

NITRÓGENO INCUBADO EN ANAEROBIOSIS Y SU RELACIÓN CON EL NITRÓGENO ORGÁNICO EN DIFERENTES FRACCIONES

VIVIANA CAROLINA GREGORUTTI*; LEONARDO ESTEBAN NOVELLI; RICARDO JOSÉ MIGUEL MELCHIORI; MARÍA VALERIA ORMAECHEA & OCTAVIO PEDRO CAVIGLIA

Recibido: 20-09-13

Recibido con revisiones: 15-11-13

Aceptado: 19-12-13

RESUMEN

Los diagnósticos de fertilidad nitrogenada usualmente utilizados no contemplan el aporte de la fracción orgánica del suelo. El nitrógeno (N) incubado en anaerobiosis (Nan), al igual que otras fracciones lábiles del N puede utilizarse para predecir la fracción mineralizable del N del suelo y mejorar los diagnósticos de fertilidad, aunque pueden ser afectadas por las prácticas de manejo. Los objetivos del trabajo fueron: i) evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada y de diferentes secuencias de cultivos sobre el N orgánico en la fracción particulada (NOP) y el Nan y ii) conocer las relaciones entre Nan, N total (NT) y NOP. En un experimento de largo plazo de fertilización nitrogenada en monocultivo de maíz y otros de secuencias de cultivos en dos suelos, se determinó NT, NOP y Nan sobre muestras de suelo totales y en macroagregados de dos profundidades. Las fuentes de variación evaluadas en estos experimentos no mostraron diferencias en los contenidos de NOP, Nan y NT. Se determinaron relaciones positivas entre el Nan y el contenido de NT ($R^2=0,65$; $P < 0,001$) y NOP ($R^2=0,85$; $P < 0,001$) atribuibles a las diferencias entre profundidades y sitios contrastantes en su secuencia de cultivo previa. Por otra parte, se determinó una estrecha asociación entre el Nan de la muestra completa y de los macroagregados ($P < 0,001$), lo que demostró que una gran proporción del Nan estuvo alojada en los mismos. No se evidenciaron ventajas en la determinación del Nan y del NOP en macroagregados de suelo en comparación con la muestra completa.

Palabras clave. Fertilización nitrogenada, macroagregados, secuencia de cultivos, monocultivo.

MINERALIZABLE NITROGEN IN ANAEROBIOSIS AND ITS RELATIONSHIP WITH DIFFERENT ORGANIC N POOLS

ABSTRACT

Diagnosis of soil nitrogen fertility does not usually include the contribution of soil organic pools. Mineralisable nitrogen under anaerobiosis (Nan) and other labile N fractions may be useful to predict the mineralized soil nitrogen pool and to improve the diagnosis of soil nitrogen fertility, although management practices may affect these pools. The aims of our study were to: i) evaluate the effect of long-term nitrogen fertilization and crop sequences on organic nitrogen in the soil particulate fraction (NOP) and Nan, and ii) evaluate the relationship between Nan, total nitrogen (NT) and NOP. In a long-term continuous maize experiment, and two other experiments with different crop sequences and two soil types, NT, NOP and Nan were determined in the bulk soil samples and on macroaggregates in two depths. The sources of variation evaluated in these experiments did not show differences in NT, NOP and Nan contents. In addition, positive relationships were found between Nan and NT contents ($R^2 = 0.65$; $P < 0.001$) and between Nan and NOP ($R^2 = 0.85$, $P < 0.001$), which are attributed to the variation in depths and contrasting sites. Moreover, we found a strong association between Nan in bulk soil sample and Nan in macroaggregates ($P < 0.001$), evidencing that a high proportion of Nan was allocated in the macroaggregates. The determination of Nan and NOP in soil macroaggregates did not present advantages compared to the evaluation in the bulk soil sample.

Key words. Nitrogen fertilization, macroaggregates, crop sequence, continuous cropping.

INTRODUCCIÓN

Los aportes de residuos de cultivos pueden ser muy variables en calidad, cantidad y frecuencia en la cual se adicionan al suelo, lo que depende de la secuencia de cultivos y el manejo utilizado (Franzluebbbers *et al.*, 1994). Los cambios en los aportes de residuos de cultivos afectan directamente la formación de los macroagregados y de las fracciones lábiles de carbono (C) y nitrógeno (N) del suelo (Tisdall & Oades, 1982; Novelli *et al.*, 2011). Estas han mostrado una mayor sensibilidad para detectar cambios debido a las prácticas de manejo en el corto a mediano plazo en comparación con el carbono y nitrógeno total (CT y NT) (Diovisalvi *et al.*, 2008; Andriulo *et al.*, 2008; Novelli *et al.*, 2009).

Parte del N absorbido por los cultivos proviene de la mineralización del NT del suelo durante el ciclo de crecimiento, el cual puede predecirse aceptablemente a través de la determinación del N mediante incubaciones anaeróbicas de corta duración en muestras de suelo (Nan) (Echeverría *et al.*, 2000). El Nan puede contribuir a mejorar los métodos de diagnóstico para la fertilización nitrogenada ya que se ha encontrado una estrecha relación entre el Nan y el incremento del rendimiento debido a la fertilización nitrogenada y a la historia de los lotes de producción (Calviño & Echeverría, 2002). En este sentido, sería importante tratar de cuantificarlo ya que diversos autores han determinado que la incorporación del Nan a los modelos de diagnóstico de fertilidad tradicionales ha ayudado a predecir la respuesta de los cultivos a la fertilización nitrogenada (Sainz Rozas *et al.*, 2008; Reussi Calvo *et al.*, 2013). Las prácticas de manejo como el sistema de labranza, la fertilización y la secuencia de cultivos, pueden afectar la fracción mineralizable de N debido a su impacto sobre las fracciones orgánicas más lábiles y dinámicas (Sharifi *et al.*, 2008; Fabrizzi *et al.*, 2003; Domínguez *et al.*, 2009; Marinari *et al.*, 2010).

Dentro de las fracciones orgánicas más lábiles del N se encuentra el nitrógeno orgánico particulado (NOP), el cual es parte de una fracción orgánica compuesta por restos vegetales, animales y hongos en diferentes grados de descomposición y que se obtiene por una separación física de la fracción de suelo $> 53 \mu\text{m}$ (Cambardella & Elliot, 1992). Asimismo, las fracciones orgánicas más lábiles se asocian estrechamente con la formación y estabilización de los macroagregados de suelo (Sttudent *et al.*, 1997), por lo que la evaluación del Nan y del NOP en los macroagregados ($> 250 \mu\text{m}$) podría contribuir a mejorar el diagnóstico de fertilidad nitrogenada.

La posibilidad de contar con experimentos a largo plazo de fertilización nitrogenada en cultivos con elevados aportes de residuos como el maíz en monocultivo, al igual que experimentos que evalúan secuencias de cultivos en suelos contrastantes en su mineralogía y en sus mecanismos de agregación (Novelli *et al.*, 2013), pueden proveer de información valiosa para conocer como impactan estas prácticas de manejo sobre la dinámica y el almacenaje de N orgánico del suelo.

