

NITRÓGENO INCUBADO EN ANAEROBIOSIS Y CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS AGRÍCOLAS DE BUENOS AIRES

NAHUEL IGNACIO REUSSI CALVO¹⁻²; GUILLERMO ALBERTO STUDDERT¹; MIRTA BEATRIZ CALANDRONI¹; NATALIA VERÓNICA DIOVISALVI²; FABIÁN NÉSTOR CABRIA¹ & ANGEL BERARDO²

Recibido: 01-04-14

Recibido con revisiones: 20-05-14

Aceptado: 22-05-14

RESUMEN

El carbono orgánico (CO) y el nitrógeno (N) incubado en anaerobiosis (Nan) son indicadores de calidad del suelo. Además, el Nan es un estimador del aporte de N por mineralización, y ha sido empleado para el ajuste de la dosis de N en los cultivos. Los objetivos de este trabajo fueron: 1) relevar y mapear los contenidos de CO total (COT) y de Nan en suelos agrícolas de la provincia de Buenos Aires y 2) relacionar dichas variables a escala regional. Se emplearon un total de 31.776 y 6556 muestras de suelo tomadas a 0-20 cm de profundidad para COT y Nan, respectivamente. La eficiencia de predicción fue 79% para COT y 67% para Nan. El contenido de COT varió entre 3,5 y 80,8 g kg⁻¹, aumentando de noroeste a sureste de la provincia de Buenos Aires. La concentración de Nan varió entre 12 y 260 mg kg⁻¹, siendo mayores los contenidos en el este que en el oeste. Esto evidencia el diferente potencial aporte de N por mineralización que poseen los suelos, el cual debería ser considerado al momento de ajustar la dosis de N para los cultivos. Se encontró una asociación significativa entre los contenidos de COT y Nan a nivel regional (R² = 50%). No obstante, la estimación del contenido de Nan de los suelos a partir del COT no sería una práctica recomendable a los fines del diagnóstico de N a escala de lote. Sin embargo, los mapas y la relación obtenidos podrían ser utilizados en una primera instancia para el diagnóstico de la fertilidad a escala regional y como orientativos a escala de lote.

Palabras clave. Mineralización de nitrógeno, indicadores de salud de suelo, mapas de propiedades de suelo, agricultura.

ANAEROBICALLY INCUBATED NITROGEN AND ORGANIC CARBON IN CROPPED SOILS OF BUENOS AIRES PROVINCE

ABSTRACT

Organic carbon (CO) and anaerobically incubated nitrogen (Nan) are soil quality indicators. In addition, Nan is an estimator of nitrogen (N) supplied by organic matter mineralization, and has been used to adjust crop N fertilization rates. The aims of this study were: 1) to survey and map total CO (COT) and Nan contents in cropped soils of Buenos Aires province, and 2) evaluate the relationship between those variables at a regional scale. A total of 31.776 and 6556 soil samples taken at 0-20 cm-soil depths were used for COT and Nan, respectively. Prediction efficiencies were 79% for COT and 67% for Nan. COT content varied between 3.5 and 80.8 g kg⁻¹, increasing from northwest to southeast of Buenos Aires. Nan concentration ranged from 12 to 260 mg kg⁻¹, the highest values corresponding to the eastern areas decreasing to the west. This evidences the different soil N supply potential, which should be taken into account to adjust crop N fertilization rates. A significant relationship between COT and Nan (R² = 50%) was found at the regional scale. However, the estimation of Nan content using COT would not be a recommendable procedure to diagnose N fertility. However, the maps and relationships could be used for a preliminary approach to N fertility diagnostics at the regional scale and as indicative at the field scale.

Key words. Nitrogen mineralization, soil health indicators, soil properties maps, cropping.

1 FERTILAB, Moreno 4524, (7600) Mar del Plata, Buenos Aires; 2 Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Unidad Integrada Balcarce; Ruta Nacional 226 km 73,5; (7620) Balcarce, Buenos Aires.

*Autor de contacto: nreussicalvo@laboratoriofertilab.com.ar

INTRODUCCIÓN

La materia orgánica (MO) del suelo cumple un rol fundamental como reservorio de nutrientes y en la estabilización de la estructura edáfica, dependiendo su nivel del clima, de la textura, del sistema de labranza, del uso del suelo, de la secuencia de cultivo agrícola y de la fertilización (Studdert & Echeverría, 2000). Los efectos del uso del suelo pueden ser detectados rápidamente mediante los cambios en el contenido de MO, o en forma más anticipada, a partir de alguna de sus fracciones más lábiles, tal como el carbono (C) orgánico particulado (COP) (Cozzoli *et al.*, 2010). En los últimos años, el uso agrícola continuado en toda la Región Pampeana ha ocasionado una disminución en el contenido de C orgánico total (COT) cercano al 50% de su nivel original (Carrizo *et al.*, 2011; Sainz Rozas *et al.*, 2011). Esto, sumado a la implementación generalizada de sistemas de labranza conservacionistas como la siembra directa (SD) han provocado una disminución del aporte de nitrógeno (N) por mineralización, lo cual se ve reflejado en una alta frecuencia de casos con respuesta positiva al agregado de N (Pagani *et al.*, 2008; Barbieri *et al.*, 2009), y en menor medida a azufre (Pagani & Echeverría, 2011; Reussi Calvo *et al.*, 2011).

