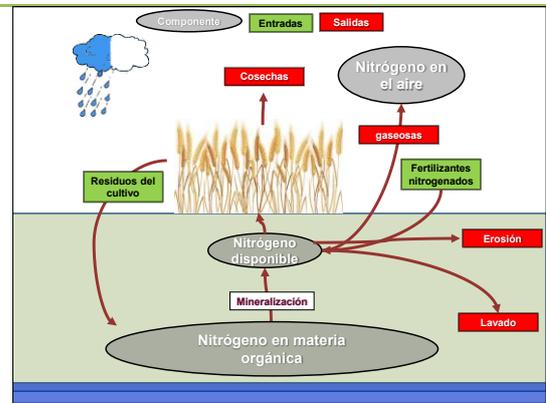


Nitrógeno del suelo: desde la materia orgánica al cultivo

Juan Manuel Martínez y Juan A. Galantini

Una cantidad importante del nitrógeno que toma el cultivo proviene de la materia orgánica del suelo. Una parte estará disponible al momento de la siembra (nitratos y amonio) y otra se liberará con la descomposición de la materia orgánica durante el ciclo del cultivo. El diagnóstico de la necesidad de fertilización debe contemplar ambos aportes para mejorar la eficiencia de uso de este nutriente, aumentar la productividad y minimizar efectos ambientales adversos.



El SO Bonaerense se caracteriza por la erraticidad en las precipitaciones, donde el promedio anual que oscila entre 500 a 700 mm, con gran variabilidad de ocurrencia y dos picos anuales tanto en el otoño como en la primavera (Glave, 2006). Debido a estas características climáticas, la optimización de la aplicación de fertilizantes es más difícil en las regiones semiáridas y subhúmedas. En estos casos, adecuar las aplicaciones a las condiciones de fertilidad particulares y al potencial de rendimiento esperado permitiría optimizar la fertilización. El diagnóstico de la necesidad de fertilizante nitrogenado del cultivo debería contemplar tanto la disponibilidad de nitrógeno (N) inorgánico en el suelo al momento de la siembra como el que se mineralizaría durante la estación de crecimiento del cultivo.

Ciclo del nitrógeno

El ciclo del N reviste gran complejidad por la gran cantidad de interacciones entre las principales fuentes y flujos frente a las condiciones variables del suelo y de la planta. Las transformaciones más importantes en este ciclo biogeoquímico dentro de los sistemas productivos son la mineralización, inmovilización y las pérdidas por las diferentes vías. La mineralización de N de la materia orgánica (MO), que consiste en la transformación del N orgánico a formas asimilables por las plantas, es uno de los aspectos de mayor importancia desde punto de vista productivo, económico y ambiental.

Metodologías para medir la mineralización

La mayoría de las estimaciones del aporte por mineralización se basan en incubaciones aeróbicas, con condiciones controladas por períodos prolongados. Esta metodología permite

determinar la fracción del N del suelo que es susceptible de ser transformada a formas minerales, también denominada nitrógeno potencialmente mineralizable (N_0). El N_0 es la fracción del N orgánico considerada como una estimación estandarizada de la mineralización potencial del suelo (Stanford & Smith, 1972).

Desde largo tiempo se han desarrollado diversos métodos químicos y biológicos, rápidos y sencillos para identificar el potencial de mineralización proveniente del N orgánico, que han tenido diversos niveles de éxito. Entre los métodos químicos, podemos citar al obtenido mediante una extracción química con soluciones salinas débiles y soluciones más fuertes (Gianello & Bremner, 1986), con posterior destilación. En las zonas semiáridas la determinación de $N-NO_3$ es comúnmente utilizada para estimar los requerimientos de fertilizante nitrogenado. Considerando zonas con limitaciones hídricas, donde la lixiviación puede ser menor, Spargo et al. (2009) han recomendado a este como un indicador promisorio del potencial de mineralización. Los extractantes químicos no pueden emular la acción de los microorganismos, ni logran incluir factores ambientales. En cambio, los índices biológicos como lo son las incubaciones anaeróbicas, son importantes debido a su sensibilidad y rápida respuesta para evidenciar cambios que se producen en el suelo por el manejo (Fabrizzi et al., 2003). Por otra parte, los métodos a campo tienen el potencial de incluir los efectos de los factores que regulan en la tasa de mineralización. Debido a esto podrían ser más certeros, porque además de que integran los factores ambientales, también incluyen la calidad del sustrato. La principal desventaja que presentan es la especificidad de los datos para sitios y condiciones climáticas específicas (Nyiraneza et al., 2011). Por tanto, es útil comparar índices de mineralización de N del suelo con la disponibilidad de una medida basada en ensayos a campo. El objetivo de este trabajo fue evaluar diferentes metodologías para determinar el N potencialmente mineralizable, evaluar la relación con los diferentes indicadores con el N_0 y evaluar cuáles son los principales factores que lo afectan.

