

EFFECTO DE LA FERTILIZACION NITROGENADA Y FOSFATADA EN LAS PROPIEDADES QUIMICAS DE UN ARGUUDOL TIPICO

K FABRIZZI, L PICONE, A BERARDO, F GARCIA

Unidad Integrada INTA-Facultad Ciencias Agrarias Balcarce. CC276 (7620) Balcarce. Argentina

EFFECT OF NITROGEN AND PHOSPHORUS FERTILIZATION ON CHEMICAL PROPERTIES OF A TYPIC ARGUUDOLL

A field experiment established in 1988 was evaluated to examine the effect of nitrogen and phosphorus fertilizer on some chemical properties of a Typic Arguudoll. Soil samples were taken from plots fertilized continuously for eight years, under wheat-wheat rotation or every other year during the same period, under wheat-sunflower rotation. Fertilizer treatments were: control, 120 kg N ha⁻¹ as urea, 22 kg P ha⁻¹ as superphosphate, and 120 kg N ha⁻¹ plus 22 kg P ha⁻¹. In the continuously fertilized plots, organic matter, total nitrogen, exchangeable calcium, magnesium, potassium and sodium, cation-exchange capacity and micronutrients were not significantly affected by phosphorus or nitrogen fertilization; however, pH decreased by 0.39 units in the nitrogen treatment, showing the acidifying effects of nitrogen fertilizer. In plots fertilized every two years, the highest organic matter content was observed in the treatment with 120 kg N ha⁻¹; whereas total nitrogen, pH, exchangeable magnesium, potassium and sodium, cation-exchange capacity and micronutrients were unaffected by fertilization. Available phosphorus showed a significant response to phosphorus fertilization, because of residual phosphorus. Exchangeable acidity (KCl) was very low, (0.07-0.20 cmol_(c) kg⁻¹) in all treatments, according to soil characteristics. Total acidity, ranged from 9.28 to 11.38 cmol_(c) kg⁻¹ and was highly correlated with organic matter, suggesting that organic carbon was the major contributor to soil buffer capacity.

Key words: Fertilization - Chemical properties - Nitrogen - Phosphorus

INTRODUCCION

En la Argentina el uso de fertilizantes se ha cuadruplicado durante el último quinquenio (Bertolasi 1996b), incrementando su consumo desde 300.000 a 1.500.000 toneladas. A partir de 1992, la dosis como así también la superficie fertilizada ha aumentado considerablemente, tanto en el cultivo de trigo como en el de maíz (Bertolasi 1996a).

En estudios de campo, se ha demostrado que la aplicación de 90 a 180 kg N ha⁻¹ como urea o amoníaco anhídrido puede reducir el pH del suelo hasta en una unidad, dentro de los diez años de aplicación (Bouman *et al.* 1995). La acidificación del suelo por la aplicación de fertilizantes nitrogenados durante periodos prolongados, de veinte o cuarenta años, disminuyó las bases intercambiables como calcio, magnesio, potasio y sodio e incrementó la disponibilidad de los micronutrientes (Schwab *et al.* 1989, Darusman *et al.* 1991). El efecto acidificante del fertilizante depende de la composición del mismo, de las condiciones climáticas y del suelo, como así también del crecimiento de los cultivos (Bouman *et al.* 1995). La urea y el amoníaco son menos acidificantes que otros fertilizantes nitrogenados como sulfato de

amonio y fosfato monoamónico (Adams 1984). La capacidad tampón de los suelos, dada por la materia orgánica y las arcillas reduce los cambios en el pH debido a la fertilización. La acidez puede ser totalmente neutralizada si el nitrato producido por la nitrificación del fertilizante es recuperado en su totalidad por las plantas y transformado a nitrógeno orgánico (Bolan *et al.* 1991), o es incrementada si el cultivo extrae un exceso de cationes sobre aniones (Pierre, Banwart 1973).

En el sudeste de la Provincia de Buenos Aires, se observa la misma tendencia que a nivel nacional en cuanto al mayor consumo de fertilizantes; por lo tanto, cabría esperar posibles efectos sobre las propiedades del suelo y el medio ambiente por el uso particularmente prolongado de fertilizantes nitrogenados. Los objetivos específicos de este trabajo fueron: 1) establecer el efecto de la fertilización nitrogenada y fosfatada, sobre algunos componentes o propiedades químicas del suelo como materia orgánica, nitrógeno total, fósforo disponible, pH, bases intercambiables, capacidad de intercambio catiónico y micronutrientes, 2) cuantificar la acidez intercambiable y total, y 3) evaluar la relación entre la acidez medida y la teórica, a través de un balance de protones.

