Argentine Pampas. Environment, Development and Sustainability 11:612-638.

Norsys Software Corp. 2009. Netica. www.norsys.com

Rimski-Korsakov, H., G. Rubio, y R.S. Lavado. 2004. Potential nitrate losses under different agricultural practices in the pampas region, Argentina. Agricultural Water Management 65:83-94.

Rositano, F., y D.O. Ferraro. 2014. Ecosystem services provided by agroecosystems: A qualitative and quantitative assessment of this relationship in the Pampa region, Argentina. Environmental Management 53(3):606-619.

Rositano, F., y D.O. Ferraro. 2017. Una nueva aproximación metodológica basada en redes conceptuales y redes probabilísticas para evaluar la provisión de servicios de los ecosistemas. Ecología Austral 27:10-17.

Satorre, E.H. 2005. Cambios tecnológicos en la agricultura argentina actual. Ciencia Hoy 15:24-31.

Profundidad de muestreo para el análisis de nitrato en suelos del sudoeste de Buenos Aires, Argentina

Josefina P. Zilio^{*1}, Franco F. Frolla¹ y Hugo R. Krüger¹

- El contenido de nitrógeno (N) como nitrato (N-nitrato) a 0-60 cm es el método diagnóstico más utilizado para realizar el ajuste de la fertilización nitrogenada en varios cultivos de la región pampeana argentina. Sin embargo, el muestreo de todo el estrato no siempre es posible por distintas razones operativas.
- El análisis de datos de 5 campañas en el SO de Buenos Aires permitió generar la ecuación de predicción más confiable utilizando como estimador el contenido de N-nitrato en 0-40 cm. En promedio, el estrato 0-60 cm contiene un 29% más de N que a 0-40 cm.
- El contenido de N-nitrato a 0-20 cm resultó un estimador significativamente menos confiable.

En el área de influencia de la EEA Bordenave, que abarca 9 distritos ubicados en el SO bonaerense de Argentina (**Figura 1**), los cultivos de trigo y cebada concentran más de 448 000 ha, representando el 14% del área sembrada y el 11% de la producción cerealera provincial (Ministerio de Agroindustria-MA, 2016). A pesar que estos números resultan relativamente bajos a escala nacional, el impacto de estos cultivos es muy alto en las economías regionales, en especial en los distritos del oeste. Mientras que la superficie dedicada a estos cultivos es cercana al 52% en los distritos subhúmedos, la cifra asciende a 90% en la zona semiárida (cálculos propios en base a datos de MA, 2016).

Los factores más limitantes en la producción de estos cereales son la disponibilidad de agua, N y fósforo (P). Para diagnosticar la fertilidad de un lote y poder corregir las deficiencias de nutrientes, es necesario realizar un correcto análisis de suelo. En este sentido, el contenido de N-nitrato es el método diagnóstico más utilizado para realizar el ajuste de la fertilización nitrogenada en varios cultivos de la región pampeana argentina.

Es conocida la influencia de la humedad y la temperatura en la disponibilidad de N en el suelo, ya que marcan la velocidad de mineralización y liberación desde la materia orgánica. Además, el nitrato es altamente soluble en la solución edáfica y susceptible de ser lixiviado hacia capas más profundas. A dicha pérdida, también se le pueden sumar aquellas ocasionadas por desnitrificación, cuya magnitud dependerá de las condiciones ambientales, principalmente humedad y temperatura, ya que regulan los procesos microbianos que le dan origen. Estas características obligan a realizar los muestreos cercanos al momento de la fertilización.

Una consulta frecuente es la profundidad de muestreo. La profundidad más ampliamente recomendada es el muestreo hasta los 60 cm, ya que el contenido de nitrato en dicho espesor correlaciona estrechamente con el rendimiento, especialmente para las gramíneas como el trigo o el maíz. Para el primero, diferentes investigadores determinaron el nivel umbral crítico de N-nitrato medido a 60 cm de profundidad para la obtención de rendimientos determinados según zona productiva

¹ INTA EEA Bordenave

* Autor de contacto. Correo electrónico: zilio.josefina@inta.gob.ar



Figura 1. Área de influencia de la EEA INTA Bordenave, Buenos Aires, Argentina.

