

INFORMACIÓN QUÍMICA DE ARGIUDOLES DEL CENTRO DE SANTA FE (ARGENTINA)¹

I) NITRÓGENO Y FÓSFORO EXTRACTABLE

PILATTI, M. A.² & GRENON, D. A.³

RESUMEN

A fin de conocer la riqueza edáfica de nutrimentos en el horizonte A (0 – 30 cm) de Argiudoles del centro de Santa Fe en el lapso 1998 a 2002, se analizan numerosos datos de fósforo extractable (P) y de las formas nitrogenadas: Nitrógeno Orgánico Total (Nt), Nitrógeno Pasivo (Np), Nitrógeno Activo (Nac), Nitratos (N-NO₃) y Amonio (N-NH₄). Se estudia la distribución estadística de la población de datos, se agrupan por categoría según su tenor y se dan orientaciones acerca del número de submuestras necesarias para obtener una muestra representativa con determinada exactitud.

El Nt presenta una distribución poblacional normal (569 lotes), concentrándose el 66% entre valores de 1200-1600 g Mg⁻¹ con un promedio de 1424 g Mg⁻¹. Se estima una extracción del 27% de la reserva de nitrógeno del suelo, equivalente a 2085 kg N ha⁻¹. Para lograr una exactitud del 5% se debe componer una muestra con 36 submuestras. El Np, fracción estable del Nt, tiene distribución normal, presentando una relación directa con Nt (R²=0,85) y un promedio de 1250 g Mg⁻¹. Se advierte que es posible que una parte del Np –evaluado por fraccionamiento granulométrico- tenga una tasa de “turnover” superior al supuesto y, por lo tanto, sea una fuente de N para los cultivos. El Nac, responsable mayoritario de la nutrición de los cultivos por mineralización, no tiene distribución normal presentado los valores más frecuentes en el intervalo 101-250 g Mg⁻¹ (65% de los datos), mostrándose sensible para diferenciar usos del suelo. De las formas solubles del nitrógeno del suelo disponible para el cultivo, N-NO₃ y N-NH₄, se informa sobre su valor medio, desvío y distribución en el perfil. También se presenta el efecto de prácticas de manejo del suelo sobre el Nt y sus fracciones, destacándose que más del 70 % de los casos evaluados presentan prácticas agotadoras.

Del análisis de 661 casos de P surge que no tiene distribución normal; el 57% se concentra entre los valores de 11 y 30 g Mg⁻¹, con un promedio de 25 g Mg⁻¹. Un 25% de los lotes presentan un agotamiento del 74% del P contenido en su condición natural. Se proponen 4 categorías de lotes según su riqueza en P. En promedio en la zona se habrían exportado con la producción agropecuaria–al menos -134 kg de P ha⁻¹. Se debe componer una muestra con 20 submuestras para obtener un dato analítico con una exactitud del 20% y una precisión del 95%. También se muestra la distribución de P en todo el perfil de suelo.

Palabras claves: Argiudoles, fracciones nitrógeno edáfico, fósforo extractable, agotamiento, distribución poblacional, tamaño de muestra.

1.- Facultad de Ciencias Agrarias (UNL). (3080) Kreder 2805, Esperanza, provincia de Santa Fe. Email: mpilatti@fca.unl.edu.ar. Trabajo subsidiado por Secretaría Política Universitarias (2006): “Potencialidad y vulnerabilidad de la base de recursos naturales del departamento Las Colonias (Santa Fe, Argentina)” y UNL CAI+D (2006).

2.- Ing. Agrónomo, M.Sc. en Riego y Drenaje, profesor Asociado de Edafología, FCA (UNL).

3.- Ing. Agr., DCSI, Profesor Asociado de Agromática, FCA (UNL).

Manuscrito recibido el 1º de octubre de 2007 y aceptado para su publicación el 19 de febrero de 2008.

SUMMARY

Chemical information of argiudolls of the center of Santa Fe (Argentina). I) nitrogen and extractable phosphorus.

In order to know the nutrients contents in the A horizon (0 - 30 cm) of Argiudolls of the center of Santa Fe from 1998 to 2002, several data of extractable phosphorus (P) were analyzed. Also it is shown different pools of nitrogen: Total Organic nitrogen (Nt), Passive Nitrogen (Np), Active Nitrogen (Nac), Nitrates (N-NO₃) and Ammonium (N-NH₄). In this work the statistical distribution of the data is studied. Data is grouped for category according to its tenor, and orientations are given about the number of necessary sub-samples to obtain a representative sample with certain accuracy.

The Nt presents a normal distribution (569 plots), with 66% of values varying from 1200 to 1600 g Mg⁻¹, with an average of 1424 g Mg⁻¹. We estimate an extraction of 27% of the reservation of nitrogen, equivalent to 2085 kg N ha⁻¹. To achieve an accuracy of 5% each sample should be composed with 36 sub-samples. The Np, the stable fraction of the Nt, has normal distribution, showing a direct relationship with Nt (R²=0,85), and an average of 1250 g Mg⁻¹. It has to be remarked that part of the Np - evaluated by granulometric separation - probably has a turnover rate greater than to that it is supposed and, therefore, it may be a source of N for the crops. The Nac, mainly responsible of the crop nutrition through mineralization, doesn't have normal distribution. The most frequent values (65% of the data) are in the range 101-250 g Mg⁻¹, being sensitive to identify different soil management. The average values, their deviation, and distribution in the profile of N-NO₃ and N-NH₄ are also shown. The effect of different soil management systems on the Nt and its fractions is discussed. Data indicates that more than 70% of the evaluated cases were submitted to degrading practices.

661 cases of P were analyzed, indicating that P doesn't have normal distribution, with 57% of data varying from 11 to 30 g Mg⁻¹, and an average value of 25 g Mg⁻¹. 25% of plots present an exhaustion of 74% of the P that soils have in their natural condition. It is proposed 4 categories of soils according to their P content. It is estimated that 134 kg of P ha⁻¹ were exported with the agricultural production. A soil sample should be composed for 20 sub-samples to obtain data with an accuracy of 20% and a precision of 95%. The P distribution in the soil profile is also shown.

Key words: Argiudolls, fractions of nitrogen, extractable phosphorus, exhaustion, data distribution, sample size.

INTRODUCCIÓN

Durante la última década del siglo XX asesores y productores de la región pampeana han incrementado su atención por el estado del suelo, tanto por su fertilidad como por el efecto de diversas técnicas vinculadas con su manejo: labranza vertical, fertilización, siembra directa, riego suplementario y enmiendas cálcicas. Crece así la necesidad de

conocer la riqueza y disponibilidad de nutrientes así como el estado que presentan otras propiedades químicas del suelo consideradas como indicadores de fertilidad y/o degradación. Ese conocimiento -en escala regional- permitiría ubicar la calidad edáfica de un determinado lote con respecto al contexto zonal y calificarlo si se encuentra entre los más agotados o los mejores provistos. Proveer de esta información sobre nitró-

geno y fósforo es motivo de este trabajo.