Los objetivos del presente trabajo fueron: i) evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada en maíz continuo y en diferentes secuencias de cultivos sobre el NOP y el Nan tanto en la muestra completa como en los macroagregados ($> 250 \mu\text{m}$) y, ii) evaluar las relaciones entre el Nan y el N en diferentes fracciones, *i.e.* NT y NOP tanto en la muestra completa como en los macroagregados.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó con muestras obtenidas de 3 experimentos conducidos a campo en la EEA Paraná del INTA ($31^{\circ}50' \text{ S}$; $60^{\circ}31' \text{ O}$; 110,5 msnm).

Descripción de los experimentos y sitio de muestreo

Experimento 1 (Exp. 1). Comprende un experimento de fertilización nitrogenada en monocultivo de maíz bajo siembra directa conducido desde 1995 sobre un suelo Argiudol ácuico serie Tezanos Pinto. Este suelo se caracteriza por ser profundo, moderadamente bien drenado, con un epipedón oscuro, franco-arcillo-limoso a franco-limoso, y un horizonte argílico oscuro, franco-arcillo-limoso a arcillo-limoso, con moteados de hierro-manganeso (Plan Mapa de Suelos, 1998).

El diseño del experimento fue en bloques completos al azar con 3 repeticiones del que se seleccionaron y muestrearon 4 tratamientos con niveles de fertilización nitrogenada anual de 0, 69, 138 y 276 kg de N ha^{-1} , aplicadas en forma de urea a la siembra y en el estadio fenológico de V6. En los diferentes años de experimento la fecha de siembra del maíz fue en el mes de octubre, utilizando una densidad de *ca.* 8,2 semillas m^{-2} . En todos los casos el experimento se condujo sin restricciones de fósforo y el control de malezas e insectos se realizó con herbicidas e insecticidas específicos.

Experimentos 2 y 3 (Exp. 2 y Exp. 3). Son dos experimentos idénticos de secuencias de cultivos se llevaron a cabo sobre un Molisol y un Vertisol. El Exp. 2 se condujo sobre el mismo tipo de suelo del Exp. 1 (Molisol), mientras que el Exp. 3 se realizó sobre un Vertisol (Cromuderte árgico Serie Febré). Este suelo tiene un epipedón arcillo-limoso, moderadamente bien estructurado debido a su capacidad de contracción-expansión y un horizonte B2 argílico (Plan Mapa de Suelos, 1998).

El diseño experimental fue en bloques completos al azar con 4 repeticiones cuyos tratamientos incluyeron diversas secuencias de cultivos estivales e invernales en siembra directa como monocultivo de Soja (S-S), Soja-Maíz (S-M), Trigo/Soja-Maíz (T/S-M) y Trigo/Soja (T/S).

Los experimentos 2 y 3 comenzaron en el año 2008, se llevan adelante sin restricciones de nitrógeno y fósforo. A los mismos se les aplicó 24 kg P ha⁻¹ y a la siembra de los cereales se aplicó 150 kg N ha⁻¹ de diamónico. El cultivo de trigo se sembró en el mes de Junio, mientras que el cultivo de soja se sembró en noviembre en el caso de utilizarse como único cultivo y en diciembre cuando se sembró como cultivo de segunda. Asimismo, la siembra del maíz se realizó en el mes de octubre. Todos los cultivos se sembraron con materiales de buen comportamiento sanitario en la zona de estudio.

Muestreo de suelo

En los años 2009 y 2011, y luego de 13 y 15 años desde el inicio del Exp. 1 y en el año 2010, luego de 2 años del inicio en los Exps. 2 y 3, se colectaron muestras de suelo a 0-5 y 5-10 de profundidad en Exp.1 y a 0-5 y 5-15 de profundidad en Exps. 2 y 3. Las muestras fueron secadas al aire, molidas y tamizadas por 2 mm, y una alícuota de las mismas fue tamizada por 0,5 mm. Adicionalmente, se recolectaron muestras con pala en las mismas profundidades, las cuales se desagregaron manualmente por las líneas de fracturas naturales, tamizaron por 1 cm y secaron al aire.

Determinaciones analíticas

En las muestras tamizadas por 0,5 mm se determinó NT por combustión seca utilizando un autoanalizador LECO modelo TruSpec (Leco Corp., St. Joseph, MI, USA). Submuestras de los agregados secos al aire se tamizaron en húmedo siguiendo la metodología descrita por Beare *et al.* (1994b). Para ello, se colocaron 100 g de muestra de suelo sobre una columna de tamices, se humedecieron por capilaridad por 10 min y se tamizaron por 2 min, recuperando sólo los agregados > 250 µm. Los agregados se secaron en estufa con circulación de aire forzado a 40 °C por 3 días, luego de lo cual fueron molidos y tamizados por 0,5 mm para determinar la concentración de N total en los macroagregados (NT > 250 µm).

El NOP se determinó a partir de las muestras totales tamizadas por 2 mm de acuerdo a la metodología propuesta por Cambardella & Elliot (1992) modificada en la cual se reemplaza la dispersión mediante hexametáfosfato por agitación con bolillas de vidrio (Irizar *et al.*, 2010). En un recipiente se colocaron 10 g de suelo seco, se le agregó 30 mL de agua destilada y 3 bolillas de vidrio, luego se agitó durante 3 h. A esta dispersión se la tamizó en húmedo utilizando un tamiz de 53 µm y a la fracción de suelo que quedó retenida en el

tamiz, se le determinó la concentración de N en el autoanalizador LECO.

Para determinar el Nan: i) se cuantificó el contenido de N-NH₄⁺ inicial disponible presente en las muestras totales y en los macroagregados según la metodología propuesta por Waring & Bremner (1964). Se colocaron 2 g de suelo seco en un destilador con 15 mL de K₂SO₄ al 4% y OMg calcinado, y se le realizó microdestilación por arrastre de vapor (Keeney & Nelson, 1982). ii) Las incubaciones anaeróbicas se realizaron colocando 2 g de suelo tamizado por 2 mm en tubos de ensayos que se completaron con agua destilada, se taparon para mantener anaerobiosis, se llevaron a estufa durante 7 días a 40 °C y se les determinó el contenido de N-NH₄⁺ total aplicando la misma metodología que al suelo seco, iii) se calculó el Nan en las muestras totales y en los macroagregados (Nan y Nan > 250 µm) por diferencia del N-NH₄⁺ obtenido de las muestras incubadas en ii) y el N-NH₄⁺ obtenido en i).

Análisis estadísticos

Los datos fueron analizados estadísticamente mediante análisis de varianza, correlaciones y regresiones utilizando el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 2003). Los análisis de varianza fueron realizados para cada experimento utilizando PROC MIXED incluido en el paquete estadístico SAS, considerando el efecto año como un factor aleatorio en el Exp.1 y al suelo como un factor fijo en los Exp. 2 y 3. La separación de las medias de los tratamientos se realizó a través de un Test de Tukey ($\alpha=0,05$) dentro de cada año y suelo, cuando el ANOVA indicó diferencias significativas. Los análisis de regresión y correlación entre las variables se realizaron utilizando PROC CORR y PROC REG del paquete estadístico SAS. Las pendientes de las relaciones se compararon mediante el uso de variables dummy y t-test.

RESULTADOS

Experimento 1

La concentración de NT en la muestra completa fue significativamente diferente entre los dos años evaluados, siendo levemente superior en 2009 en comparación con 2011 (*datos no mostrados*). En 2009 la fertilización nitrogenada afectó el NT, diferenciándose significativamente ($P < 0,001$) el testigo del nivel de 138 N ha⁻¹ (Tabla 1). Contrariamente en 2011 no hubo diferencias significativas entre los niveles de fertilización (Tabla 1).