La metodología más difundida para el diagnóstico de N en los cultivos se basa principalmente en la determinación del contenido de N de nitrato (N-NO_3^-) en el suelo al momento de la siembra a 0-60 cm de profundidad (Pagani *et al.*, 2008; Barbieri *et al.*, 2009). Para su empleo, se han propuesto distintos umbrales de disponibilidad de N (suelo+fertilizante), los cuales varían según la zona, el sistema de labranza y el rendimiento objetivo del cultivo. No obstante, este tipo de modelos simplificados no contemplan de forma directa el aporte de N por mineralización. Solamente entre el 38 y el 54% de la variación del rendimiento de los cultivos es explicada por la disponibilidad de N-NO_3^- a la siembra a 0-60 cm de profundidad (Sainz Rozas *et al.*, 2008; Barbieri *et al.*, 2009). Ante esta situación surge la necesidad de contar con herramientas complementarias para cuantificar el aporte de N por mineralización, lo que permitiría mejorar la estimación del N disponible para los cultivos y el diagnóstico para la fertilización.

La determinación del contenido de N de amonio producido en incubación anaeróbica (Nan) de muestras de suelo del estrato superficial, parecería ser un indicador confiable para tal fin, dado que se correlaciona estrechamente con el N potencialmente mineralizable (Echeverría *et al.*, 2000). Para los cultivos de maíz (*Zea mays* L) y de

trigo (*Triticum aestivum* L), se obtuvo una mejora en el ajuste de la dosis de N a aplicar cuando para el diagnóstico de la disponibilidad de N se emplearon en forma conjunta el contenido N-NO_3^- en el suelo y el Nan (Sainz Rozas *et al.*, 2008; Reussi Calvo *et al.*, 2013).

En la actualidad, no hay registros de trabajos que evalúen los niveles de Nan a nivel regional y, por ende, que permitan conocer el potencial actual de mineralización de N de los suelos bajo agricultura. Además, si bien hay trabajos en los cuales se ha evaluado la relación entre los contenidos de MO y Nan en el suelo (Studdert *et al.*, 2006), esta información no está disponible a escala regional. Los objetivos del presente trabajo fueron: 1) relevar y mapear los contenidos de COT y de Nan en suelos agrícolas de la provincia de Buenos Aires y 2) relacionar el contenido de COT y de Nan a escala regional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron mapas de COT y de Nan a partir de muestras de suelo sin georreferenciar provenientes de la provincia de Buenos Aires analizadas por el Laboratorio de suelos FERTILAB entre los años 2010 y 2013. El número de muestras fue 31.776 para COT y 6556 para Nan. En general, las muestras estaban compuestas por más de quince submuestras del estrato superficial (0-20 cm de espesor), provenientes de lotes con diferente uso del suelo e historia agrícola, siendo en su mayoría conducidos bajo SD. El contenido de COT se determinó siguiendo la norma IRAM-SAGPyA 29571-2 (2011) la que se basa en la metodología propuesta por Walkley & Black (1934). La concentración de Nan se cuantificó por el método descripto por Gianello & Bremner (1986).

Para generar los mapas se utilizó el programa Arc GIS 9.2 (ESRI, 2009) con cartografía base correspondiente a la división política de la provincia de Buenos Aires. Se generó un punto, latitud y longitud correspondiente al centro de cada partido o localidad, el cual se relacionó con el valor del estadístico utilizado. La normalidad de la distribución de los datos de COT y Nan fue testeada utilizando la rutina Proc. Univariate del programa Statistical Analysis System (SAS, 1985), siendo los mismos de distribución normal al 5% de probabilidad. Por lo tanto, se empleó el valor promedio de COT y Nan. Los rangos de valores de COT empleados para los mapas fueron: i) < que 11,3 g kg⁻¹, ii) entre 11,4 y 17,1 g kg⁻¹, iii) entre 17,2 y 22,9 g kg⁻¹, iv) entre 23,0 y 28,7 g kg⁻¹ y v) > que 28,7 g kg⁻¹ (Sainz Rozas *et al.*, 2011). Para Nan los rangos de valores fueron: i) < que 35 mg kg⁻¹, ii) entre 35 y 49 mg kg⁻¹, iii) entre 50 y 64 mg kg⁻¹, iv) entre 65 y 80 mg kg⁻¹, y v) > que 80 mg kg⁻¹ (Reussi Calvo *et al.*, 2011). El método de interpolación utilizado para realizar los mapas de COT y Nan fue el kriging ordinario (KO),

el cual cuantifica la estructura espacial de los datos (mediante el uso de semivariogramas) y los predice mediante la interpolación, usando estadística. Se asume que los datos más cercanos a un punto conocido tienen mayor peso o influencia sobre la interpolación, influencia que va disminuyendo conforme se aleja del punto de interés (Kravchenko & Bullock, 1999). Esta metodología es la más utilizada para caracterizar la variabilidad espacial y mapear propiedades edáficas en escalas que varían de cm a km (Warrick *et al.*, 1986; White *et al.*, 1997; Villatorio *et al.*, 2008). El modelo de covarianza que mejor ajustó para caracterizar la estructura espacial de ambas variables (COT y Nan) fue el esférico. Este modelo tiene un comportamiento lineal a distancias de separación pequeñas cerca del origen, pero se va aplanando a mayores distancias (Vieira *et al.*, 2000).