MATERIALES Y METODOS

Las determinaciones se efectuaron en muestras de suelo provenientes de un ensayo iniciado en 1988 por el grupo de Fertilidad y Manejo de Suelos de la Unidad Integrada EEA INTA-Facultad de Ciencias Agrarias Balcarce. El ensayo está ubicado en el campo experimental de la EEA Balcarce (37° 45'S; 58° 18'W), sobre un suelo clasificado como Argiudol Típico bajo dos secuencias de cultivos, trigo-trigo (T-T) y trigo-girasol (T-G), realizados con labranza convencional.

A partir de 1988 se establecieron parcelas con los siguientes tratamientos: el testigo (0-0); el fertilizado con 120 kg N ha⁻¹ y sin fósforo (N-0); el fertilizado con 22 kg P ha⁻¹ y sin nitrógeno (0-P) y el fertilizado con 120 kg N ha⁻¹ y 22 kg P ha⁻¹ (N-P). Estas mismas parcelas se utilizaron para realizar las determinaciones de laboratorio de este trabajo. El diseño experimental, en cada secuencia de cultivo, fue en bloques completos aleatorizados, con tres repeticiones y con un tamaño de parcela de 400 m² (10 x 40 m). Se aplicó nitrógeno como urea al voleo, antes de la siembra del cultivo de trigo, y fósforo como superfosfato triple de calcio en la línea junto con la semilla. Cada parcela, según el tratamiento correspondiente, fue refertilizada solamente en la siembra del trigo con nitrógeno y/o fósforo, es decir, anualmente en la secuencia T-T y cada dos años en T-G.

El muestreo de suelo se realizó el 22 de septiembre de 1995 en T-T y 2 de noviembre para T-G, recolectándose al azar 60 submuestras de suelo a la profundidad de 18 cm, en cada parcela. Las muestras se secaron al aire y tamizaron por 0,5 mm para las determinaciones de materia orgánica, nitrógeno total, fósforo disponible y micronutrientes, y por 2 mm para pH, capacidad de intercambio catiónico, acidez intercambiable y acidez total.

Se determinó el contenido de materia orgánica por el método de Walkley y Black (1934), nitrógeno total mediante la digestión Kjeldahl (Bremner, Mulvaney 1982), fósforo disponible por el método de Bray y Kurtz (1945), pH en una relación suelo:agua de 1:2,5 con un electrodo combinado, capacidad de intercambio catiónico por el método del acetato de amonio 1N a pH= 7 (Chapman 1965), los cationes intercambiables calcio, magnesio y sodio por espectrofotometría de absorción atómica y potasio mediante un fotómetro de emisión de llama, micronutrientes utilizando como extractante FNH₄ 1N-HClO₄ 5N-DTPA 0,01 M a pH 2,3, acidez intercambiable y aluminio intercambiable por el método del KCl (Thomas 1982) y acidez total con trietanolamina (TEA)-BaCl₂ (Peech 1965).

Los datos fueron analizados estadísticamente usando el programa SAS (SAS Institute Inc. 1985). Se realizó el análisis de varianza (PROC GLM) de un diseño en bloques aleatorizados de un arreglo factorial 2 x 2 (nitrógeno x fósforo), para establecer la significancia de los efectos del nivel de fertilización nitrogenada y fosfatada sobre las propiedades químicas medidas. Se utilizó el test de Diferencias Mínimas Significativas para comparar las medias entre tratamientos. También, se realizó un análisis de correlación (PROC CORR) entre las variables acidez total y materia orgánica, determinando los coeficientes de Pearson para cada secuencia.

RESULTADOS Y DISCUSION

Propiedades químicas del suelo

En la secuencia T-T, no se observaron diferencias significativas en los valores de materia orgánica y nitrógeno total, por efecto de la aplicación de nitrógeno y fósforo (Tabla 1). En la secuencia T-G, el contenido de nitrógeno total no fue afectado por la fertilización; sin