Aspectos metodológicos

Durante los años 2010, 2011 y 2012 se muestrearon nueve lotes de productores, donde se realizaron ensayos de fertilización de N sobre trigo (*Triticum aestivum* L.) con dosis variables aplicadas al momento de la siembra. Previo a la siembra del cultivo, se recolectaron muestras de suelo de 0-20 y 20-60 cm de profundidad en lotes de productores de la Regional AAPRESID-Bahía Blanca, ubicados en el SO de la Región Pampeana (Figura 1). Se determinaron las fracciones orgánicas: carbono orgánico total (COT), N total (Nt), carbono

orgánico (COP) y N orgánico particulado (NOP) mediante fraccionamiento físico por tamaño de partícula (malla de 53 μm) (Duval et al., 2013) y determinación del C y N por combustión seca. Las características de los suelos muestreados se detallan en la Tabla 1.

Se realizó la incubación aeróbica de largo plazo (21-24 semanas), y luego se determinó por modelos no lineales el N_0 (Stanford & Smith, 1972). Además, se realizaron dos metodologías rápidas para estimar la mineralización potencial de N de los suelos - una biológica y otra química- y se determinó la concentración N en forma de nitratos ($N\text{-NO}_3$). La metodología biológica, se basó en una incubación anaeróbica (Nan) del suelo con agua durante 7 días a 40°C (Waring & Bremner, 1964), mientras que la química (Nhid), en una hidrólisis del suelo con KCl 2M a 100°C durante 4 hs (Gianello & Bremner, 1986). La mineralización a campo, se calculó mediante el método del balance en las parcelas sin aplicación de N (Álvarez & Steinbach, 2010). Al final del ciclo del cultivo se obtuvieron muestras de biomasa para estimar el rendimiento de materia seca aérea. Sobre el material vegetal se determinó el N total mediante el método Kjeldahl (Bremner, 1996), a partir del cual se estimó el N total en los residuos de cosecha para cuantificar la extracción total de N (kg ha^{-1}) por la planta. Se determinó el N inorgánico en 0-60 cm al momento de la siembra del cultivo y en madurez fisiológica. Las pérdidas de N del suelo fueron consideradas como insignificantes, ya que la lixiviación, desnitrificación y volatilización fueron despreciables por las condiciones climáticas y las edáficas. Se utilizó la siguiente ecuación:

$$N_{\text{min}} (\text{kg ha}^{-1}) = (N_{\text{if}} + N_{\text{abs}}) - (N_{\text{ii}})$$

N_{min} = Mineralización aparente de N

N_{if} = N inorgánico final (cosecha)

N_{ii} = N inorgánico inicial (siembra)

N_{abs} = N absorbido por cultivo trigo a madurez fisiológica en parte aérea y raíz