En Argentina desde hace más de dos décadas se utilizan modelos de simulación de cultivos con fines docentes y de investigación en facultades de Agronomía (Norero & Pilatti, 2002) e institutos de investigación como INTA. Es de esperar que la asistencia técnica y los servicios de Extensión también los usarán, especialmente si se tiene en cuenta los avances en pronósticos meteorológicos y la expansión de la agricultura de precisión. Los modelos requieren de información básica sobre cultivos, condiciones meteorológicas y suelos (Pilatti *et al.*, 1993; Norero & Pilatti, 2002, Pilatti & Norero, 2004). Zonalmente es útil conocer para cada propiedad edáfica su valor medio e intervalos de variación a fin de incorporarlos a la simulación: para esto también se realiza esta indagación.

«El análisis no puede ser mejor que la muestra». Así encabeza Jackson (1982) uno de los capítulos de su libro «Análisis químico de suelos» poniendo énfasis en la importancia de la toma de muestras, especialmente en su representatividad; para ello resulta crítico conocer qué número de extracciones deben realizarse para componer una muestra cuyo resultado analítico provea información con determinada exactitud. Orientar sobre aquel número y exactitud motiva a este trabajo.

En esta serie de trabajos se da a conocer la información química edafológica disponible en el período 1998 a 2002 sobre suelos Argiudoles de la Pampa llana santafesina este, principalmente del departamento Las Colonias, para tener así un panorama regional y criterios que permitan emitir juicios agronómicos acerca del estado de conservación o agotamiento de nutrimentos en un lote determinado. Aquí se informa sobre el tenor de fósforo extractable (P) y las formas del nitrógeno en el suelo: Nitrógeno Orgánico Total (Nt), Nitrógeno Pasivo (Np), Nitró-

geno Activo (Nac), Nitratos (N-NO₃) y Amonio (NH₄). También se presenta su distribución en el perfil.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomaron muestras perturbadas de suelos compuestas por 30 extracciones (Pilatti & Orellana, 1995) del horizonte A, hasta una profundidad de 30 cm de Argiudoles típicos y ácuicos ubicados dentro del departamento Las Colonias (provincia de Santa Fe). Entre 1998 y 2002 se evaluaron 661 lotes para fósforo extractable (Bray & Kurtz, 1945) y en 569 se analizó nitrógeno orgánico total (Nt), nitrógeno pasivo (Np) y activo (Nac) (Jackson, 1982 y fraccionamiento según Imhoff *et al.*, 1995). Los nitratos (NO₃, fenol disulfónico, Pages, 1982) se evaluaron en 121 lotes entre septiembre y noviembre de 1998. Además Hein & Panigatti (1985, 1987) evaluaron amonio (NH₄, Bremner & Keeney, 1965). La distribución en el perfil se obtuvo de datos propios inéditos y de los Mapa de Suelos de la Provincia (Mosconi *et al.*, 1981), del departamento Las Colonias (De Petre *et al.*, 1977) y Cartas de Suelo de Esperanza-Pilar (INTA, 1991a), Nelson (INTA Rafaela, no publicado); San Justo (INTA, 1992) y San Carlos-Coronda (INTA, 1991b).

Es para destacar que, en el lapso analizado, el uso de abonos fosforados y nitrogenados aún no se había generalizado y donde se aplicaban se utilizaban dosis bajas (50 a 80 kg ha⁻¹ de urea y similares dosis de fosfato diamónico o superfosfato triple de calcio) en sólo algunos de los cultivos de la rotación. Menos del 10% de la superficie sembrada se fertilizaba. El uso de los suelos era predominantemente para ganadería lechera con secuencia de cultivos que incluían al cultivo de alfalfa durante 2,5 a 4 años y maíz para grano y/o silo. Existía una proporción cre-

ciente (no determinada) de lotes que se destinaban exclusivamente a la agricultura con secuencia de cultivos trigo-soja y la eventual inclusión de maíz. Si bien no se disponen de evaluaciones de situaciones prístinas, se considerará que aquellos lotes que se ubiquen por encima del cuartil superior son los que más se asemejan a aquella condición y se los tomará como referencia.

La ecuación 1 permite estimar el número de submuestras que deberían componer una muestra compuesta para lograr un determinado nivel de exactitud E , entendiéndose como tal la magnitud del error que se tolera, donde S es el desvío estándar, n el número de sondeos y t corresponde, para $(n-1)$ grados de libertad, al nivel de probabilidad 0,05 (Forshyte, 1970).

$$n = S^2 * t^2 / E^2 \text{ [Ecuación 1]}$$

o también $n = (S/M)^2 * t^2 / (E/M)^2$ [Ecuación 2] donde M es la media poblacional

así, S/M es el coeficiente de variación y

E/M es la exactitud relativa, expresada en tanto por uno.

Los datos se procesaron usando análisis estadístico convencional utilizando el programa Infostat/P Versión 1.1 (Grupo Infostat, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

FÓSFORO EXTRACTABLE

En la Fig. 1 se observa la distribución de frecuencias relativas porcentuales, la cual presenta valores más frecuentes en el intervalo de 11 a 30 g Mg^{-1} (55% de los datos), revelando una distribución –no normal- muy desplazada hacia los bajos contenidos. El valor promedio de la serie es de 25 g Mg^{-1} con un desvío estándar de 14,7 g Mg^{-1} .

Suponiendo que valores por encima del cuartil superior son lotes con bajo nivel de extracción mineral y se asemejan a las condiciones naturales, en ellos el P oscila entre 41 y 87 g Mg^{-1} con un promedio de 54 g Mg^{-1} .

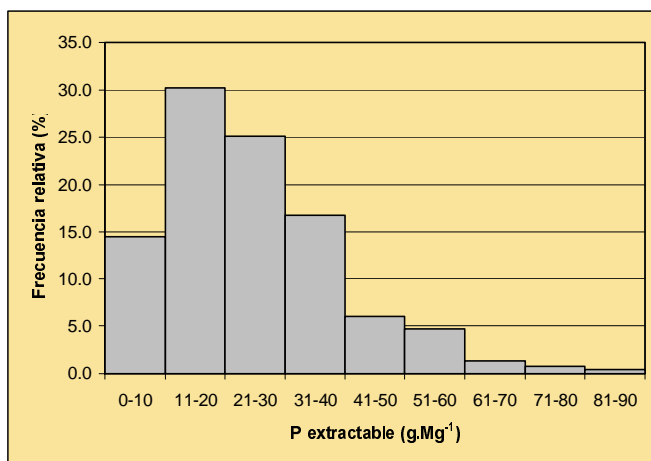


Fig. 1: Distribución de frecuencias relativas del contenido de fósforo extractable correspondientes a 611 muestras del horizonte A (0 a 30 cm) de Argiudoles del centro de Santa Fe.