La proporción de macroagregados en superficie no fue afectada por los niveles de fertilización en ambos años, aunque dicha proporción fue significativamente mayor en 2009. Solamente en el año 2011 se detectaron diferencias significativas ($P < 0,05$) por efecto de la fertilización en la

mayor profundidad (5-10 cm), obteniéndose menor proporción de agregados en los tratamientos fertilizados en comparación con el testigo (Tabla 1).

Dentro de los macroagregados de 0-5 cm de profundidad, el nitrógeno total (NT > 250 μm) mostró diferencias significativa entre años, siendo levemente superior en 2009 que en 2011. Sólo en 2009 hubo diferencias significativas en el contenido de NT > 250 μm entre niveles de fertilización cuyos valores máximos se registraron en el nivel de 138 kg N ha⁻¹ y los menores valores en el nivel 276 kg N ha⁻¹, sin embargo el nivel de 69 kg N ha⁻¹ y el testigo sin fertilizar no se diferenciaron entre ellos ni con los demás niveles (Tabla 1). En profundidad (5-10 cm), no se encontraron diferencias significativas entre niveles de fertilización nitrogenada al evaluar el NT > 250 μm .

La fertilización nitrogenada no afectó el NOP en la muestra completa tanto en 0-5 cm como en 5-10 cm (Tabla 1). Las proporciones del NOP en relación al NT en la muestra completa no fueron afectadas significativamente por los niveles de fertilización nitrogenada en ambas profundidades (Tabla 1).

El Nan fue significativamente diferente entre años. En el año 2009 no hubo diferencias significativas entre niveles de fertilización nitrogenada, aunque el menor valor registrado correspondió al mayor nivel aplicado. El Nan en 2011 fue significativamente menor en los niveles de 138 kg N ha⁻¹ y 286 kg N ha⁻¹ que en los niveles 69 kg N ha⁻¹ y el testigo (Tabla 1). En la profundidad 5-10 cm no hubo diferencias significativas entre niveles de fertilización nitrogenada (Tabla 1).

Tabla 1. Concentración de nitrógeno en la muestra completa (NT), proporción de macroagregados (> 250 μm), nitrógeno total en macroagregados (NT > 250 μm), contenido de nitrógeno particulado en la muestra completa (NOP), la proporción de NOP del NT en la muestra completa (NOP/NT) y el nitrógeno incubado en anaerobiosis en la muestra completa (Nan) y en los macroagregados (Nan > 250 μm) en 0-5 cm y 5-10 cm de profundidad en dos años de estudio (2009 y 2011). Experimento de larga duración (1995-2011) de fertilización nitrogenada en maíz continuo en siembra directa en la EEA Paraná del INTA sobre muestreos realizados en 2009 y 2011.

Table 1. Nitrogen concentration in the bulk soil sample (NT), proportion of macroaggregates (> 250 μm), total nitrogen in macroaggregates (NT > 250 μm), organic nitrogen in the soil particulate fraction content in the bulk soil sample (NOP), NOP ratio of NT in the bulk soil sample (NOP:NT), mineralisable nitrogen in anaerobiosis in the bulk sample (Nan) and mineralisable nitrogen in anaerobiosis in macroaggregates (Nan > 250 μm) in the bulk soil sample at depths 0-5 cm and 5-10 cm and years (2009 and 2011). Long-term continuous maize nitrogen fertilization experiment (1995-2011) under no-tillage in the experimental station of INTA Paraná. Samples were taken in 2009 and 2011.

Unidad	2009				2011				
	0	69	138	276	0	69	138	276	
	kg N ha ⁻¹				kg N ha ⁻¹				
		0-5 cm				0-5 cm			
NT	g kg ⁻¹	1,6b	1,6b	2,0a	1,7ab	1,4a	1,6a	1,5a	1,7a
Macroagregados	%	54,5a	59a	66,3a	54,3a	48,1a	50,3a	48,4a	48,1a
NT > 250 μm	g kg ⁻¹	1,0ab	1,1ab	1,3a	0,9b	0,8a	0,9a	1,0a	0,9a
NOP	g kg ⁻¹	0,27a	0,30a	0,31a	0,34a	0,11a	0,14a	0,13a	0,17a
NOP/NT	-	0,17a	0,18a	0,16a	0,20a	0,08a	0,09a	0,09a	0,10a
Nan	mgN-NH ₄ ⁺ kg ⁻¹	39a	67,9a	53,6a	32,6a	40,5a	44,8a	29,6b	28,7b
Nan > 250 μm	mgN-NH ₄ ⁺ kg ⁻¹ > 250 μm	27,2a	32,8a	26,1a	16,5a	31a	40,7a	23,1a	20,4a
		5-10 cm				5-10 cm			
NT	g kg ⁻¹	1,1b	1,1b	1,3a	1,2ab	1,1a	1,2a	1,2a	1,2a
Macroagregados	%	55,9a	49,3a	52,3a	56,0a	43,7a	35,9ab	31,8b	32,2b
NT > 250 μm	g kg ⁻¹	0,7a	0,7a	0,7a	0,8a	0,6a	0,4a	0,4a	0,5a
NOP	g kg ⁻¹	0,04a	0,05a	0,05a	0,06a	0,04a	0,03a	0,04a	0,06a
NOP/NT	-	0,03a	0,04a	0,04a	0,05a	0,04a	0,03a	0,03a	0,05a
Nan	mgN-NH ₄ ⁺ kg ⁻¹	29,1a	32,6a	35,6a	23,3a	22,6a	29,6a	22,5a	22,2a
Nan > 250 μm	mgN-NH ₄ ⁺ kg ⁻¹ > 250 μm	13,1a	14,6a	19,5a	14,2a	24,1a	13,8b	10,4b	9,6b

Letras diferentes indican diferencias significativas entre dosis dentro de cada año de muestreo, según test de Tukey ($\alpha=0.05$).

Different letters indicate significant differences among fertilizer rates within each year, according to the Tukey test ($\alpha=0.05$).

En los macroagregados, el Nan > 250 μm sólo fue afectado por la fertilización nitrogenada en 2011 en la profundidad 5-10 cm, con el mayor valor de Nan > 250 μm en el testigo, el que difirió significativamente del resto de los tratamientos (Tabla 1). Al igual que en la muestra completa, el Nan tendió a ser menor con los niveles de fertilización nitrogenada más altos.

Experimentos 2 y 3

Las secuencias de cultivo dentro de cada experimento y dentro de cada profundidad, no difirieron significativamente en el NT de la muestra completa, con la excepción de la secuencia S-S en el Exp. 3 en la profundidad 5-15 cm que presentó un valor significativamente menor al resto de los tratamientos (Tabla 2).

La proporción de macroagregados sólo se diferenció en función de la secuencia de cultivo en la profundidad 5-15 cm en Exp. 2, en la que la secuencia S-M difirió de la secuencia T/S. En la profundidad de 0-5 cm, si bien no hubo diferencias significativas en la proporción de macroagregados entre secuencias, los mayores valores se registraron en aquellas que presentaron mayor número de cultivos por año (Tabla 2).

La concentración de NT > 250 μm no mostró diferencias entre secuencias dentro de cada profundidad, siendo menor el valor en el Exp. 2 que en el Exp. 3 (Tabla 2).