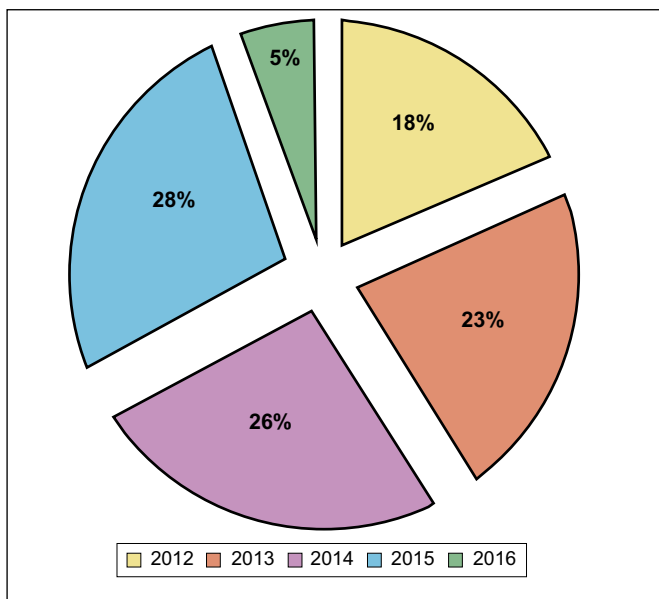


Figura 2. Distribución temporal de las muestras de suelo para N-nitrato que conformaron la base de datos analizada (n = 1348). Laboratorio de Análisis de Suelos, EEA INTA Bordenave. Campañas 2012-2016.

(Echeverría y García, 2015). Por otra parte, se reciben consultas sobre la posibilidad de muestrear en capas más superficiales, sobre todo cuando los tiempos operativos son reducidos y no se cuenta con buenas condiciones edáficas (ya sea anegamiento o, por el contrario, suelos duros o compactados). Con respecto a ello, la bibliografía muestra relaciones entre la concentración de N-nitrato entre la capa 0-60 cm y capas más superficiales (Barbieri et al., 2009; Bono y Alvarez, 2007) lo que permitiría estimar, aunque con ciertos recaudos, la cantidad de N en el perfil hasta los 60 cm, realizando un muestreo a 0-20 y 20-40

cm, respectivamente. Los valores que suelen utilizarse corresponden generalmente a otras zonas productivas, por lo que resultaba necesario realizar un ajuste para la zona de influencia de la EEA INTA Bordenave.

Para disponer de información sobre la relación entre la cantidad de N-nitrato entre la capa 0-60 cm y capas más superficiales en la región (0-20 y 0-40 cm), se utilizó la base de datos del Laboratorio de Análisis de Suelos de la EEA INTA Bordenave correspondiente a las campañas 2012-2016 (Figura 2). Luego del análisis de residuales, se procedió a la eliminación de datos ajenos a la población (*outliers*) según el método de residuos estudentizados (Di Rienzo et al., 2012). La base de datos quedó conformada por 1348 muestras, todas con análisis de N-nitrato a 0-20, 20-40 y 40-60 cm de profundidad. Excepto la campaña 2016, con menor cantidad de muestras, las campañas presentaron una frecuencia relativa similar. Los meses más frecuentes fueron mayo, junio y septiembre, coincidentes con la siembra y el macollaje avanzado del cultivo de trigo y cebada. El análisis de los datos se realizó a través de regresiones lineales simples, utilizando el programa estadístico INFOSTAT® (Di Rienzo et al. 2012).

Luego de utilizar el contenido de N-nitrato 0-20 y 0-40 cm como predictores del valor de N-nitrato a 0-60 cm, se compararon parámetros de ambas regresiones para definir la más conveniente. Se observa que N-Nitrato a 0-40 cm presentó, respecto de 0-20 cm, menores valores del error estándar (EE) de la ordenada al origen (a) como de la pendiente de la regresión (b), como así también un menor valor del Cuadrado Medio del Error (CME) y un mayor coeficiente de determinación (R^2). Esto finalmente se traduce en una mayor precisión en la predicción del valor a 0-60 cm (Tabla 1).

Si bien el ajuste de la regresión a partir del contenido N-nitrato 0-20 fue bueno ($R^2 = 0.85$), la estimación del valor real resalta una falta de precisión que podría derivar en una recomendación errónea por sub o sobreestimar el valor real de N en el suelo (Figura 3A). En cambio, la relación existente entre el contenido de N-nitrato medido en la capa 0-60 cm con respecto al medido en la capa 0-40 cm (Figura 3B) presenta un ajuste más preciso ($R^2 = 0.98$). Tanto la pendiente de la regresión como la ordenada al origen resultaron altamente significativas ($p < 0.0001$), lo que define la Ecuación 1:

$$N-NO_3 (0-60 \text{ cm}) = 1.29*(N-NO_3 0-40) + 1.03 \quad \text{Ec. 1}$$

La pendiente de la ecuación ($a = 1.29$) es el factor por el cual debe multiplicarse el contenido de nitrato en la capa 0-40 cm para estimar el contenido a 0-60 cm y continuar con los cálculos de fertilización. Es decir, que el contenido en la capa 0-60 es 29% mayor que aquel que se mide en los primeros 40 cm de suelo. Valores similares fueron reportados por Barbieri et al. (2009) quienes encontraron que dicho factor osciló entre 1.24 y 1.28 para muestreos de siembra y macollaje respectivamente, sobre Argiudoles típicos del SE bonaerense. Bono y Alvarez (2007), trabajando sobre suelos de distintas

Tabla 1. Comparación de algunos parámetros del análisis de regresión para estimar el contenido de N-nitrato a 0-60 cm.