Por otra parte los valores por debajo el cuartil inferior corresponden a lotes agotados con tenores inferiores a 14 g Mg⁻¹. En promedio los lotes muy deteriorados contienen sólo el 26% del P que hay en la situación “natural”.

En promedio en la zona, para una profundidad de 30 cm con densidad del suelo de 1,35 g cm⁻³, se habrían exportado con la producción –al menos- 134 kg de P ha⁻¹; lo que equivale a casi 300 kg de superfosfato triple de calcio ha⁻¹. Esta cifra seguramente subestima la real extracción ya que no tiene en cuenta la natural reposición que se efectúa al P extractable a partir del material de origen de estos suelos, ricos en P.

A partir del análisis de los datos se proponen cuatro categorías de lotes según su riqueza en P, los que:

- a) mantienen un elevado contenido de P (más de 41 g Mg⁻¹);
- b) se encuentran en proceso de posible agotamiento (cuartil medio superior, entre 22 y 41 g Mg⁻¹);

- c) con tendencia al agotamiento de P, (cuartil medio inferior, entre 14 y 21 g Mg⁻¹);
- d) están agotados, con menos 14 g Mg⁻¹.

Del análisis de esta gran cantidad de datos se obtiene una estimación del coeficiente de variación de la muestra poblacional: 45%. A partir de la ecuación (2) puede calcularse que para obtener una exactitud del 0,2 (20%) y una precisión del 95% la muestra compuesta debería integrarse por 20 submuestras (n), así en 95 de 100 casos que se analicen, el valor de P del análisis estará ± 20% en torno al valor informado. Esa exactitud es aceptable si se quiere conocer la fertilidad química de un lote con vistas al abonado. Pero para “monitorear” el nivel de P después cada ciclo de rotación (entre 4 y 6 años) la exactitud no debería superar el 10%, para ello “n” debería estar compuesta por 81 submuestras.

A partir del análisis de 8 perfiles de suelos en la Fig. 2 se muestra la relación existente entre la concentración de P de cada horizon-

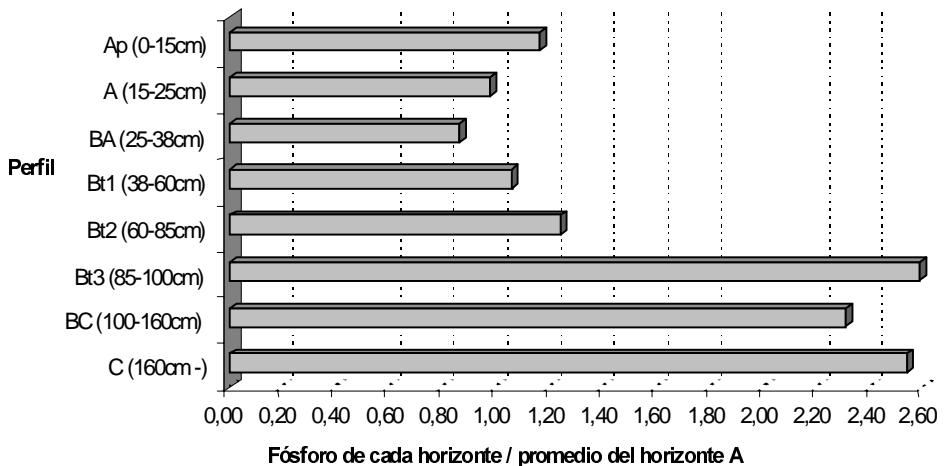


Fig. 2: Distribución relativa de fósforo extractable en los diversos horizontes de Argiudoles del centro de Santa Fe, respecto al tenor evaluado para el horizonte A (0 a 25 cm, promedio de 8 perfiles).

te con respecto al valor medio en todo el horizonte A (Ap+A). Se observan dos estratos por debajo del promedio (A y BA), resultado de la acción extractiva de las raíces, del menor contenido orgánico que en el Ap y de la baja movilidad de este nutrimento. Se advierte un aumento en profundidad, registrándose valores que -en algunos perfiles- superan las 100 g Mg⁻¹ en profundidad; lo que revela la riqueza en P del material de origen de estos suelos.

NITRÓGENO ORGÁNICO TOTAL

La distribución de frecuencias (Fig. 3) muestra una distribución normal. El valor promedio es de 1.467 g Mg⁻¹.

Suponiendo que los valores ubicados a la derecha de la Figura 3 corresponden a lotes con bajo nivel de extracción mineral y se asemejan a las condiciones naturales en ellos el Nt supera a 1800 g Mg⁻¹ con tenores entre 1801 y 2190 g Mg⁻¹, siendo su promedio 1939 g Mg⁻¹. Estas muestras se consideran repre-

sentativas del estado natural o prístino del suelo.

Si se asume que los lotes con menos de 1201 g Mg⁻¹ corresponden a lotes agotados (11% de los lotes, 1152 g Mg⁻¹ de promedio), en éstos hay sólo el 59% del Nt que había en la situación prístina. Por lo tanto, para una profundidad de 30 cm y densidad del suelo de 1,35 g/cm³, se habrían consumido y/o perdido 3187 kg N ha⁻¹ en 100 a 140 años de uso del suelo; en 1856 se fundó Esperanza ciudad cabecera del departamento Las Colonias

La disminución en escala regional se obtiene relacionando el tenor promedio de los lotes laboreados (1424 ± 173 g Mg⁻¹) con respecto a las situaciones poco alteradas (más de 1800 g Mg⁻¹), esto representa un consumo promedio de 2085 kg N ha⁻¹ (27%), lo que equivale a 4532 kg urea ha⁻¹.

En el Cuadro 1 se propone una clasificación para los lotes de la Región según su tenor de Nt, distinguiendo aquellos que conservan la fertilidad química de los agotados.