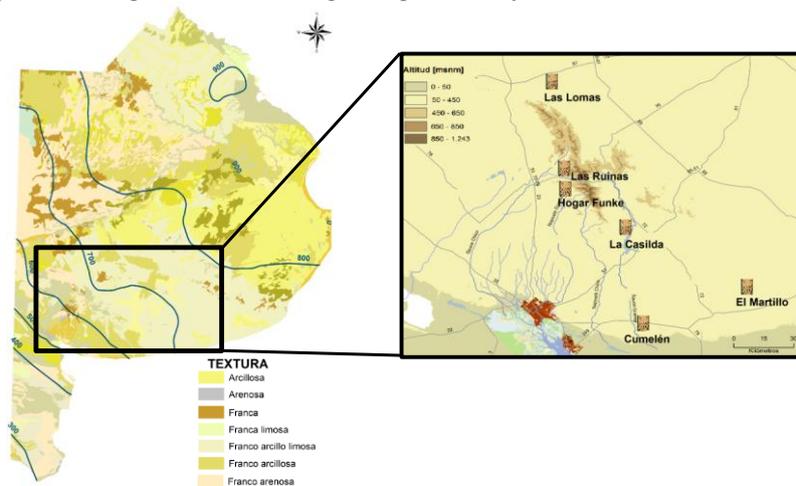


Figura 1. Ubicación de los sitios muestreados según textura y altitud.

Tabla 1. Características generales de los sitios muestreados

Año	Localidad	Establecimiento	Clasificación taxonómica	Pp.	COT	Nt	COP	NOP
				mm				
2010	Tornquist	Hogar Funke (T1)	Argiudol Típico	695	14,6	1,4	8,4	0,42
2010	Las Oscuras	Cumelén (LO1)	Argiustol Típico	533	13,9	1,3	3,4	0,19
2010	Tornquist	Las Ruinas (T2)	Argiudol Típico	550	13,5	1,2	5,6	0,41
2011	Las Oscuras	Cumelén (LO2)	Argiustol Típico	470	13,2	1,2	0,9	0,14
2011	Cnel Dorrego	El Martillo (CD)	Argiustol Típico	648	16,5	1,5	2,8	0,27
2011	Tornquist	Hogar Funke (T3)	Argiudol Típico	777	13,8	1,4	2,6	0,14
2012	Las Oscuras	Cumelén (LO3)	Argiustol Típico	624	13,7	1,2	2,2	0,17
2012	Pigue	Las Lomas (P)	Argiudol Típico	1045	34,0	2,6	8,4	0,61
2012	Saldungaray	La Casilda (S)	Argiustol Típico	694	15,5	1,3	3,9	0,33

Pp. Precipitaciones anuales medias; COT, carbono orgánico total; Nt, N total de los suelos; COP, carbono orgánico particulado; NOP, nitrógeno orgánico particulado.

Resultados y discusión

Los resultados de los índices estudiados se encuentran en la Tabla 2. Se encontraron rangos amplios en los valores de N_0 con valores máximos de 215,3 mg kg⁻¹ y mínimos de 29,9 mg kg⁻¹. Estos valores se encuentran en los citados por otros autores (Nyiraneza et al., 2011). Considerando un valor promedio de densidad aparente de estos suelos de 1,3 Mg m⁻³ y la capa de suelo muestreada (0-20 cm), estos resultados indicarían un potencial de N mineralizable que oscilaría entre 77 y 560 kg N ha⁻¹. Teniendo en cuenta que en estas regiones los rendimientos promedios de los cultivos mayormente utilizados (trigo y cebada (*Hordeum vulgare* L.)) son de aproximadamente 2000 kg ha⁻¹, y de acuerdo a los requerimientos de N de los cultivos (33 y 22 kg N por tonelada de grano para trigo y cebada, respectivamente), los aportes de N provenientes de la mineralización realizarían un aporte importante en los cultivos preponderantes de estas región. Los demás indicadores demostraron una gran variabilidad similar a la hallada en el N_0 , lo que demuestra que a pesar de que los suelos son de una misma región poseen variabilidad en las propiedades edáficas.