El NOP en la muestra completa en ambas profundidades no fue afectado significativamente por la secuencia de cultivos (Tabla 2). Sin embargo, en 5-15 cm de profundidad el NOP, fue 62% menor en el Exp. 2 que en el Exp. 3 en el promedio de los tratamientos.

Tabla 2. Concentración de nitrógeno en la muestra completa (NT), proporción de macroagregados (> 250 μm), nitrógeno total en macroagregados (NT > 250 μm), contenido de nitrógeno particulado en la muestra completa (NOP), proporción de NOP del NT en la muestra completa (NOP/NT) en dos profundidades estudiadas (0-5 cm y 5-15 cm) y nitrógeno incubado en anaerobiosis en la muestra completa (Nan) y en los macroagregados (Nan > 250 μm). Experimento con diferentes secuencias de cultivos en siembra directa (S-S: Soja-Soja, S-M: Soja-Maiz, T/S-M: Trigo/Soja-Maiz y T/S-T: Trigo-Soja) en dos suelos (Exp.2 y Exp.3) en la EEA Paraná del INTA.

Table 2. Nitrogen concentration in the bulk soil sample (NT), proportion of macroaggregates (> 250 μm), total nitrogen in macroaggregates (NT > 250 μm), organic nitrogen in the soil particulate fraction content in the bulk soil sample (NOP), NOP ratio of NT in the bulk soil sample (NOP / NT), mineralisable nitrogen in anaerobiosis in the bulk sample (Nan) and mineralisable nitrogen in anaerobiosis in the macroaggregates (Nan > 250 μm), at two studied depths (0-5 cm and 5-15 cm). The experiment with different crop sequences (S-S: Soybean-Soybean, S-M: Soybean, Maize, T/S-M: Wheat / Soybean-Maize and T/S-T/S: Wheat-Soybean) in two soils (Exp.2 and Exp.3) under no-tillage was carried out in the experimental station of INTA Paraná.

	Unidad	Exp.2				Exp. 3			
		S-S	S-M	T/S-M	T/S	S-S	S-M	T/S-M	T/S
		0-5 cm				0-5 cm			
NT	g kg ⁻¹	2,4a	2,3a	2,3a	2,4a	1,8a	2,1a	2,2a	2,3a
Macroagregados	%	59a	65a	67,7a	70,8a	57,0a	59,9a	60,8a	66,6a
NT > 250 μm	g kg ⁻¹	1,4a	1,4a	1,5a	1,6a	1,6a	1,7a	1,7a	1,8a
NOP	mg 100 g suelo ⁻¹	0,68 a	0,56a	0,56a	0,59a	0,49a	0,68a	0,54a	0,82a
NOP/NT	-	0,29a	0,25a	0,25a	0,25a	0,27a	0,33a	0,25a	0,36a
Nan	M g N-NH ₄ ⁺ kg ⁻¹	89,2a	100,8a	95,5a	98,7a	98,4a	108,3a	138,6a	131,1a
Nan >250 μm	mg N-NH ₄ ⁺ kg ⁻¹ >250 μm	121,9a	100,9a	87,4a	62,3a	111,1a	112,1a	139,6a	134,8a
		5-15 cm				5-15 cm			
NT	g kg ⁻¹	1,5a	1,4a	1,2a	1,3a	1,1b	1,5a	1,6a	1,5a
Macroagregados	%	54,8ab	62,2a	57,7ab	52,4b	55a	56,1a	53,6a	56,2a
NT > 250 μm	g kg ⁻¹	1,1a	1,3a	1,1a	1,2a	1,4a	1,4a	1,5a	1,4a
NOP	mg 100 g suelo ⁻¹	0,12a	0,15a	0,11a	0,14a	0,29a	0,32a	0,45a	0,34a
NOP/NT	-	0,08a	0,11a	0,10a	0,11a	0,25a	0,23a	0,27a	0,23a
Nan	mg N-NH ₄ ⁺ kg ⁻¹	37,2a	47,1a	47,6a	45a	66,2a	68,6a	78,9a	67,9a
Nan >250 μm	mg N-NH ₄ ⁺ kg ⁻¹ >250 μm	63,4a	45,4a	54,5a	52,8a	61,3a	95,7a	79a	88,6a

Letras diferentes representan diferencias significativas en cada experimento entre secuencias de cultivo en cada suelo y profundidad de estudio, según test de Tukey ($\alpha=0,05$).

Different letters indicate significant differences in each experiment among crop sequences within soil depths, according to the Tukey test ($\alpha=0.05$).

La proporción de NOP en relación al NT en la muestra completa no mostró diferencias significativas entre secuencias de cultivo para cada suelo y profundidad estudiada (Tabla 2).

El Nan tanto en los macroagregados como en la muestra completa fue un 35% y 39% mayor en el Exp. 3 que en el Exp. 2, respectivamente, sin diferir significativamente entre secuencias en ambas profundidades estudiadas (Tabla 2).

Relaciones entre variables

En el análisis conjunto de los tres experimentos se determinó una relación lineal positiva y significativa entre

el Nan y el NT en la muestra completa ($R^2=0,65$; $P < 0,001$) (Fig. 1 a). Asimismo, el Nan en la muestra completa estuvo más estrechamente asociado al NT $> 250 \mu\text{m}$ que al NT (Fig. 1 c). En los macroagregados, esta misma relación resultó ser exponencial y igual ajuste ($R^2=0,86$; $P < 0,001$) (Fig. 1 b).

El Nan y el Nan $> 250 \mu\text{m}$ se asociaron positivamente con el NOP en la muestra completa ($R^2 = 0,85$; $P < 0,001$) (Fig. 2 a y b), pero no con el NOP en los macroagregados (*datos no mostrados*).

El contenido de Nan en la muestra completa y en los macroagregados estuvo estrechamente relacionado (Fig. 3).