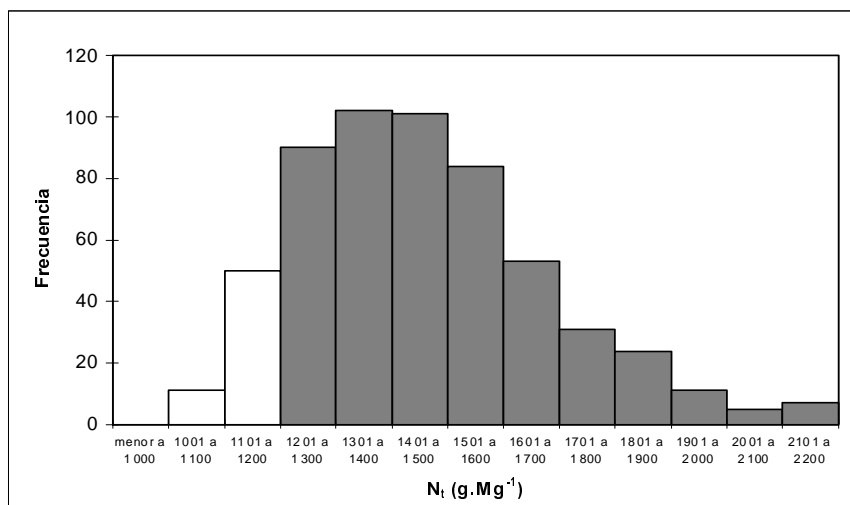


Fig. 3: Distribución de frecuencias de Nitrógeno orgánico total (Nt) de horizontes A de Argiudoles del centro de Santa Fe.

El desvío estándar de la muestra poblacional es de 220 g Mg⁻¹ y su coeficiente de variación: 15%. A partir de la ecuación (2) puede calcularse que, -con una exactitud del 0,05 (5%) y una precisión del 95%- la muestra compuesta debería estar integrada por 36 submuestras (n), así en 95 de 100 casos que se analicen, el valor de Nt del análisis estará ± 5% en torno al valor actual del lote. En cambio, si se desea obtener una exactitud del 2% el número de extracciones debería ser de 225.

Para evaluar si ha cambiado significativamente el contenido de Nt al cabo de un cierto lapso, por ejemplo después de 5 años, suponiendo que la dotación inicial era de 1500

g Mg⁻¹ y que la extracción anual fue de 40 kg N ha⁻¹ año⁻¹ (200 kg N ha⁻¹ lapso⁻¹); habría que detectar un cambio equivalente a 50 g Mg⁻¹ en 30 cm de espesor. Para ello el número de submuestras debería ser de 83.

En la Fig. 4 se presenta el Nt para cada horizonte, valor medio de 14 perfiles de Argiudoles, observándose la disminución de Nt en los horizontes al aumentar la profundidad.

Debido a que, por un lado, algunos modelos matemáticos de simulación que estiman la disponibilidad de nitrógeno para los cultivos necesitan datos por horizonte y, por otro, generalmente sólo se cuenta con información del horizonte A. Para suplir esa ca-

Cuadro 1: Categorías de lotes de acuerdo a su contenido en nitrógeno orgánico total (Nt) en el horizonte A de Argiudoles del centro de Santa Fe; proporción de lotes en cada categoría sobre 569 casos evaluados y nivel de agotamiento del Nt según categoría.

Nt (g Mg ⁻¹)	Categoría	Proporción lotes (%)	Promedio ± Desv (g Mg ⁻¹)	Disponible (Consumo) (kg N ha ⁻¹)
> 1800	similar a no laboreado	8,3	1939 ± 116	7736 (0)
1601-1800	conserva alto nivel de fertilidad	14,8	1692 ± 61	6752 (-984)
1401-1600	en proceso de agotamiento	32,5	1504 ± 59	6002 (-1734)
1201-1400	peligrosa tendencia al agotamiento	33,7	1318 ± 56	5257 (-2480)
hasta 1200	agotados	10,7	1152 ± 42	4597 (-3139)

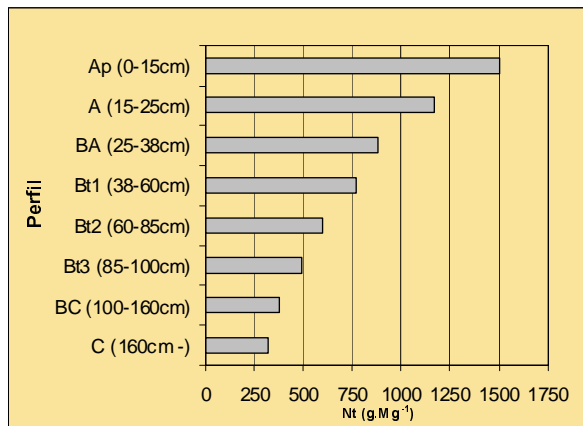


Fig. 4: Variación del Nitrógeno orgánico total (Nt) en el perfil de Argiudoles del centro de Santa Fe.

rencia se presenta en la Fig. 5 la relación existente entre la concentración de Nt de cada horizonte del perfil con respecto al contenido en todo el horizonte A.

FRACCIONAMIENTO DEL NITRÓGENO ORGÁNICO

La materia orgánica del suelo presenta un grado de evolución continuo que va desde el material grosero -que conserva la estructura del vegetal original-, hasta el humus -material transformado con características propias-. Al separar los restos vegetales mayores de dos milímetros, “materia orgánica grosera”, en la fracción menor a 2 mm se pueden separar por tamizado dos fracciones orgánicas con efectos físicos y químicos diferentes en el suelo: la materia orgánica vieja o humificada, constituida por material que atraviesa el tamiz de diámetro 0,1 milímetro de apertura de malla, y la materia orgánica joven o particulada integrada con la fracción que queda entre los tamices de 2 y 0,1 milímetros (Andriulo *et al.*, 1991).

Imhoff *et al.*, (1995) cita las contrastantes

tasas de mineralización que tienen ambas fracciones; conocidos estos valores se puede calcular el tiempo que tarda cada una en pasar al estado inorgánico, llamado tiempo de “turnover”, tasa de renovación o reciclado.

El Nitrógeno Activo (Nac), contenido en la materia orgánica “joven” o particulada, al estar constituido por compuestos orgánicos lábiles y estabilizados con moderadas a altas tasas de mineralización, posee tiempos de *turnover* desde 50 días hasta 5 años, mientras que el Nitrógeno pasivo (Np) o húmico, constituido por formas orgánicas transformadas muy complejas, difícilmente atacable por el bioedafón, ese valor se encuentra entre 150 y 3300 años.

Por lo mencionado, el Nac es el que realiza el mayor aporte de N para los cultivos y a partir del cual se debería estimar la oferta del suelo para este nutrimento. El Np, representando la fracción humificada, actúa principalmente sobre las propiedades físicas y físico-químicas como la estabilidad de agregados y capacidad de intercambio catiónico.