El KO obtiene los pesos o influencia (Y_{S_i}) a partir de la ecuación (1) (Schloeder *et al.*, 2001):

$$\sum_{i=1}^{i=n} \lambda_i Y[d(s_i, s_j)] + m = Y[d(s_o, s_i)], i = 1, \dots, n; \sum_{i=1}^{i=n} \lambda_i = 1 \quad (1)$$

donde **n** es el número de observaciones, **m** es el multiplicador de Lagrange utilizado para la eliminación de las restricciones, **λ** es el peso dado a cada una de las observaciones y la suma de todos los **λ** es igual a uno. Los subíndices **i** y **j** denotan los puntos muestreados, el subíndice **o** es el punto en estimación, **s** representa la medición efectuada (variable medida) y **d(s_o, s_j)** es la distancia entre dos puntos a partir del semivariograma mostrado en la ecuación (2):

$$Y[d(s_i, s_j)] = \left(\frac{1}{2}\right) Var[s(i) - s(j+h)] \quad (2)$$

donde **Var** es la varianza y **h** es la distancia entre los dos puntos. La semivarianza aumenta con el incremento de la distancia hasta adquirir un valor máximo, equivalente a la varianza de la población. Para ambas variables el rango de correlación o distancia **lag** en el cual se observó el máximo valor de semivarianza fue de 4 km.

Cuando se predicen valores en lugares no muestreados, es necesario comprobar la validez del modelo que se está utilizando. La validación cruzada utiliza todos los datos muestrales para estimar el modelo de autocorrelación. Cada vez que se retira un dato muestral y se lo predice con el resto de la muestra, se compara el valor predicho de ese punto con el valor observado. Este procedimiento se repite con cada uno de los puntos muestrales y, al final, la validación cruzada compara los valores observados con los calculados. Para comparar las predicciones con los valores observados (reales) y observar si no hay pérdida de información, el análisis geoestadístico proporciona diferentes estadísticos, tales como error de predicción medio estan-

darizado (EPME) y el coeficiente de determinación (R²). Para que las predicciones no sean sesgadas y no haya pérdida de información, la EPME tiene que ser cercana a cero y el R² cercano a 1 (Villatorio *et al.*, 2008; Peralta *et al.*, 2013).

$$EPME = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{[z(x_i) - z_{pred}]}{z_{desvió}} \quad (3)$$

donde **n** es el número de observaciones, **z_(xi)** es cada observación, **z_{pred}** la observación predicha por el modelo y **z_{desvió}** es el desvío general entre observados y predichos.

La interpolación fue evaluada también empleando la eficiencia de predicción (EP), que estima qué tan efectiva fue la interpolación respecto al uso del promedio general de los datos (Schloeder *et al.*, 2001). Un valor de 100 indica predicción perfecta mientras que valores bajos o negativos indican una pobre estructura espacial (Kravchenko, 2003). La EP fue calculada según la ecuación (4):

$$EP = \left(1 - \left\{ \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [z(x_i) - z_{pred}]^2}{\sum_{i=1}^{i=n} [z(x_i) - z_{prom}]^2} \right\}\right) \times 100 \quad (4)$$

donde **n** es el número de observaciones, **z_(xi)** es cada observación, **z_{pred}** la observación predicha por el modelo y **z_{prom}** es el promedio general de los datos.

Con la finalidad de relacionar los valores de COT y Nan a nivel regional se generó un archivo de puntos al azar del área en común entre ambos mapas, siendo el total de 1000 puntos. Para ello se utilizó la herramienta *Create Random Point* del programa ArcGIS 9.2 (ESRI, 2009). Luego, los puntos generados se asociaron con los valores de COT y Nan empleando la herramienta *Extract Values to Point* de ese mismo programa.

Para testear la relación entre variables se empleó el procedimiento PROC. REG del programa Statistical Analysis System (SAS, 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para COT y Nan, la relación entre los valores predichos y observados fue significativa ($p < 0,05$), siendo los coeficientes de determinación 0,79 y 0,67, respectivamente (Fig. 1a y b). Para ambas variables, la ordenada al origen no difirió de 0 ($p > 0,05$) y la pendiente no difirió de 1 ($p > 0,05$), tanto cuando se las analizó por separado como conjuntamente. Además, el EPME fue de 0,018 y -0,21 para COT y Nan, respectivamente. Por último, la EP fue 78% para COT y 67% para Nan, valores considerados aceptables para la aplicación de métodos de interpolación (Villatorio *et al.*, 2008).