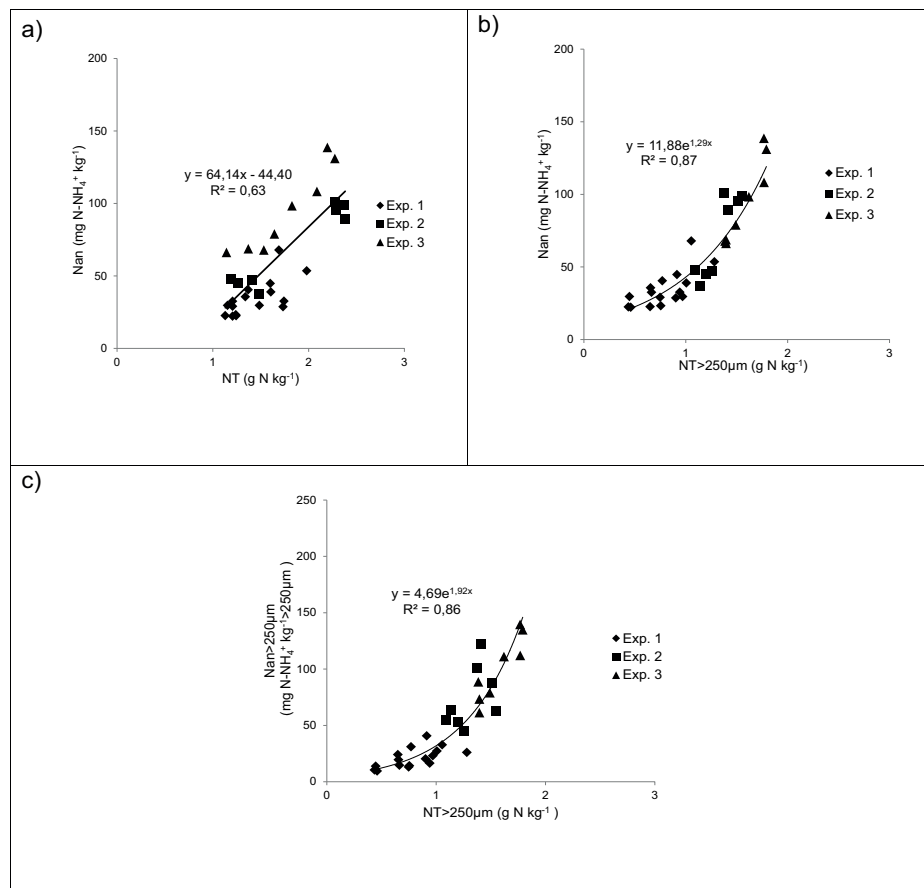


Figura 1. Relación entre el nitrógeno incubado en anaerobiosis (Nan) y el nitrógeno del suelo (NT) a) en la muestra completa; b) en los macroagregados ($> 250 \mu\text{m}$) y c) Relación entre el Nan en la muestra completa y el NT en los macroagregados ($> 250 \mu\text{m}$). Datos provenientes de un experimento que incluyó niveles de fertilización nitrogenada (entre 0 y 276 kg N ha^{-1}) en maíz continuo (Exp. 1) y dos experimentos que incluyeron secuencias de cultivos en dos suelos diferentes (Molisol y Vertisol) (Exp. 2 y 3, respectivamente) en Paraná, Argentina.

Figure 1. Relationship between mineralisable nitrogen in anaerobiosis (Nan) and soil nitrogen (NT) a) in the bulk soil sample, b) in macroaggregates ($> 250 \mu\text{m}$) and c) relationship between Nan in the bulk soil sample and the NT in macroaggregates ($> 250 \mu\text{m}$). Data points originate from an experiment that included nitrogen fertilization levels (0 to 276 kg N ha^{-1}) in a continuous maize rotation (Exp. 1) and from two experiments that included crop sequences in two different soils (Mollisol and Vertisol) (Exp. 2 y 3, respectively) in Paraná, Argentina.

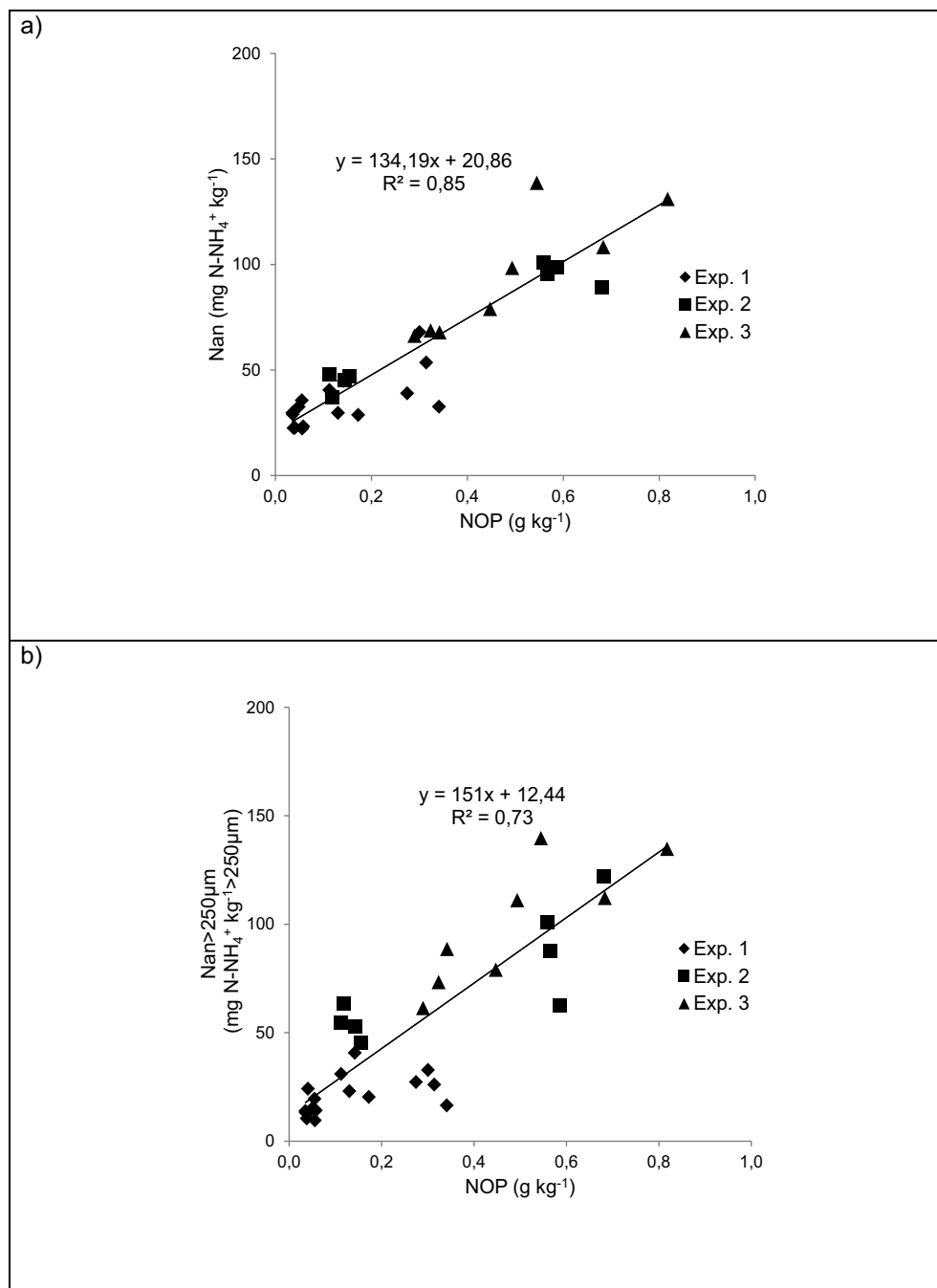


Figura 2, Relación entre el nitrógeno orgánico en la fracción particulada del suelo (NOP) en la muestra completa con a) el nitrógeno incubado en anaerobiosis (Nan) en la muestra completa y b) el nitrógeno incubado en anaerobiosis en los macroagregados (Nan > 250 µm). Datos promedio provenientes de un experimento que incluyó niveles de fertilización nitrogenada (entre 0 y 276 kg N ha⁻¹) en maíz continuo (Exp. 1) y dos experimentos que incluyeron secuencias de cultivos en dos suelos diferentes (Molisol y Vertisol) (Exp. 2 y 3, respectivamente) en Paraná, Argentina.

Figure 2. Relationship between organic nitrogen in the soil particulate fraction (NOP) of the bulk soil sample with: a) the mineralisable nitrogen in anaerobiosis (Nan) in the bulk soil sample and b) mineralisable nitrogen in anaerobiosis in macroaggregates (Nan > 250 µm). Average data from an experiment included nitrogen fertilization levels (0 to 276 kg N ha⁻¹) in a continuous maize rotation (Exp. 1) and two experiments that included different crop sequences in two different soils (Mollisol and Vertisol; Exp. 2 and 3, respectively) in Paraná, Argentina.