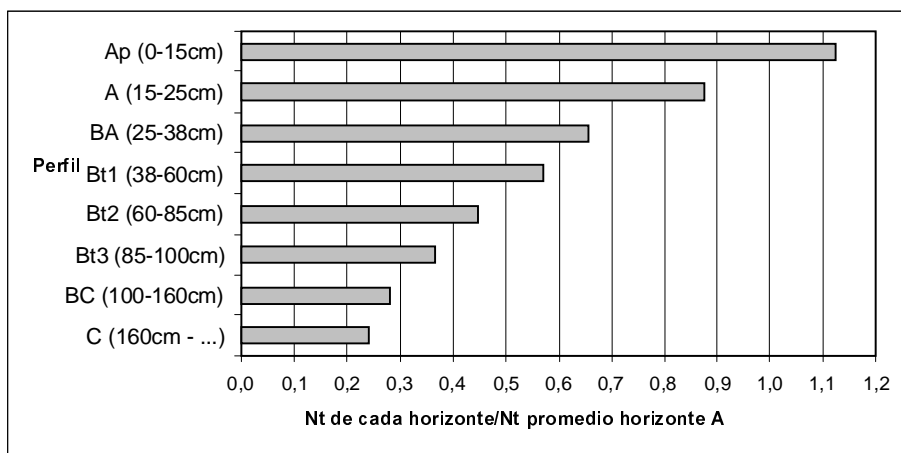


Fig. 5: Contenido relativo de nitrógeno orgánico total (Nt) en el perfil de suelo respecto del tenor que presenta en el horizonte A de Argiudoles del centro de Santa Fe.

NITRÓGENO PASIVO

Se presenta en la Fig. 6 la distribución de frecuencias del Np. Los valores más frecuentes están entre 1001-1500 g Mg⁻¹ (83% de los datos), siendo su valor promedio de 1250 ± 177 g Mg⁻¹ con distribución normal.

Imhoff *et al.*, (1995) plantea que es necesario corroborar el supuesto de que todo el Np –medido granulométricamente, como en este trabajo- tiene una tasa de mineralización muy lenta y por ello, no es importante su aporte para la nutrición de los cultivos. Si eso no fuera así, determinar la oferta de nitrógeno usando sólo el Nac, induciría a subestimar el suministro real de nitrógeno para los cultivos.

Si toda la fracción denominada Np tuviera lapsos de “turnover” tan amplios, su tenor no debería haber disminuido notablemente después de 80 a 100 años de actividad agrícola. Hay evidencia que esto puede no ser así: En la Fig. 6 se observa que el Np de los datos ubicados a la derecha -supuestamente suelos cuasi naturales- presenta va-

lores superiores al resto. Si los valores ubicados al medio y a la izquierda de la figura corresponden a lotes con intensidades de uso creciente parece correcto hipotetizar que dentro de la fracción Np se está incluyendo una fracción más lábil que la humificada y una estimación mejor del valor de Np es en promedio 1037 g Mg⁻¹, valor medio del cuartil inferior correspondiente a lotes en los que se supone que se ha mineralizado la fracción de Np más mineralizable.

Por lo tanto habría tres fracciones dentro del Nt:

- 1- La de tasa de mineralización despreciable que puede denominarse Nitrógeno pasivo básico, con tenores de 1037 g Mg⁻¹, no fraccionable mecánicamente;
- 2- Np mineralizable, con tasa de mineralización intermedia, desconocida aún, pero que oscilarían de 10 a 30 años, cuyo tenor puede estimarse restando 1037 g Mg⁻¹ al Np evaluado por tamizado y
- 3- el Nac.

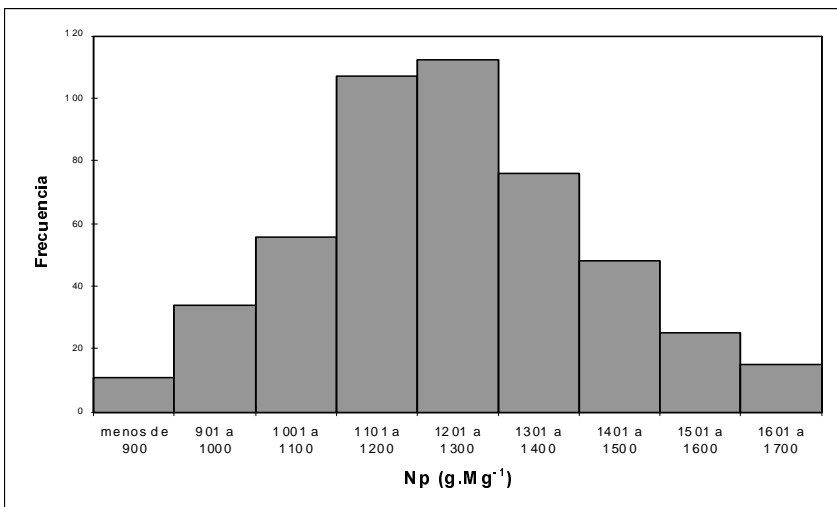


Fig. 6: Distribución de frecuencias de Nitrógeno pasivo (Np) de horizontes A de Argiudoles del centro de Santa Fe.

NITRÓGENO ACTIVO

Al analizar la distribución de frecuencias relativas porcentuales del Nitrógeno activo (Fig. 7), se observa que no se distribuye normalmente, concentrándose hacia los valores más bajos. Los valores más frecuentes están en el intervalo 101-250 g Mg⁻¹ (65% de los datos), siendo el valor promedio de 199 ± 88 g Mg⁻¹.

Si los lotes con más de 1800 g Mg⁻¹ de Nt se consideraron representativos del estado natural o prístino del suelo, lo mismo puede decirse de los que tienen más de 300 g Mg⁻¹ de Nac (Fig. 7), siendo su promedio de 379 ± 52 g Mg⁻¹ de Nac (12% de los lotes evaluados).

Si se asume que los lotes con menos de 101 g Mg⁻¹ de Nac corresponden a lotes agotados (12% de los lotes, 88 ± 16 g Mg⁻¹ de promedio), en éstos hay sólo el 23% del Nac que había en la situación prístina. Los lotes con 101 a 150 g Mg⁻¹ (23% de los lotes) pueden considerarse bajo peligrosa tendencia al agotamiento y tienen sólo el 34% de la situación original. Lotes en proceso de agotamiento corresponden a los que tienen de 151 a 200 g Mg⁻¹ (28% de los lotes) con un

promedio de 180 ± 14 g Mg⁻¹ de Nac (47% del Nac de los lotes más ricos, perdieron más de la mitad del contenido original). Por último, el 25% de los lotes conserva entre 201 y 300 g Mg⁻¹ de Nac, con un promedio 249 ± 29 g Mg⁻¹ de Nac (66% del contenido original), por lo cual puede considerárselos con un alto nivel de fertilidad.

A escala regional, se puede concluir que el 88% de los lotes tiene algún grado de agotamiento del Nac respecto a los lotes con más de 300 g Mg⁻¹. Esos lotes degradados conservan, en promedio, sólo el 46% del Nac.

CORRELACIONES ENTRE EL NITRÓGENO TOTAL Y SUS FRACCIONES

En la Fig. 8 se observa una alta determinación ($R^2=0,85$) entre el Nt y el Np, ocupando esta fracción más de las tres cuartas partes del Nt.