embargo se encontró una interacción significativa nitrógeno*fósforo ($P < 0,05$) en el contenido de materia orgánica, siendo mayor en el tratamiento N-0 que en 0-0 y 0-P, los cuales superaron el tratamiento N-P. La diferencia en producción de biomasa entre las dos secuencias debido a la presencia de enfermedades de pie (*Gaeumannomyces graminis*. var. *tritici*), podría explicar la falta de respuesta de la materia orgánica a la fertilización en la secuencia T-T. En ambas secuencias de cultivos el contenido de materia orgánica fue inferior al valor obtenido al inicio del ensayo de 63 g kg⁻¹ (Berardo *et al.* 1994), resultando en una disminución de 5,6 y 8,5 g kg⁻¹ de materia orgánica en T-T y T-G, respectivamente. Esta disminución, luego de ocho años de agricultura, está asociada generalmente al tipo de labranza y a la rotación realizada, siendo éstos dos factores importantes que afectan la degradación y la síntesis de la materia orgánica (Campbell 1978). En un ensayo realizado en la EEA Balcarce con distintas secuencias de cultivo, la pérdida del contenido materia orgánica en labranza convencional fue de 13,1 g kg⁻¹ en una secuencia trigo-trigo y de 11 g kg⁻¹ en una rotación trigo-cultivo de escarda, luego de once años de cultivos (Studdert 1996). Previo a la implantación del ensayo en estudio, el suelo estuvo bajo producción de cultivos anuales por varios años, luego de una pastura. Por lo tanto, la mayor tasa de descomposición de materia orgánica pudo haberse observado en los primeros años de agricultura; mientras que en estos ocho años de ensayo, la disminución fue inferior debido a una menor tasa de descomposición originada por la presencia de fracciones de la materia orgánica más resistentes a la degradación microbiana (Paul, Clark 1989). Además del efecto del tipo de labranza, el contenido de materia orgánica del suelo está regulado también por la calidad y tipo de residuos que se incorporan en una rotación. Cultivos como maíz y trigo con una alta relación C/N en sus residuos, evitan una marcada disminución en el contenido de materia orgánica, respecto de soja y girasol que presentan una relación C/N baja (Studdert *et al.* 1997). Esto último podría explicar la mayor disminución del contenido de materia orgánica en la secuencia T-G con respecto a T-T.

En ambas secuencias, el contenido de fósforo disponible fue significativamente superior ($P < 0,05$) en las parcelas fertilizadas con fósforo en relación a las sin fertilizar con este nutriente (Tabla 1). Schwab *et al.* (1990), encontraron que con aplicaciones anuales continuas de 45 kg P ha⁻¹ se excedían los requerimientos de los cultivos, lo cual permitía un incremento del fósforo disponible en superficie. Comparando el valor de fósforo disponible actual con el obtenido antes de iniciar el ensayo que fue de 10 mg P kg⁻¹, se notó un incremento

atribuido al efecto residual del fósforo aplicado (Berardo *et al.* 1994). Este aumento fue más marcado en la secuencia T-T (16,90 mg P kg⁻¹) que en T-G (4,35 mg P kg⁻¹) debido a que en esta última no se fertilizó con fósforo al sembrar girasol.

En la secuencia T-T, los valores de pH fluctuaron entre 5,77 y 5,30; siendo los valores medios de pH de los tratamientos fertilizados con nitrógeno (5,33) significativamente inferiores ($P < 0,05$) a los sin nitrógeno (5,72). Esta disminución de 0,39 unidades de pH evidenciaría los efectos acidificantes del fertilizante nitrogenado aplicado anualmente durante ocho años (Tabla 1). Schwab *et al.* (1989) encontraron una disminución muy marcada del pH, hasta 2,7 unidades, cuando se excedía la dosis de 67 kg N ha⁻¹ aplicado como nitrato de amonio durante cuarenta años. Para nueve años de fertilización con urea, Bouman *et al.* (1995) observaron disminuciones de hasta 0,7 unidades de pH, con dosis de 180 kg N ha⁻¹. Las diferencias observadas en el cambio del pH por la aplicación de fertilizantes, entre este estudio y los autores mencionados, además de depender de la dosis y período de aplicación del nitrógeno, podrían estar afectadas por la capacidad reguladora de cada suelo. La disminución del pH sería menor en suelos con mayor capacidad tampón, con alto contenido de materia orgánica, como es el caso de este ensayo. No se hallaron

diferencias en pH por el agregado de fósforo, coincidiendo con otros autores (Owensby *et al.* 1968, Williams 1980, Schwab *et al.* 1990) los cuales observaron que las distintas dosis y momentos de aplicación de fósforo no afectaron el pH del suelo. Para la secuencia T-G, los valores de pH estuvieron en un rango de 5,43 a 5,55; no hallándose diferencias significativas por el agregado de nitrógeno y fósforo (Tabla 1). Es de destacar que en esta secuencia la frecuencia de fertilización fue menor, y solo cuando correspondía a la siembra de trigo. Al realizar fertilizaciones discontinuas podría ocurrir la neutralización de la acidez producida (Schwab *et al.* 1989). Si bien el mecanismo exacto de neutralización no ha sido determinado, podría deberse a la descomposición de aluminosilicatos, la disolución de minerales óxidos, el reciclaje de bases por las plantas en crecimiento, o el reemplazo de la acidez intercambiable por bases (Schwab *et al.* 1989).