Por otra parte, se encontró que en el Exp. 2 y 3 un 74% del Nan de la muestra completa se alojó en los macroagregados sin diferencias significativas entre suelos, profundidades y secuencias, en cambio en el Exp. 1 fue sólo el 29%, con diferencias entre profundidad con la mayor proporción en 0-5 cm en comparación con 5-10 cm (36% y 25%).

La pendiente de la relación entre Nan en la muestra completa y en los macroagregados, indica que la relación difiere poco de la relación 1:1 cuando los valores de Nan en la muestra completa son bajos, lo que indica una menor contribución de Nan desde los macroagregados (Fig. 3). Por el contrario, cuando los valores de Nan en la muestra completa fueron altos la contribución desde los macroagregados fue más importante (Fig. 3).

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que el NT y el NOP se comportaron de manera similar reduciendo su valor en profundidad en los 3 experimentos

(Tablas 1 y 2). La disminución del contenido de NOP y NT en profundidad fue más importante en el suelo Molisol (85% y 75%) que en el suelo Vertisol (47% y 50%) (Tabla 2). Esta diferencia en profundidad podría deberse a que los suelos Vertisoles tienen la capacidad de autoestructurarse producto de los ciclos de contracción y expansión de las arcillas tipo esmécticas lo que podría minimizar la estratificación (Fabrizzi *et al.*, 2009; Novelli *et al.*, 2011). Además, la baja estratificación detectada en suelos Vertisoles con respecto a los Molisoles podría deberse al ingreso de material orgánico en profundidad por las fisuras y grietas ocasionadas durante los ciclos de humedecimiento y secado (Wilson, 2008). Estas características pueden explicar la menor estratificación de las fracciones de N en el Exp. 3 (Vertisol) que en el Exp. 2 (Molisol), así como los cambios poco importantes en profundidad en el porcentaje de macroagregados y de fracciones de N en el Vertisol, tal como ha sido informado previamente (Novelli *et al.*, 2013).

En el Experimento 1, el contenido de NOP fue marcadamente diferente entre años de estudio siendo un 54%

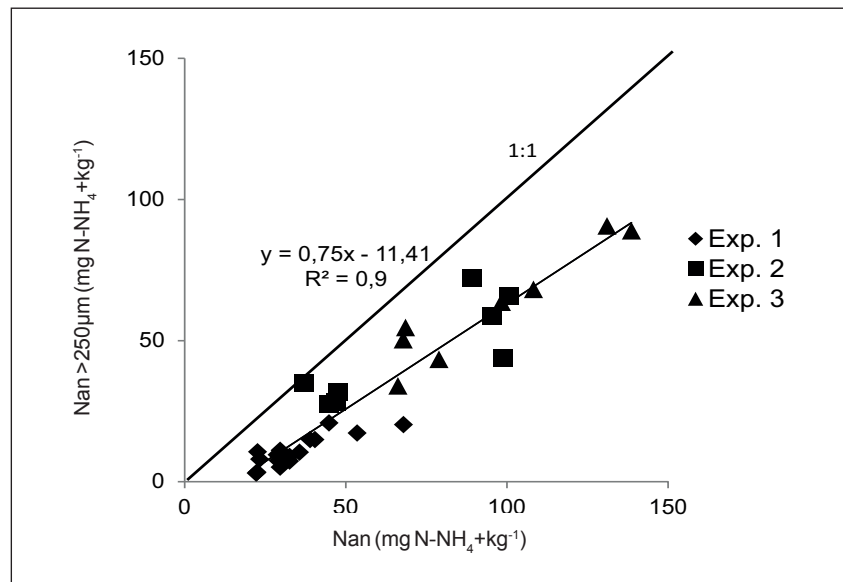


Figura 3. Relación entre el nitrógeno incubado en anaerobiosis en los macroagregados ($Nan > 250 \mu m$) y en la muestra completa (Nan). Datos promedios provenientes de un experimento que incluyó niveles de fertilización nitrogenada (entre 0 y 276 kg N ha^{-1}) en maíz continuo (Exp. 1) y dos experimentos que incluyeron secuencias de cultivos en dos suelos diferentes (Molisol y Vertisol; Exp. 2 y 3, respectivamente) en Paraná, Argentina. La línea de puntos representa la relación 1:1.

Figure 3. Relationship between mineralisable nitrogen in anaerobiosis in macroaggregates ($Nan > 250 \mu m$) and in the bulk soil sample (Nan). Data-points originate from an experiment that included nitrogen fertilization levels (0 to 276 kg N ha^{-1}) in a continuous maize rotation (Exp. 1) and from two experiments that included crop sequences in two different soils (Mollisol and Vertisol; Exp. 2 y 3, respectively) in Paraná, Argentina. The dotted line represents the 1:1 ratio.

superior en 2009 con respecto al año 2011, lo que podría deberse al régimen pluviométrico previo al muestreo. En el año 2009 la precipitación registrada entre los meses de febrero a octubre fue un 32 % mayor en comparación a la registrada para el mismo periodo del año 2011 (*datos no mostrados*). La mayor disponibilidad de humedad en el suelo en el año 2009 pudo haber incrementado la actividad biológica llevando a una mayor formación de macroagregados en los cuales las fracciones lábiles de N son ocluidas y protegidas de la acción microbiana (Beare *et al.*, 1994a).

Tanto los tratamientos de fertilización nitrogenada como los de secuencias de cultivos no afectaron el contenido de NOP y Nan, a pesar de las diferencias en aporte de residuos entre tratamientos (*datos no mostrados*) los cuales fueron un 100% superiores al comparar el mayor nivel de fertilización nitrogenada con el testigo, y de un 60% y 50% al comparar la secuencia más intensificada con la menos intensificada para el suelo Molisol y para el Vertisol, respectivamente (*datos no mostrados*). Sin embargo, en ambos años de estudio en el Exp.1 fue notoria una tendencia al aumento del NOP con las dosis de fertilización nitrogenada, aunque no significativa. Adicionalmente, en los Exp. 2 y 3, el NOP no tuvo relación con el aporte realizado por los cultivos con distintos tiempo de ocupación del suelo. Si bien se ha documentado que las secuencias con mayor tiempo de ocupación del suelo mejoran los aportes de residuos en comparación con los monocultivos de soja (Caviglia *et al.*, 2011) y maíz (Caviglia *et al.*, 2013), en el presente trabajo no se detectaron diferencias en el NOP entre secuencias con diferente tiempo de ocupación (Exp. 2 y 3).