Tabla 2. Indicadores de la mineralización de nitrógeno de los sitios muestreados

Establecimiento	N_0	Nan	Nhid	N-NO ₃	Nmin	Nabs
	mg kg ⁻¹				kg ha ⁻¹	
T1	153,3	41,5	67,2	11,2	53,9	40,9
T2	139,0	25,2	10,7	27,5	66,9	45,9
T3	117,5	99,4	36,9	18,2	146,2	37,7
LO1	109,4	42,5	34,5	23,3	61,1	117,0
LO2	29,9	32,2	25,7	14,0	73,1	31,1
LO3	50,0	27,1	25,2	20,3	41,2	66,9
CD	130,3	61,1	34,1	17,7	141,4	87,4
P	215,3	70,9	47,1	23,1	35,6	62,9
S	113,2	74,2	46,2	25,2	48,7	59,1

N_0 ; N potencialmente mineralizable; Nan, N anaeróbico; Nhid, N lábil químico menos el N inicial; N-NO₃, N de nitratos; Nmin, mineralización aparente de N; Nabs, N absorbido por trigo en madurez fisiológica.

Cuando se evaluaron las relaciones entre el N_0 con los indicadores de mineralización, se hallaron correlaciones significativas ($p < 0,05$) del N_0 solamente con N_{an} ($r = 0,39$) y con N_{hid} ($r = 0,41$). Sin embargo, no se hallaron asociaciones con los demás indicadores químicos y biológicos determinados en campo. A pesar de estas relaciones, el coeficiente de determinación (R^2) en ambos casos fue bajo ($R^2 < 0,17$), por lo que no se podrían utilizar estos indicadores para estimar el N_0 . Esto podría deberse a que las diferentes metodologías extraen diferentes *pooles* del N orgánico. Con respecto a las determinaciones a campo, las escasas relaciones halladas con el N_0 podrían ser resultado de las condiciones climáticas imperantes, condicionan los rendimientos del cultivo y no dejan expresar su potencial, por lo que la disponibilidad de N en el suelo puede no repercutir sobre la producción ni el N absorbido del cultivo. En esto radica el interés de aplicar los métodos a campo, en las regiones semiáridas y subhúmedas, principalmente por las condiciones climáticas particulares. Cabe destacar que los estudios a campo son esenciales para lograr calibraciones correctas de los métodos biológicos y químicos (Rice & Havlin, 1994).

Se procedió a analizar las relaciones entre el N_0 con las fracciones orgánicas, resultando en relaciones altamente significativas ($p < 0,001$) con todas las fracciones orgánicas evaluadas. Las regresiones lineales del N_0 con COT y N_t demostraron R^2 moderados a bajos ($R^2 < 0,56$); sin embargo, se obtuvieron elevados R^2 con las fracciones orgánicas particuladas (Figura 2) ($R^2 = 0,75$ y $0,74$ para COP y NOP, respectivamente). La alta relación encontrada del N_0 con las fracciones orgánicas más lábiles coincide a lo hallado por Martínez et al. (2017) y se debe a que estas incluyen los microorganismos del suelo y sus productos (Benbi et al., 2012), los que pueden afectar la mineralización de N. Además, es importante destacar que las fracciones particuladas son de alta labilidad y pueden liberar nutrientes en el corto plazo (Galantini & Landriscini, 2007), por lo que estas relaciones serían esperables.

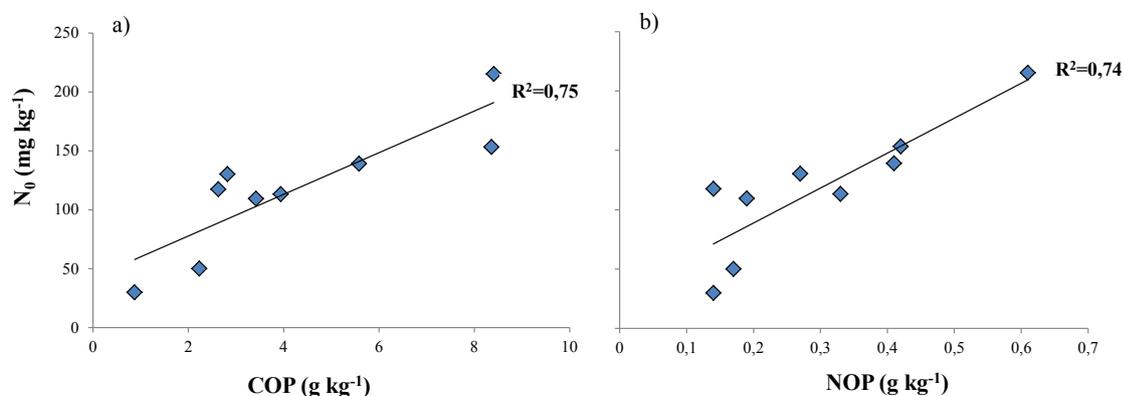


Figura 2. Relaciones lineales entre el N potencialmente mineralizable y a) el carbono orgánico particulado y b) el N orgánico particulado.