Al relacionar el Nac con el Nt, se observa una nube de puntos muy dispersa (Fig. 9) con un coeficiente de determinación bajo ($R^2=0,36$). Se puede inferir entonces que, ade-

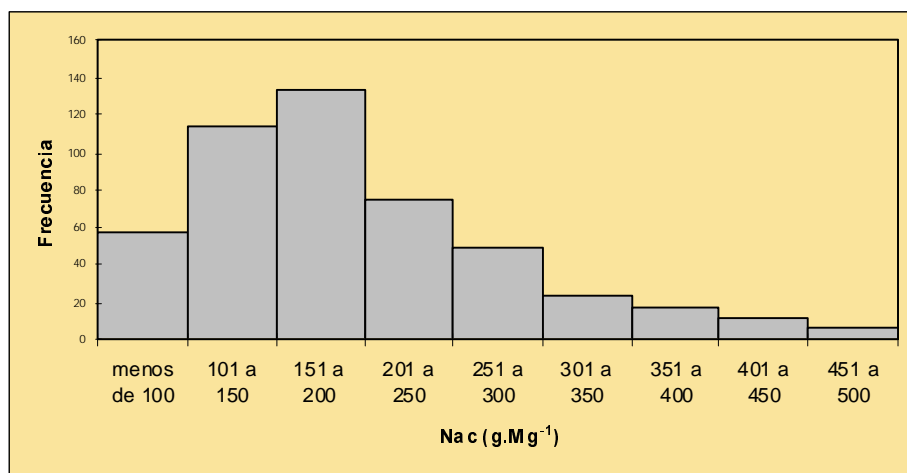


Fig. 7: Distribución de frecuencias de Nitrógeno activo (Nac) de horizontes A de Argiudoles del centro de Santa Fe.

más de la magnitud del Nt, existen otras variables que determinan el contenido de la fracción lábil.

El Nac se muestra como una fracción dinámica, muy susceptible a ser modificada por el hombre y que refleja el manejo de lote en

lapsos de pocos años (Pilatti *et al.*, 2003).

Si los datos de la Fig. 9 se reorganizan de acuerdo a los antecedentes de uso (Fig. 10):

Lotes muy agotados o erosionados (casos no muy frecuentes): $Nac = -122 + 0,16 Nt$ $R^2 = 0,75$

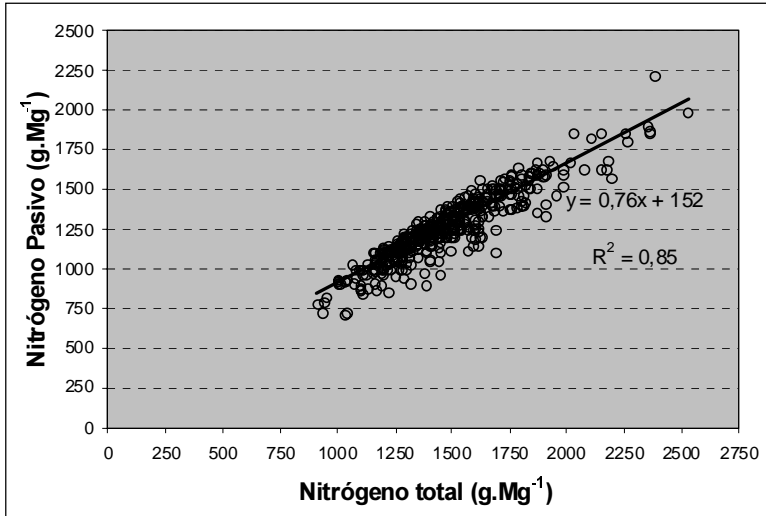


Fig. 8: Relación entre el nitrógeno orgánico total y el nitrógeno pasivo en horizontes

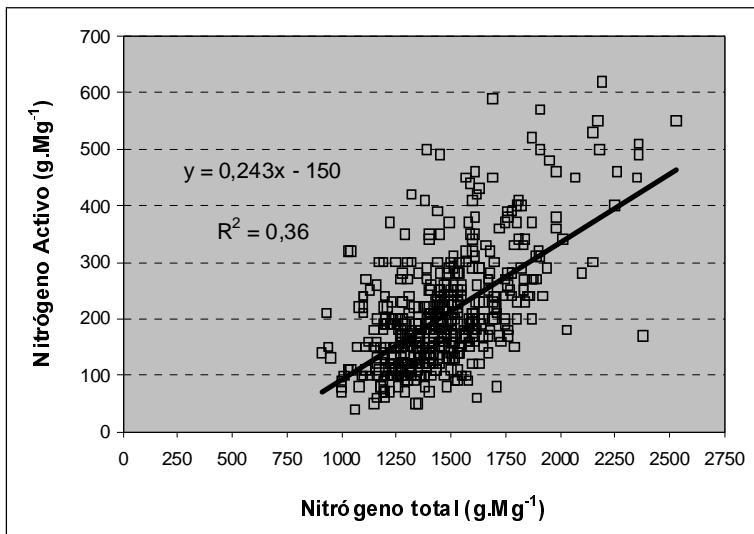


Fig. 9: Relación entre el nitrógeno orgánico total y el nitrógeno activo en horizontes A de Argiudoles del centro de Santa Fe.

Lotes con signos de agotamiento: $Nac = -178 + 0,22 Nt$ $R^2 = 0,72$

Lotes con rendimientos normales: $Nac = -163 + 0,25 Nt$ $R^2 = 0,84$

Lotes fértiles: $Nac = -111 + 0,26 Nt$ $R^2 = 0,94$

Lotes muy fértiles, nocheros: $Nac = -27 + 0,28 Nt$ $R^2 = 0,76$

Estas ecuaciones son útiles cuando sólo se dispone del dato de Nt para los suelos de la Región y desea estimarse Nac; conociéndose además la “historia” de lote para calificarlo como *muy agotado* o *fértil*, etc.

NITRÓGENO ACTIVO COMO INDICADOR DE MANEJO

Puiatti (1984), citado por Imhoff et al., (1995), efectuando un análisis de numerosos datos, propone una serie de cocientes (fracción mineralizable o Fmin) entre el nitrógeno potencialmente mineralizable (similar al Nac) y el Nt, relacionándolos con los manejos realizados en los distintos sitios distinguiendo desde prácticas de uso del suelo agotadoras hasta conservacionistas (Cuadro 2).

Al realizar el cociente entre el Nac y el Nt para los datos del presente trabajo, se puede

Cuadro 2: Antecedentes de manejo y fracción del nitrógeno orgánico total potencialmente mineralizable (Fmin).