Nuestros resultados coinciden con los encontrados por Diovisalvi *et al.* (2008), quienes no observaron mayores diferencias en el NOP en siembra directa y labranza convencional con aplicación de fertilizantes nitrogenados. Además, valores similares de NOP fueron reportados por Srinivasan *et al.* (2012) en suelos alfisoles que fluctúan entre 0,20 y 0,36 g kg⁻¹ de NOP. Por otra parte Divito *et al.* (2011) hallaron un incremento del NOP con la dosis media de fertilizante (116 kg ha⁻¹); sin embargo, no encontraron diferencias entre el testigo sin fertilización con N y la mayor dosis de N aplicada (176 kg ha⁻¹) en un ensayo del sudeste bonaerense con rotaciones de T/S-M y obtuvieron valores superiores a los reportados en nuestro trabajo (0,200-0,300 g kg⁻¹). La diferencia con nuestros valores podría deberse a que en dicho trabajo se evaluó una rotación de 7 años con aportes de residuos diferentes en

su calidad y cantidad en comparación al aporte de 15 años de monocultivo de maíz con altos aportes de residuos de alta relación C:N una sola vez al año. Cabe destacar que los valores de NT del suelo fueron similares a los encontrados en nuestra experiencia (ca. 2 g kg⁻¹), lo que sugiere una mayor contribución de las fracciones lábiles en el sudeste bonaerense. En el Exp. 1, el mayor valor de NT encontrado en la dosis media (138 kg N ha⁻¹) en el año 2009, es coincidente con lo informado por Divito *et al.* (2011) y Domínguez *et al.* (2009) lo que podría estar asociado a una relación C:N más equilibrada de los residuos de cosecha aportados. Estos aportes de diferente calidad pueden generar una dinámica diferencial en el ciclado de elementos y en el ciclo de formación y destrucción de agregados (Tisdall & Oades, 1982) con resultados que requieren un mayor nivel de conocimientos para poder interpretarse, como por ejemplo el mayor contenido de macroagregados en profundidad en la menor dosis de N en el Exp. 1 en el año 2011.

Sólo en el año 2011 en el Exp. 1, en los primeros 5 cm del suelo se registraron los menores valores de Nan con altos niveles de fertilización nitrogenada (Tabla. 1). Estos resultados coinciden con lo reportado por Divito *et al.* (2011), Cozzoli *et al.* (2010) y Domínguez *et al.* (2009) quienes encontraron menor contenido de Nan en los tratamientos con fertilización nitrogenada, lo que podría deberse a que la fertilización puede aumentar temporalmente la actividad microbiana cuando grandes cantidades de residuos con baja relación C:N se incorporan en suelos bien fertilizados, dejando menos material mineralizable para uso futuro (Carpenter-Bogg *et al.*, 2000). En contraste, Diovisalvi *et al.*, 2008 encontró que la fertilización no afectó los contenidos de Nan en un ensayo de largo plazo.

Por otra parte y en contraste con lo reportado por Sharifi *et al.* (2008), nuestros resultados muestran que las secuencias de cultivo no afectaron el Nan, ni el Nan > 250 µm (Tabla 2), lo cual puede deberse a que el establecimiento de los tratamientos en los Exp. 2 y 3 es muy reciente para arrojar diferencias entre secuencias de cultivos. Estos valores de Nan son consistentes con aquellos reportados por Benitende *et al.* (2007) quienes hallaron valores promedio de 183 mg N kg⁻¹ y 104 mg N kg⁻¹ para suelos Argiudoles ácuicos y vérticos de Entre Ríos (Argentina).

Al comparar en los primeros 5 cm de suelo los tres experimentos entre sí, el contenido de NOP promedio de cada uno mostró valores en el Exp.1 (0,21 g kg⁻¹) un 60% menor a los encontrados en los Exp. 2 y 3 (0,60 g kg suelo⁻¹ y 0,64 g kg⁻¹). De manera similar se comportó el Nan, el cual fue

menor en el Exp.1 (42 y 27 mg N-NH₄ kg⁻¹) con respecto al Exp.2 (96 y 93 mg N-NH₄ kg⁻¹) y Exp.3 (120 y 124 mg N-NH₄ kg⁻¹) en la muestra total y en los macroagregados, esto indica que tanto el NOP como el Nan fueron sensiblemente afectados por la historia de cada situación, *i.e.* monocultivo de maíz (Exp. 1) vs. rotaciones (Exp. 2 y 3), aunque no resultaron sensibles con las fuentes de variación dentro de cada experimento, *i.e.* niveles de fertilización nitrogenada y tiempo de ocupación de la tierra por diferentes secuencias de cultivo.

En efecto, el NT estuvo estrechamente relacionado con el Nan, tanto en la muestra completa como en los macroagregados (Fig. 3 b y c), aunque la asociación del Nan y NT > 250 µm fue más ajustada en comparación al NT en la muestra completa (Fig. 1 a). Estos resultados indican que, aunque con menor grado de ajuste, los cambios en el Nan se podrían predecir mejor mediante el NT en la muestra completa, lo que sería más ventajoso ya que la determinación de NT en la muestra completa es más sencilla, rápida, económica y repetible que en los macroagregados.

Las relaciones entre NT y Nan encontradas en este trabajo contrastan con lo informado por Dominguez *et al.* (2009), quienes concluyeron que cambios en el NT por efecto de dos tipos de labranza y fertilización nitrogenada no se asociaron con cambios en el Nan, lo que podría deberse a que encontraron valores promedio de Nan con un rango de variación menor (79,3-96,7 mg kg⁻¹) a los encontrados en este trabajo (50-150 mg kg⁻¹) (Fig. 1 a y c).

El NOP mostró una estrecha asociación con el Nan en la muestra completa (Fig. 2) lo que demuestra que esta fracción lábil podría ser utilizada como un predictor útil de la mineralización potencial del N del suelo ya que su determinación es más rápida, simple y económica en comparación con el método de incubaciones anaeróbicas (Fig. 2).

Sin embargo, esta estrecha asociación entre el contenido de NOP y NT, y el Nan se debe más a diferencias entre sitios y profundidades y no debido a las fuentes de variación dentro de los experimentos.

Por último, en este trabajo se encontró que el Nan en la muestra completa tuvo una estrecha asociación con el Nan en los macroagregados (> 250 µm), lo que demuestra que la mayor parte del Nan estuvo alojada en los macroagregados del suelo (70%) (Fig. 3) cuando la situación previa correspondió a secuencias con rotación de cultivos

(exp. 2 y 3) y los niveles de Nan en la muestra completa fueron altos, en contraste con los resultados obtenidos en situaciones de monocultivo de maíz donde el aporte del Nan en los macroagregados fue muy bajo (< 30%). Estos resultados resaltan la importancia de la rotación de cultivos sobre el almacenaje de fracciones lábiles de N, más allá de que no se pudieron documentar variaciones entre secuencias evaluadas dentro de los experimentos 2 y 3.

Similarmente, Cozzoli *et al.*, 2010 determinaron una estrecha relación entre el Nan en la muestra total de suelo y el Nan en los macroagregados en suelos bajo agricultura, aunque el método de separación de agregados utilizado fue diferente. Esto refuerza la importancia de la rotación de cultivos en los mecanismos de agregación (Novelli *et al.*, 2013) y de almacenaje de fracciones lábiles de N, más allá de que no se pudieron documentar variaciones entre secuencias evaluadas dentro de los experimentos 2 y 3.

Por otra parte, la estrecha relación entre el Nan en la muestra completa y el Nan en los macroagregados (> 250 µm) indica que la determinación en los macroagregados no mejoraría la predicción en relación a la evaluación sobre la muestra completa, más aún considerando la complejidad de la técnica.

CONCLUSIONES

Las fuentes de variación evaluadas en estos experimentos *i.e.* fertilización nitrogenada y secuencia de cultivos, no mostraron diferencias en los contenidos de NOP, Nan y NT. Sin embargo, se determinaron relaciones positivas entre el Nan y el contenido de NT y NOP atribuibles a las diferencias entre profundidades y sitios contrastantes en su secuencia de cultivo previa.

Además, la estrecha asociación entre el Nan de la muestra completa y de los macroagregados demuestra que una gran proporción del Nan estuvo alojada en los macroagregados en los sitios con historia de rotación de cultivos, lo cual refuerza el rol de la agregación como mecanismo clave en el almacenaje y protección del nitrógeno orgánico lábil del suelo.