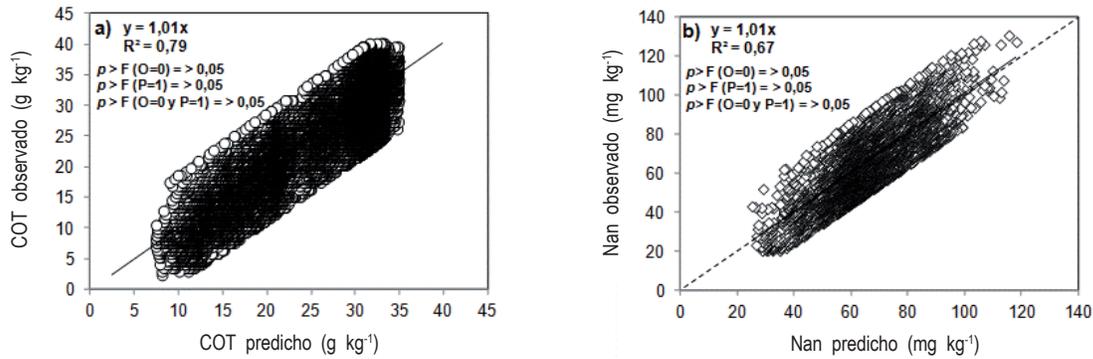


Figura 1. Relación entre los valores predichos y observados promedio para: a) carbono orgánico total (COT) y b) nitrógeno incubado en anaerobiosis (Nan).

La línea punteada representa la relación 1:1; O: ordenada al origen; P: pendiente.

Figure 1. Relationship between mean predicted and observed values of: a) total organic carbon (COT), and b) anaerobically incubated nitrogen (Nan). Dashed line represents the 1:1 relationship; O: intercept; P: slope.

La concentración de COT varió entre 3,5 y 80,8 g kg⁻¹ según la zona, aumentando desde el noroeste hacia el sureste de la provincia de Buenos Aires (Fig. 2a). Sainz Rozas *et al.* (2011) encontraron similares variaciones en el contenido de COT de los suelos agrícolas de la provincia de Buenos Aires. Según estos autores los niveles actuales

representan el 58,0 y el 63,4% del contenido de COT de los suelos prístinos para la zona norte y sur, respectivamente. A nivel regional, el contenido de COT de los suelos en su condición prístina está regulado principalmente por la temperatura media, las precipitaciones y textura del horizonte superficial, debido a que incide sobre el balance de

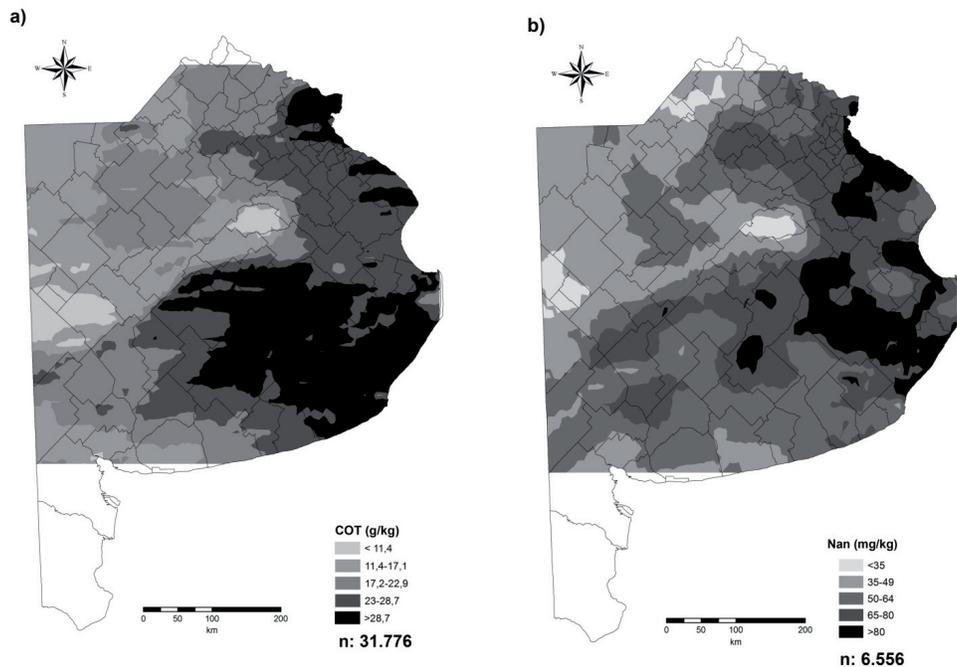


Figura 2. Variación de los contenidos de a) carbono orgánico total (COT) y de b) nitrógeno incubado en anaerobiosis (Nan) del horizonte superficial (0-20 cm) en suelos agrícolas de la Provincia de Buenos Aires. n: número de observaciones.

Figure 2. Variation of a) total organic carbon (COT), and b) anaerobically incubated nitrogen (Nan) of the surface horizon (0-20 cm) in cropped soils the Buenos Aires province. n: number of observations.