Parámetro	Predictor	
	0-20 cm	0-40 cm
Ordenada al origen (a)	8.13	1.03
EE (a)	0.79	0.31
Pendiente (b)	2.00	1.29
EE (b)	0.02	0.01
CME	168.73	24.05

Tabla 2. Comparación del intervalo de predicción del contenido de N-nitrato a 0-60 cm en base al contenido en dos estratos más superficiales 0-20 cm y 0-40 cm. Datos de 5 campañas (2012-2016) provistos por LABOR, EEA INTA Bordenave.

Parámetro	N-nitrato	
	0-20 cm	0-40 cm
Mediana	28.0	49.6
N-nitrato a 0-60 cm (estimado)	64.1	65.0
Valor mínimo estimado	38.7	55.4
Valor máximo estimado	89.7	74.6

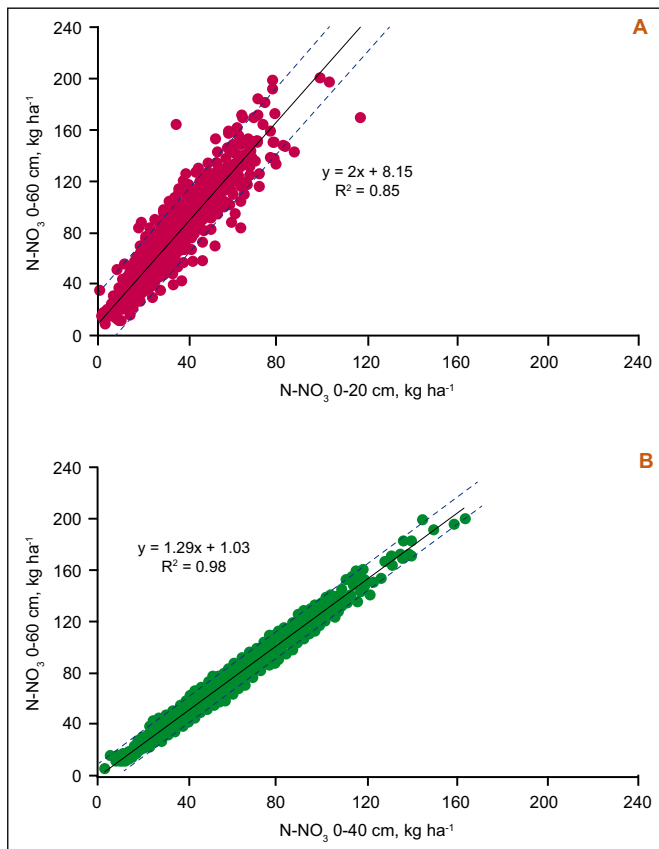


Figura 3. Predicción del contenido de N-nitrato a 0-60 cm de profundidad en función del contenido a profundidades menores de muestreo (A: 0-20 cm, B: 0-40 cm). Datos de 5 campañas (2012-2016) provistos por LABOR, EEA INTA Bordenave. En ambos casos, las líneas punteadas indican el intervalo de predicción.

características, encontraron que el contenido de nitrato a 0-60 cm resultó 2.35 veces mayor que el medido a 0-20 cm, tanto para el cultivo de trigo como el de girasol.

Para ejemplificar la diferencia en el poder predictivo de ambas regresiones, se presentan los intervalos de predicción calculados en base a la mediana de cada profundidad (Tabla 2). Puede notarse que el rango dentro del cual se encuentra el valor real del contenido de N-nitrato 0-60, es más estrecho cuando se utiliza la ecuación que involucra el estrato 0-40 cm respecto de cuando se utiliza la medida tomada a 0-20 cm.

Se concluye que, de no ser posible el muestreo de todo el estrato de interés (0-60 cm), el contenido de N-nitrato en la región SO de Buenos Aires puede ser estimado a partir del contenido de N-nitrato a 0-40 cm con un nivel de error relativamente aceptable. No obstante, para valores extremos, la predicción podría conducir a interpretaciones erróneas en el consejo de fertilización.

Bibliografía

- Barbieri, P., H.E. Echeverría, y H.R. Sainz Rozas. 2009. Nitratos en el suelo a la siembra o al macollaje como diagnóstico de la nutrición nitrogenada en trigo en el sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 27:41-47.
- Bono, A., y R. Alvarez. 2007. Estimación de nitratos en profundidad en suelos de la región semiárida y subhúmeda pampeana. *Informaciones Agronómicas* 33:25-26.
- Di Rienzo, J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. González, M. Tablada., y C.W. Robledo. 2012. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Echeverría, H.E., y F.O. García. 2015. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. 2° ed. INTA Ediciones- Colección Investigación, desarrollo e innovación.
- Ministerio de Agroindustria (MA). 2016. Sección estimaciones agrícolas. Resumen de campañas 2005/6-2015/6. Disponible en: www.agroindustria.gov.ar



Determinación de nitrato en laboratorio