En este trabajo no se evidenciaron ventajas de la determinación del Nan y del NOP en los macroagregados del suelo comparación con la muestra completa.

BIBLIOGRAFÍA

- Andriulo, A; MC Sasal; AB Irizar; SB Restovich & F Rimatori. 2008. Efecto de diferentes sistemas de labranza, secuencias de cultivo y de la fertilización nitrogenada sobre los stocks de C y N edáficos. *En: Galantini, J. A., ed. lit. Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina. 1ª ed. Bahía Blanca: Universidad Nacional del Sur. EdiUNS, 2008. 309 pp.*
- Beare, MH; ML Cabrera; PF Hendrix & DC Coleman. 1994a. Aggregate-Protected and Unprotected Organic Matter Pools In Conventional- and No-Tillage Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 787-795.
- Beare, MH; PF Hendrix & DC Coleman. 1994b. Water-stable aggregates and organic matter fractions in conventional- and no-tillage soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 777-786.
- Benintende, MC; SM Benintende, MA Sterren; C Musante; M Saluzzio & J.J. De Battista. 2007. Modelo para estimar la capacidad de aporte de nitrógeno del suelo. *Agriscientia* 24: 97-101.
- Carpenter-Boggs, L; JL Pikul Jr., MF Vigil & WE Riedell. 2000. Soil Nitrogen Mineralization Influenced by Crop Rotation and Nitrogen Fertilization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 2038-2045
- Cambardella, CA & ET Elliott. 1992. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 777-783.
- Calviño, PA & HE Echeverría. 2002. Incubación anaeróbica del suelo como diagnóstico de la respuesta a nitrógeno del maíz bajo siembra directa. *Ci. Suelo (Argentina)* 21: 24-29.
- Caviglia, OP; VO Sadras & FH Andrade. 2011. Yield and Quality of Wheat and Soybean in Sole- and Double-Cropping. *Agron. J.* 103: 1081-1089.
- Caviglia, OP; VO Sadras & FH Andrade. 2013. Modelling long-term effects of cropping intensification reveals increased water and radiation productivity in the South-eastern Pampas. *Field Crops Res.* 149: 300-311.
- Cozzoli, MV, N Fioriti, GA Studdert, GF Dominguez & MJ Eiza. 2010. Nitrógeno liberado por incubación anaeróbica y fracciones de carbono en macro- y microagregados bajo distintos sistemas de cultivo. *Ci. Suelo (Argentina)* 28: 155-167.
- Diovisalvi, NV; GA Studdert; GF Dominguez & MJ Eiza. 2008. Fracciones de carbono y nitrógeno orgánicos y nitrógeno anaeróbico bajo agricultura continúa con dos sistemas de labranza. *Ci. Suelo (Argentina)* 26: 1-11.
- Divito, GA; HR Sainz Rozas; HE Echeverría; GA Studdert & N Wyngaard. 2011. Long term nitrogen fertilization: Soil property changes in an Argentinean Pampas soil under no tillage. *Soil Till. Res.* 114: 117-126.
- Domínguez, GF; N V Diovisalvi; G A Studdert & M G Monterubbianes. 2009. Soil organic C and N fractions under continuous cropping with contrasting tillage systems on mollisols of the southeastern Pampas. *Soil Till. Res.* 102:93-100.
- Echeverría, H; NF San Martín & R Bergonzi. 2000. Métodos rápidos de estimación de nitrógeno potencialmente mineralizable en suelos. *Ci. Suelo (Argentina)* 18: 9-16. Fabrizzi, KP; A Morón & FO García. 2003. Soil carbon and nitrogen organic fractions in degraded vs. non-degraded Mollisols in Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 1831-1841.
- Fabrizzi, KP; CW Rice; TJC Amado; J Fiorin; P Barbagelata & R Melchiori. 2009. Protection of soil organic C and N in temperate and tropical soils: effect of native and agroecosystems. *Biogeochemistry* 92: 129-143.
- Franzluebbers, AJ; FM Hons & D Zuberer. 1994. Long-term changes in soil carbon and nitrogen pools in wheat management systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 1639-1645.
- Irizar, A; A Andriulo; D Cosentino y C Améndola. 2010. Comparación de dos métodos de fraccionamiento físico de la MO del suelo. *Ci. Suelo (Argentina)*. 28: 115-121.
- Keeney, DR & DW Nelson. 1982. Nitrogen inorganic forms. *In: Page A L et al. (eds.) Methods of soil analysis. Part 2 Agron. Monog 9 ASA and SSSA, Madison, Wisconsin, USA. 643-698 pp.*
- Marinari, S; A Lagomarsino; MC Moscatelli; A Di Tizio & E Campiglia. 2010. Soil carbon and nitrogen mineralization kinetics in organic and conventional three-year cropping systems. *Soil Till. Res.* 109: 161-168.
- Novelli, L; R Melchiori & O Caviglia. 2009. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el contenido de C y N en diferentes tamaños de agregados. *RCA.* 13: 25-32.
- Novelli, LE; OP Caviglia & RJM Melchiori. 2011. Impact of soybean cropping frequency on soil carbon storage in Mollisols and Vertisols. *Geoderma* 167-168: 254-260.
- Novelli, LE; OP Caviglia; MG Wilson & C Sasal. 2013. Land use intensity and cropping sequence effects on aggregate stability and C storage in a Vertisol and a Mollisol. *Geoderma* 195-196: 260-267.
- Plan Mapa de Suelos. 1998. Carta de Suelos de la República Argentina. Departamento Paraná, Provincia de Entre Ríos, Serie Relevamiento de Recursos Naturales N° 17. 114 pp.
- Reussi Clavo N, H Sainz Rozas, H Echeverría & A Berardo. 2013. Contribution of Anaerobically Incubated Nitrogen to the Diagnosis of Nitrogen Status in Spring Wheat. *Agron. J.* 105: 321-328.
- Sainz Rozas, H; P Calviño, H Echeverría, M Redolatti, & P. Barbieri. 2008. Contribution of anaerobically mineralized nitrogen to reliability of planting or presidedress soil nitrogen test in maize. *Agron. J.* 100: 1020-1025.
- SAS Institute, 2003. SAS Procedures for Personal Computers. v. 9.1. SAS Inst., Cary, NC.
- Sharifi, M, BJ Zebarth, DL Burton, CA Grant & GA Porter. 2008. Organic amendment history and crop rotation effects on soil nitrogen mineralization potential and soil nitrogen supply in a potato cropping system. *Agron. J.* 100: 1562-1572.
- Srinivasan, V, HP Maheswarappa & R Lal. 2012. Long term effects of topsoil depth and amendments on particulate and non particulate carbon fractions in a Miamian soil of Central Ohio. *Soil Till. Res.* 121: 10-17.
- Studdert, GA, HE Echeverría & EM Casanovas. 1997. Crop- pasture rotation for sustaining the quality and productivity of a Typic argiudoll. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 1466-1472.
- Tisdall, JM & JM Oades. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33: 141-163.
- Waring, SA & JM Bremner. 1964. Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability. *London Nature* 201: 951-952.
- Wilson, MG. 2008. Uso de la tierra en el área de bosques nativos de Entre Ríos, Argentina. Tesis doctoral. Instituto Universitario de Geología. Universidad de La Coruña, España. 277 pp.