C (Álvarez & Steinbach, 2006a). El mayor contenido de COT en los suelos agrícolas del este en relación a los suelos del oeste podría explicarse por las mayores precipitaciones y, por ende, un mayor aporte de C al sistema. Por el contrario, la disminución en el nivel de COT de sur a norte sería producto del incremento de la temperatura media, lo cual acelera los procesos de degradación de la MO (Álvarez & Steinbach, 2006a). Además, mayor contenido de COT se asocian a mayores contenidos de arcilla, producto de la protección física y química relacionada con dicha fracción mineral frente a la acción de los microorganismos (Six *et al.*, 2002). Por lo tanto, variaciones en el contenido de la fracción fina del horizonte superficial entre regiones también ayudarían a explicar las variaciones en los contenidos de COT de los suelos de la Provincia de Buenos Aires. Diovisalvi *et al.* (2014) encontraron contenidos de limo + arcilla en el horizonte superficial que variaron entre 18,6 y 57,4% para la zona oeste y sudeste de la Región Pampeana, respectivamente. Además, Buschiazzi *et al.* (1991) determinaron que en suelos del oeste los niveles de COT variaban con el contenido de limo + arcilla. En ambos trabajos, se observaron mayores contenidos de COT frente al incremento en los contenidos de arcilla en el suelo.

Por otro lado, dentro de una misma región, el contenido de COT puede variar debido a los cambios en el manejo y uso del suelo (Studdert & Echeverría, 2000). En general, el laboreo lleva a una caída en el contenido de COT, ya que favorece la aireación, el contacto sustrato-suelo y la exposición de las fracciones lábiles del C a la degradación por los microorganismos (Weil & Magdoff, 2004). No obstante, la incorporación de gramíneas en la secuencia de cultivo sumada a una fertilización balanceada favorece la producción de residuos y, de esta forma, el incremento del aporte de C al sistema (Domínguez & Studdert, 2006; Álvarez, 2005). A modo de ejemplo, para el partido de General Balcarce ($n = 2060$) se determinó un valor promedio de COT de $32,1 \text{ g kg}^{-1}$ siendo el mínimo de $13,3 \text{ g kg}^{-1}$ y el máximo de $51,6 \text{ g kg}^{-1}$. Esto pone en evidencia el efecto de las diferentes historias de manejo y de uso del suelo dentro de una misma región, y que los mapas indican un valor orientativo de las variables interpoladas (Fig. 2a).

Los niveles de Nan variaron entre 12 y 260 mg kg^{-1} según la zona, siendo mayores los niveles en el este y menores en el oeste de la provincia de Buenos Aires (Fig. 2b). Estos resultados muestran los diferentes potenciales de mineralización de N que poseen dichos suelos, lo que debería ser considerado al momento de ajustar la dosis de

N para los cultivos (Sainz Rozas *et al.*, 2008; Reussi Calvo *et al.*, 2013). Los altos contenidos Nan en la zona este se explicarían en parte por los mayores contenidos de COT (Fig. 2a). Se ha determinado una estrecha asociación entre los contenidos de COT y Nan en horizontes superficiales del Sudeste Bonaerense (Studdert *et al.*, 2006). Sin embargo, algunos partidos del este de la provincia presentaron altos y bajos contenidos de Nan, aún para niveles medios de COT (Fig. 2), lo cual podría explicarse por la diferente historia agrícola de los lotes y por una más estrecha relación del Nan con el COP que con el COT (Fabrizzi *et al.*, 2003; Studdert *et al.*, 2006). Genovese *et al.* (2009) determinaron una disminución en la concentración de Nan frente al aumento en los años de agricultura, lo cual es coincidente con la caída de COP (Studdert *et al.*, 2010). Para el Sudeste Bonaerense, Diovisalvi *et al.* (2009) determinaron que un 35 y 85% de lotes de zonas de producción agrícola-ganadera y agrícola, respectivamente, presentaban valores de Nan inferiores a 100 mg kg^{-1} en el estrato superficial, lo que pone en evidencia el efecto del uso del suelo sobre el contenido de Nan. Cozzoli *et al.* (2010) observaron mayores niveles de Nan en situaciones bajo pastura que en situaciones bajo agricultura con SD o la labranza convencional. Por otra parte, al igual que para COT, la textura incide sobre la acumulación de Nan debido a su efecto sobre la protección de la fracción orgánica más lábil frente a la actividad microbiana, lo cual también ayuda a explicar las variaciones observadas de este a oeste en las concentraciones de Nan. Si bien es escasa la información para suelos prístinos, es válido mencionar que para suelos del Sudeste Bonaerense los niveles de Nan serían, en promedio, de $138,4 \text{ mg kg}^{-1}$, con valores mínimo y máximo de $70,7$ y $222,0 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente (Urquieta, 2008). Para suelos de textura más gruesa, se ha determinado que el contenido de Nan oscila entre 55 y 75 mg kg^{-1} , según el porcentaje de arena de los mismos (Autor 1, *com. pers.*). Considerando contenidos actuales promedio de Nan para los partidos de General Balcarce ($n = 839$) de $70,5 \text{ mg kg}^{-1}$ y General Villegas ($n = 110$) de $45,0 \text{ mg kg}^{-1}$, los contenidos de Nan habrían disminuido por efecto de la actividad agrícola entre 50 y 30%, respectivamente. No obstante, es necesario profundizar la investigación empleando muestras apareadas con suelos prístinos para confirmar estos resultados.