Fmin	Antecedentes de manejo
$\leq 0,12$	Prácticas agotadoras
0,17	Moderadamente agotadoras
0,22	Conservacionistas
$\geq 0,22$	Incrementadoras de la fertilidad

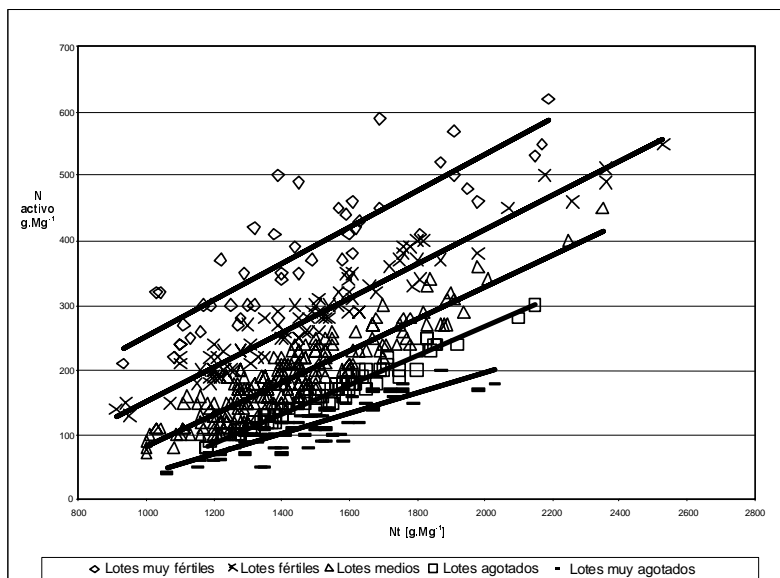


Fig. 10: Relaciones entre el nitrógeno orgánico total y el nitrógeno activo en horizontes A de Argiudoles del centro de Santa Fe ordenados según intensidad de uso del suelo

inferir –según Puiatti, 1984- la proporción relativa de las diferentes prácticas que se realizan en los suelos en la Región. La Fig. 11 muestra que el 78% de los suelos están sometidos a prácticas que tienden a un agotamiento de este recurso.

NITRÓGENO DISPONIBLE

N-Nitratos

La principal fuente de nitrógeno del suelo para las plantas la constituyen las formas minerales de este elemento (nitrato y amonio),

que proviene en su mayoría de la descomposición de los materiales orgánicos.

Del análisis de diferentes lotes surge que N-NO₃ en el horizonte A fluctúa entre 1 y 45 g Mg⁻¹, con una media de 19 g Mg⁻¹ y un desvío estándar de 25 g Mg⁻¹; su distribución no es normal.

En la fig. 12 se presenta la distribución de frecuencias en la cual se puede observar una concentración del 55% de los datos en valores inferiores a 10 g Mg⁻¹ de N-NO₃. Valores superiores a 30 g Mg⁻¹ se encuentran en muy baja frecuencia y generalmente asociados a

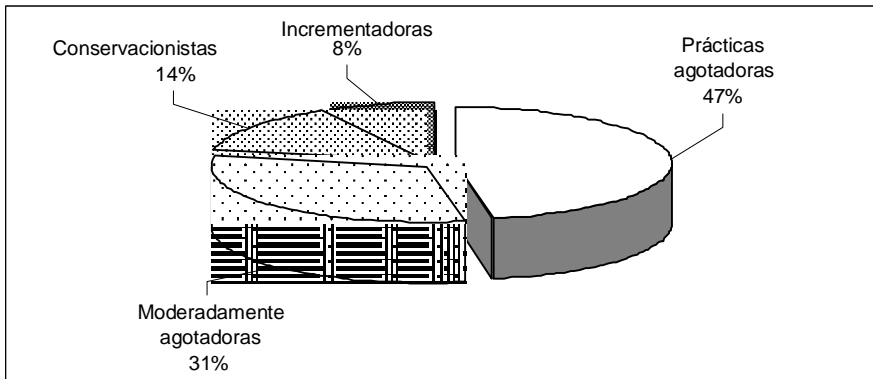


Fig. 11: Uso de la relación entre el nitrógeno activo con respecto al nitrógeno orgánico total como indicador del estado de agotamiento del horizonte A de Argiudoles del centro de Santa Fe.

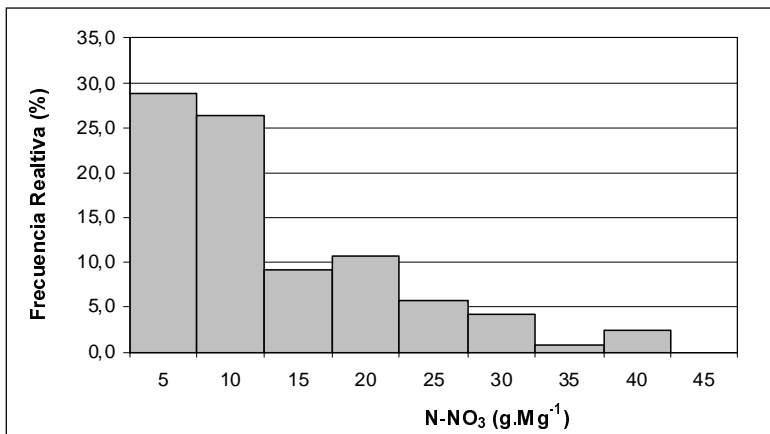


Fig. 12: Distribución de frecuencias relativas de nitratos en horizontes A de Argiudoles del centro de Santa Fe

situaciones de “barbechos” largos (4 a 6 meses) y labranza convencional.

En la fig. 13 se presenta la distribución en un perfil típico donde se manifiesta la baja concentración de estos productos de la mineralización por debajo de los 30 cm de profundidad.

Debido a la gran variabilidad de los datos, el “n” para una exactitud relativa del 20% es de 24 y si se pretende sólo 10% se necesitarían 95 submuestras.

N-AMONIO

Pocos trabajos en la Región han medido esta forma de nitrógeno (Hein & Panigatti 1985, 1987). Los valores de amonio son menos variables que los nitratos (coeficientes de variación de 26 y 131% respectivamente), con una distribución en el perfil más homogénea en torno a 2 g Mg⁻¹, como puede apreciarse en el fig. 13.

CONCLUSIONES

El 55% de los lotes evaluados presenta valores de fósforo extractable en el intervalo

de 11 a 30 g Mg⁻¹, en promedio los lotes muy deteriorados contienen sólo el 26% del P que hay en la situación “natural”.

El 11% de los lotes evaluados contienen sólo el 59% del Nt que había en la situación prístina. Se presentó una relación existente entre la concentración de Nt de cada horizonte del perfil con respecto al contenido en todo el horizonte A.

Los valores más frecuentes de nitrógeno pasivo están entre 1001-1500 g Mg⁻¹ (83% de los datos) y los del nitrógeno activo entre 101-250 g Mg⁻¹ (65% de los datos).