Conclusiones

Ninguno de los indicadores químicos y biológicos en laboratorio o a campo por sí solos, permitieron estimar el N_0 de manera certera. El uso de algunos de estos indicadores para los suelos de esta región podría presentar sesgos sobre el valor real, ya que debido a las condiciones imperantes, los valores potenciales de N pueden no traducirse en disponibilidad para los cultivos. Sin embargo, las fracciones particuladas de la MO (COP y NOP) estimaron de manera correcta el N_0 . Esto demuestra la importancia del estudio de estas fracciones lábiles de la MO en esta región con limitaciones en la disponibilidad hídrica.

Bibliografía consultada

- Alvarez R.; H.S. Steinbach. 2010. Modeling apparent nitrogen mineralization under field conditions using regressions an artificial neural networks. *Agron. J.* 103, 1159-1168.
- Benbi D.K.; A.S. Toor; S. Kumar. 2012. Management of organic amendments in rice-wheat cropping system determines the pool where carbon is sequestered. *Plant Soil* 360, 145-162.
- Bremner J.M. 1996. Nitrogen- Total. In: Sparks D.L. (ed.). *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods. Chapter 37.* Pp. 1085-1121. ASA; SSSA; CSSA, Madison. Wisconsin, Estados Unidos.
- Duval M.E.; J.A. Galantini; J.O. Iglesias; S. Canelo; J.M. Martinez; L. Wall. 2013. Analysis of organic fractions as indicators of soil quality under natural and cultivated systems. *Soil Till. Res.* [131; 11-19](#).
- Fabrizzi K.; A. Morón; F. Garcia. 2003. Soil carbon and nitrogen organic fractions in degraded vs. Non-degraded Mollisols in Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67, 1831-1841.
- Galantini J.A.; M.R. Landriscini. 2007. Equilibrio y dinámica de las fracciones orgánicas del suelo: Relación con la fertilidad del suelo y la sustentabilidad del sistema. En: Thuar A. et al (eds.). *De la Biología del Suelo a la Agricultura.* [Pp. 229-245](#). Editorial Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina.
- Gianello C.; J.M. Bremner. 1986. Simple chemical method of assessing potentially available organic nitrogen in soil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 17, 195-214.
- Glave A. 2006. Influencia climática en el sudoeste bonaerense y sudeste de La Pampa. *Acaecer* 31, 18-23.
- Haynes R.J. 2005. Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: An overview. *Adv. Agron.* 85, 221-268.
- Martínez J.M.; J.A. Galantini; M.E. Duval; F.M. López. 2017. Tillage effects on labile pools of soil organic nitrogen in a semi-humid climate of Argentina: A long-term field study. [Soil Till. Res. 169, 71-80](#).
- Nyiraneza J.; B.J. Zebarth; N. Ziadi; D.L. Burton; C.F. Drury; S. Bittman; C.A. Grant. 2011. Prediction of soil nitrogen supply in corn production using soil chemical and biological indices. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 76, 925-935.
- Rice C.; J. Havlin. 1994. Integrating mineralizable N indices into fertilizer nitrogen recommendations. In: Havlin J. et al. (eds.) *Soil testing: Prospects for improving nutrient recommendation.* 1-13. SSSA, Madison, WI, USA.
- Spargo J.T.; M.M. Alley; W.E. Thomason; S.M. Nagle. 2009. Illinois soil nitrogen test for prediction of fertilizer nitrogen needs of corn in Virginia. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73, 434-442.
- Stanford G.; S. Smith. 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36, 465-472.
- Waring S.A.; J.M. Bremner. 1964. Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability. *Nature* 201, 951-952.