En la Figura 3 se presentan los puntos en común de ambos mapas (Fig. 2 a y b) empleados para la confección de la relación entre el contenido de COT y Nan de los suelos.

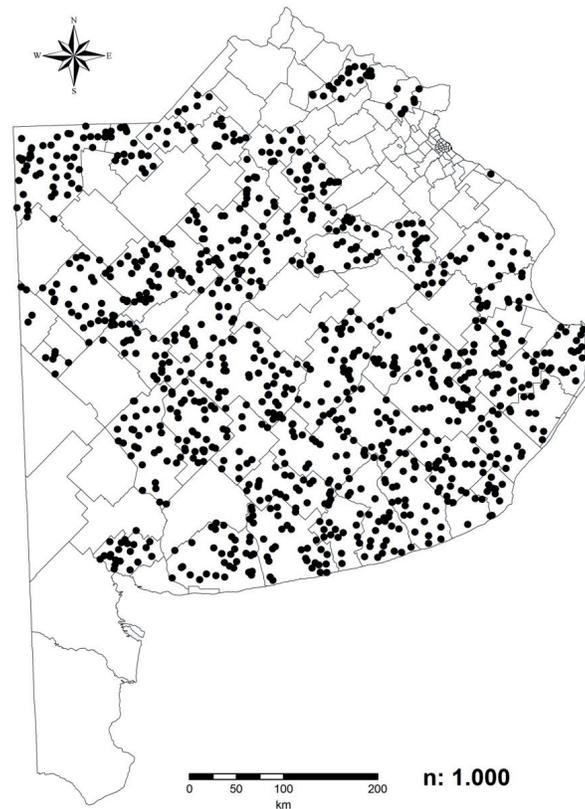


Figura 3. Distribución de sitios de muestreo seleccionados al azar que presentan información conjunta de carbono orgánico total (COT) y nitrógeno incubado en anaerobiosis (Nan), para evaluar la relación entre estas variables. n: número de observaciones.

Figure 3. Distribution of sampling sites randomly selected based on combined measurement of both variables: total organic carbon (COT) and anaerobically incubated nitrogen (Nan). n: number of observations.

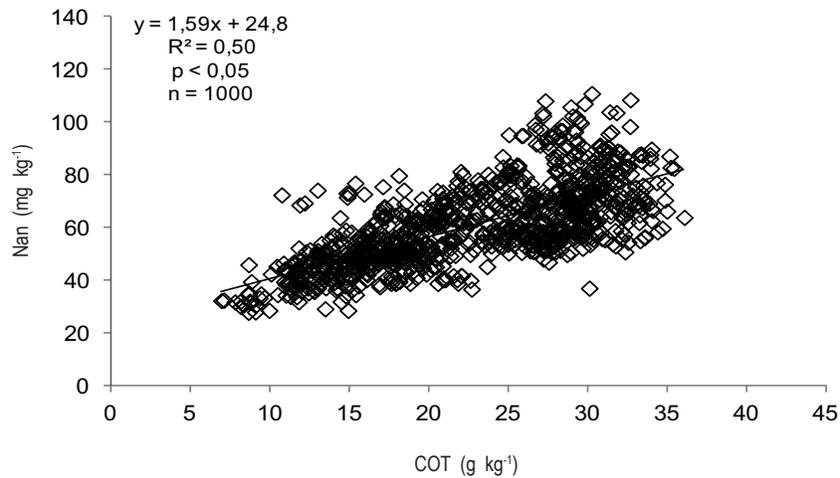


Figura 4. Relación entre el contenido de carbono orgánico total (COT) y el contenido de nitrógeno incubado en anaerobiosis (Nan) del horizonte superficial (0-20 cm) de suelos agrícolas de la Provincia de Buenos Aires. n: número de observaciones.

Figure 4. Relationship between total organic carbon (COT) and anaerobically incubated nitrogen (Nan) contents of surface horizon (0-20 cm) of cropped soils in Buenos Aires province. n: number of observations.