Se presentan relaciones entre el nitrógeno orgánico total y el nitrógeno pasivo para horizontes A de Argiudoles del centro de Santa Fe.

Al analizar el cociente entre el Nac y el Nt, se pudo inferir que el 78% de los suelos están sometidos a prácticas de manejo que tienden a un agotamiento de este recurso.

El 55% de los lotes estudiados presenta contenidos de N-NO₃ inferiores a 10 g Mg⁻¹. el N-Amonio presenta en el perfil una distribución más homogénea en torno a 2 g Mg⁻¹.

Se determinó para el fósforo extractable,

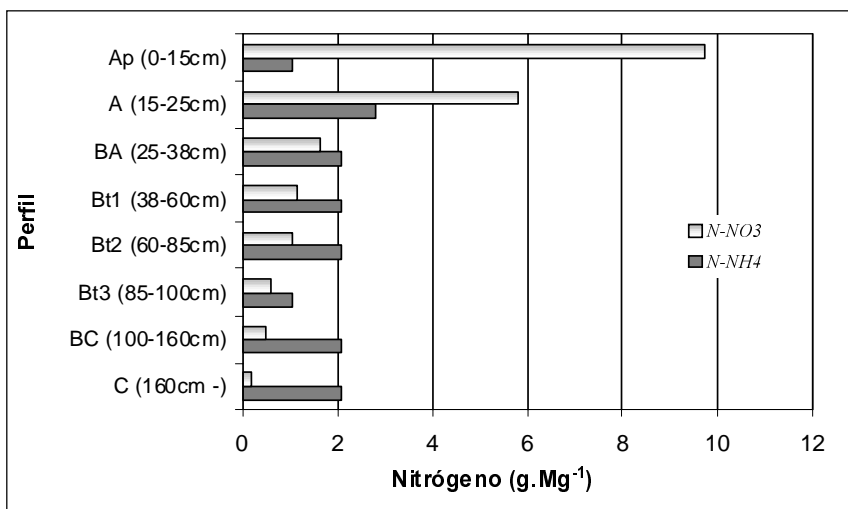


Fig. 13: Distribución típica de amonio y nitratos en el perfil de un Argiudol del centro de Santa Fe.

nitrógeno total, nitratos, el número de submuestras que deberían integrar una muestra compuesta con determinado porcentaje de exactitud y precisión.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración al Profesor Lázaro Priano †, por sus enseñanzas y confiabilidad analítica en el Servicio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias (UNL); a los ingenieros Mauricio Moresco y Maximiliano Weidmann por la compilación de datos.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDRIULO, A.; J. GALANTINI; C. PECORARI & E. TORIONI.** 1991. Materia Orgánica del Suelo en la Región Pampeana Argentina. I- Un Método de Fraccionamiento por Tamizado. Informe Técnico N° 250. INTA Pergamino. 18 pp.
- BRAY, R. & L.T. KURTZ.** 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sc.* 59(1): 39-45.
- BREMMER, J. & D. KEENEY.** 1965. Steam distillation methods for determination of ammonium, nitrate and nitrite. *Annal. Chem. Acta* 32: 485-495.
- DE PETRE, A.; L. ESPINO; M. SEVESO & S. PERMAN.** 1977. Carta de Suelos del Departamento Las Colonias. Ministerio de Agricultura y Ganadería de Santa Fe. 119 pp.
- FORSYTHE, W.M.** 1970. Importancia de la variabilidad de las propiedades del suelo para evaluarlas en su manejo. *Turrialba.* 20 (4): 445-451.
- GRUPO INFOSTAT.** 2002. Infostat/Profesional Versión 1.1. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.
- HEIN, W. de & J. PANIGATTI.** 1985. Evolución de los Suelos según el Manejo. Información para Extensión N° 77. INTA Rafaela. 5 pp.
- HEIN, W. de & J. PANIGATTI.** 1987. Fertilidad de Argiudoles del Centro de Santa Fe con Diferentes Manejos. Informe Técnico N° 30. INTA Rafaela. 16 pp.
- IMHOFF, S.; M. PILATTI & M. SOSA.** 1995. Nitrógeno Orgánico en Molisoles del Centro de Santa Fe. *Revista FAVE:* Vol 9 (1): 10-18.
- INTA.** 1991a. Carta de Suelos de la República Argentina Hojas 3160-26 y 25-Esperanza-Pilar.
- INTA.** 1991b. Carta de Suelos de la República Argentina. San Carlos - Coronda.
- INTA.** 1992. Carta de Suelos de la República Argentina Hoja 3160-14 San Justo.
- JACKSON, M.L.** 1982. Análisis químicos de suelos. Ed. Omega, Barcelona, 663 pp.
- MOSCONI, F.; L. PRIANO; N. HEIN; G. MOSCATELLI; J.L. SALAZAR; T. GUTIÉRREZ & L. CÁCERES.** 1981. Mapa de suelos de la Provincia de Santa Fe. Tomo I. INTA-MAG. 246 pp.
- NORERO, A.L. & M.A. PILATTI.** 2002. Enfoque de sistemas y modelos agronómicos: Necesidad y método. Ed. Universidad Nacional del Litoral, 161pp. ISBN 987-508-203-12 (Cátedra: Ciencias Agrarias).
- PAGES, A.L.** 1982. Methods of soil analysis. Parts II. Madison, Wis. American Society of Agronomy.
- PILATTI, M.A.; D. A. GRENÓN; J. A. DE ORELLANA & O. M. FELLI.** 1993. Modelos de regresión y simulación para interpretar la influencia de suelo, clima y manejo sobre la producción de la soja. *Rev. FAVE* 7 (2) 93-121.
- PILATTI, M.A. & J. A. DE ORELLANA.** 1995. Instrucciones para tomar muestras de suelos. 2ª. Ed., corregida y ampliada. Comunic. FAVE, C-002-AD-002. 10pp.
- PILATTI, M.A.; J. DE ORELLANA & O. FELLI.** 2003. The Ideal Soil: III) Fitness of

- Edaphic Variables to Achieve Sustenance in Agroecosystems. *J. of Sustainable Agriculture* 22 (2): 109-132.
- PILATTI, M.A. & A.L. NORERO.** 2004. Simulación de cultivos anuales. Formulaciones básicas del desenvolvimiento normal. Ed. Universidad Nacional del Litoral, 148 pp. ISBN 987-508-256-2 (Cátedra: Ciencias Agrarias).
- PUIATTI, J.M.P.** 1984. Investigación de las relaciones entre el agua y la fertilización nitrogenada empleando simulación matemática. Tesis para optar al grado de Magister Scientiae. CIDIAT. Mérida (Venezuela).