Se encontró una estrecha asociación ($p < 0,05$) entre los niveles de COT y Nan, siendo el coeficiente de determinación del 50% (Fig. 4). Estos resultados coinciden con lo determinado por Studdert *et al.* (2006) a escala experimental. No obstante, a medida que el contenido de COT de los suelos aumenta (mayormente en los suelos del este de la región), también se incrementa la variabilidad en los valores de Nan (Fig. 4). Lo mencionado puede explicarse, en parte, por la elevada protección del COT en estos suelos y la diferente historia agrícola de los lotes, lo cual produce distinto potencial de mineralización (estimado con el Nan y asociado con la proporción de fracciones lábiles de la MO) para niveles similares de COT. Esto coincide con lo informado por Diovisalvi *et al.* (2010) quienes mostraron menor asociación entre COT y Nan en suelos de textura más fina. Además, la mineralización del N del suelo depende del tamaño de la fracción lábil de N y del sistema de labranza (Fabrizzi *et al.*, 2003). Considerando que el contenido de MO no ha mostrado una estrecha asociación con la respuesta a N en los diferentes cultivos de la región (Quiroga *et al.*, 2006; Álvarez & Steinbach, 2006b; Reussi Calvo *et al.*, 2013), la estimación del contenido de Nan de los suelos a partir de dicha variable no sería una práctica recomendable a los fines del diagnóstico de N a escala de lote. No obstante, los resultados obtenidos en este trabajo representan una primera aproximación respecto a la relación entre el COT y el Nan a nivel regional, empleando información de análisis de rutina. Además, confirman lo determinado a escala experimental por diferentes autores (Fabrizzi *et al.*, 2003; Studdert *et al.*, 2006), y por lo tanto, los mapas y las relaciones presentados podrían ser utilizados como orientativos en una primera instancia de la elaboración de diagnósticos de fertilidad cuando no se dispusiera de información a escala de lote.

CONCLUSIÓN

Los suelos de la provincia de Buenos Aires presentaron en general mayores niveles de COT y de Nan en el este que en el oeste. La variación en el contenido de Nan evidencia el diferente aporte potencial de N por mineralización de los suelos, aspecto que debería ser considerado al momento de ajustar la dosis de N para los cultivos.

A nivel regional la asociación entre los contenidos de COT y de Nan fue significativa. No obstante, la estimación del contenido de Nan a partir del COT no sería una práctica recomendable a los fines del diagnóstico de N a escala de

lote. Sin embargo, podrían ser utilizados en una primera instancia para el diagnóstico de la fertilidad a escala regional y como orientativos a escala de lote.

AGRADECIMIENTOS

La obtención y publicación de estos resultados ha sido posible dentro del marco del PICT 2012-1092 financiado por el FONCYT y la Universidad Nacional de Mar del Plata.

Al Dr. Nahuel Peralta por sus aportes y contribuciones en el análisis geostadístico de la información.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, R. 2005. A review of nitrogen fertilizer and conservation tillage effects on soil organic carbon storage. *Soil Use Manage.* 21: 38-52.
- Álvarez, R & HS Steinbach. 2006a. Factores climáticos y edáficos reguladores del nivel de materia orgánica. *En: R Álvarez (ed). Materia Orgánica. Valor Agronómico y Dinámica en Suelos Pampeanos.* Pp. 31-40. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.
- Álvarez, R & HS Steinbach. 2006b. Valor agronómico de la materia orgánica. *En: R Álvarez (ed). Materia Orgánica. Valor Agronómico y Dinámica en Suelos Pampeanos.* Pp. 13-29. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.
- Barbieri, PA; HE Echeverría & HR Sainz Rozas. 2009. Dosis óptima económica de nitrógeno en trigo según momento de fertilización en el sudeste bonaerense. *Ci Suelo* 27: 115-125.
- Buschiazco, DE; AR Quiroga & K Stahr. 1991. Patterns of organic matter distribution in soils of the semiarid argentinean pampas. *Z. Pflanzenernahr. Bodenk.* 154: 473-441.
- Carrizo, ME; MA Pilatti; CA Alesso & SC Imhoff. 2011. Atributos químicos de suelos argiudoles cultivados y no cultivados del departamento las colonias (Santa Fe). *Ci Suelo* 29(2): 173-179.
- Cozzoli, MV; N Fioriti; GA Studdert; GF Domínguez & MJ Eiza. 2010. Nitrógeno liberado por incubación anaeróbica y fracciones de carbono en macro- y microagregados bajo distintos sistemas de cultivo. *Ci Suelo* 28: 155-167.
- Diovisalvi, N; A Berardo & N Reussi Calvo. 2009. Nitrógeno anaeróbico potencialmente mineralizable: una nueva herramienta para mejorar el manejo de la fertilización nitrogenada. *Actas Simposio Fertilidad 2009.* Pp. 169-171. 12 al 13 de mayo de 2009. Rosario, Santa Fe, Argentina.
- Diovisalvi, N; NI Reussi Calvo; GA Studdert & GF Domínguez. 2010. Relación entre el nitrógeno incubado anaeróbico y fracciones de carbono orgánico en suelos con diferente textura. *Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.* 31 de mayo al 4 de junio de 2010. Rosario, Santa Fe, Argentina. En CD.
- Diovisalvi, N; GA Studdert; NI Reussi Calvo; GF Domínguez & A Berardo. 2014. Estimating soil particulate organic carbon through total soil organic carbon. *Ci Suelo (en prensa).*
- Domínguez, GF & GA Studdert. 2006. Balance de carbono en un molisol bajo labranza convencional. *Actas XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.* 19 al 22 de septiembre de 2006. Salta-Jujuy, Argentina. En CD

- Echeverría, HE; N San Martín & R Bergonzi. 2000. Métodos rápidos de estimación del nitrógeno potencialmente mineralizable en suelos. *Ci Suelo* 18: 9-16.
- ESRI. 2009. ArcMap 9.2 -- Licencia 37142261_v9 - del set ArcGIS Desktop.
- 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.
- Genovese, F; HE Echeverría; GA Studdert & H Sainz Rozas. 2009. Nitrógeno de amino-azúcares en suelos: calibración y relación con el nitrógeno incubado anaeróbico. *Ci Suelo* 27: 225-236.
- Gianello, C & JM Bremner. 1986. A simple chemical method of assessing potentially available organic nitrogen in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 17: 195-214.
- IRAM-SAGPyA 29571-2. 2011. Determinación de materia orgánica en suelos. Parte 2: Determinación de carbono orgánico oxidable por mezcla oxidante fuerte, escala semi-micro. <http://www.iram.org.ar/>. Último acceso 29/03/2014.
- Kravchenko, A. & D. Bullock. 1999. A comparative study of interpolation methods for mapping soil properties. *Agron. J.* 91: 393-400.
- Kravchenko, A. 2003. Influence of spatial structure on accuracy of interpolation methods. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 1564-1571.
- Pagani, A; HE Echeverría; H Sainz Rozas & PA Barbieri. 2008. Dosis óptima económica de nitrógeno en maíz bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. *Ci Suelo* 26: 183-193.
- Pagani, A & HE Echeverría. 2011. Performance of sulfur diagnostic methods for corn. *Agron. J.* 103: 413-421.
- Peralta, NR; JL Costa; M Balzarini & M Castro Franco. 2013. Delineation of management zones with digital elevation models and soil depth. *Journal of science and technology of the Americas* 38(6): 1-7.
- Quiroga, A; D Funaro; E Noellemeyer & N Peinemann. 2006. Barley yield response to soil organic matter and texture in the Pampas of Argentina. *Soil Tillage Res.* 90: 63-68.
- Reussi Calvo, NI; HE Echeverría & H Sainz Rozas. 2011. Diagnosing sulphur deficiency in spring red wheat: plant analysis. *J. Plant Nutr.* 34: 573-589.
- Reussi Calvo, NI; H Sainz Rozas; HE 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.
- Sainz Rozas, H; HE Echeverría & H Angelini. 2011a. Niveles de carbono orgánico y pH en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana argentina. *Ci Suelo* 29: 29-37.
- SAS. 2009. SAS OnlineDoc® 9.2. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA. <http://www.sas.com>. Último acceso mayo de 2010.
- Schloeder, CA; NE Zimmerman & MJ Jacobs. 2001. Comparison of methods for interpolating soils properties using limited data. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 470-479.
- Six, J; RT Conant; EA Paul & K Paustian. 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant Soil* 241: 155-176.
- Studdert, GA & HE Echeverría. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 1496-1503.
- Studdert, GA; GF Domínguez; N Fioriti; MV Cozzoli; NV Diovisalvi & MJ Eiza. 2006. Relación entre nitrógeno anaeróbico y materia orgánica de Molisoles de Balcarce. Actas XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 19 al 22 de septiembre de 2006. Salta-Jujuy, Argentina. En CD.
- Studdert, GA; GF Domínguez; MA Agostini & MG Monterubbianesi. 2010. Cropping systems to manage Southeastern Pampas' Mollisol health. I. Organic C and mineralizable N. *In: X Liu; C Song; RM Cruse; T Huffman (eds)*. «New Advances in Research and Management of World Mollisols, Proceedings of the International Symposium on Soil Quality and Management of World Mollisols». Pp. 199-200. 13 al 16 de julio de 2010. Harbin, Heilongjiang, R.P. China.
- Urquieta, JF. 2008. Nitrógeno potencialmente mineralizable anaeróbico en suelos del sudeste bonaerense y su relación con la respuesta a nitrógeno en trigo. Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Argentina.
- Vieira, SR. 2000. Uso de geoestadística em estudos de variabilidade espacial de propriedades do solo. *En: RF Novais (ed)*. Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa. pp. 3-87. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- Villatoro, M; C Enríquez & F Sancho. 2008. Comparación de los interpoladores IDW y Kriging en la variación espacial de pH, CA, CICE y P del suelo. *Agronomía Costarricense* 32: 95-105.
- Walkley, A & IA Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed codification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-37.
- Warrick, AW; DE Meyers & DR Nielsen. 1986. Geoestatistical methods applied to soil science. *In: A Klute (ed)*. Methods of Soil Analysis. Part 1. 2nd. ed. Agron. Conogr. 9. Pp. 53-82. ASA and SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
- Weil, RR & F Magdoff. 2004. Significance of soil organic matter to soil quality and health. *In: K Magdoff; RR Weil (eds)*. Soil organic matter in sustainable agriculture. Pp. 1-43. CRC Press, Florida, USA.
- White, JG; RM Welch & WA Norvell. 1997. Soil zinc map of the USA using geostatistics and geographic information systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 185-194.