No hubo diferencias en la concentración de bases intercambiables como consecuencia de la fertilización nitrogenada y fosfatada en cada secuencia; a excepción del contenido de calcio intercambiable que incrementó significativamente ($P < 0,05$) en los tratamientos fertilizados con fósforo en T-G. En esta última secuencia, el valor promedio de calcio intercambiable fue de 13,05 cmol_(c) Ca²⁺ kg⁻¹ en las parcelas sin fósforo y 15,63

Tabla 1. Contenido de materia orgánica, nitrógeno total, fósforo disponible, pH 1:2,5, acidez intercambiable y total en las secuencias de cultivo trigo-trigo y trigo-girasol, afectadas por la fertilización nitrogenada y fosfatada.

Dosis		Materia orgánica (g kg ⁻¹)	Nitrógeno total (g kg ⁻¹)	Fósforo disponible (mg kg ⁻¹)	pH 1:2,5	Acidez Intercambiable (cmol kg ⁻¹)	Acidez total (cmol kg ⁻¹)
Nitrógeno (kg ha ⁻¹)	Fósforo (kg ha ⁻¹)						
Secuencia trigo-trigo							
0 - 0		57,0a	2,43a	10,8b	5,67a	0,07b B	10,38a
120 - 0		59,0a	2,53a	12,9b	5,30b	0,13a B	11,38a
0 - 22		56,8a	2,46a	28,2a	5,77a	0,12b A	10,44a
120 - 22		56,9a	2,58a	25,6a	5,36b	0,20a A	10,88a
Secuencia trigo-girasol							
0 - 0		54,0b	2,45a	9,1b	5,47a	0,16a	9,28b
120 - 0		56,4a	2,58a	8,8b	5,43a	0,19b	10,39a
0 - 22		54,6b	2,57a	14,1a	5,52a	0,15a	9,51b
120 - 22		53,0c	2,58a	14,6a	5,55a	0,19b	9,47b

Valores seguidos de la misma letra, no se diferencian significativamente a un nivel de $P < 0,05$. En materia orgánica se indica la interacción nitrógeno*fósforo, en fósforo el efecto del fertilizante fosfatado, en pH el efecto por nitrógeno, en acidez intercambiable, en T-T, letras minúsculas indican efecto de nitrógeno y mayúscula de fósforo y en acidez total la interacción nitrógeno*fósforo para T-G.

$\text{cmol}_{(c)} \text{Ca}^{+2} \text{kg}^{-1}$ en las fertilizadas con este nutriente; esto podría deberse al calcio aportado por el superfosfato triple. Si bien la aplicación del fertilizante fosfatado no se manifestó en un incremento estadísticamente significativo de calcio en la secuencia T-T, hubo una tendencia a una mayor concentración de este catión en las parcelas fertilizadas con fósforo. Se obtuvieron valores promedio de $13,4 \text{ cmol}_{(c)} \text{Ca}^{+2} \text{kg}^{-1}$; $2,04 \text{ cmol}_{(c)} \text{Mg}^{+2} \text{kg}^{-1}$; $0,37 \text{ cmol}_{(c)} \text{Na}^{+} \text{kg}^{-1}$ y $1,82 \text{ cmol}_{(c)} \text{K}^{+} \text{kg}^{-1}$ para la secuencia T-T y $1,78 \text{ cmol}_{(c)} \text{Mg}^{+2} \text{kg}^{-1}$, $0,15 \text{ cmol}_{(c)} \text{Na}^{+} \text{kg}^{-1}$ y $2,01 \text{ cmol}_{(c)} \text{K}^{+} \text{kg}^{-1}$ para T-G; los cuales se encuentran dentro de los rangos normales de la zona (INTA, Cartas de Suelo, Hoja 3757-31 Balcarce). Según Schwab *et al.* (1989) las cantidades de calcio, potasio y magnesio intercambiable disminuyeron significativamente en los primeros 10 cm cuando la dosis de nitrógeno fue igual o mayor de 112 kg N ha^{-1} como urea, durante cuarenta años. En el ensayo analizado, posiblemente la disminución de pH en las parcelas fertilizadas con nitrógeno no fue suficiente como para que los protones generados por nitrificación del amonio del fertilizante pudieran desplazar del complejo de intercambio en una magnitud significativa a los cationes retenidos.

No se observó efecto de la fertilización nitrogenada y fosfatada sobre la capacidad de intercambio catiónico, siendo los valores promedios similares en ambas secuencias: $23,05 \text{ cmol}_{(c)} \text{kg}^{-1}$ en T-T y $23,38 \text{ cmol}_{(c)} \text{kg}^{-1}$ en T-G. Esto coincide con los datos obtenidos por Schwab *et al.* (1989), sugiriendo que los constituyentes orgánicos e inorgánicos que contribuyen a la capacidad de intercambio catiónico no fueron afectados por la fertilización. Comparando con el valor original de capacidad de intercambio catiónico de $25 \text{ cmol}_{(c)} \text{kg}^{-1}$ se notó que, luego de ocho años de agricultura continua, disminuyó en $1,95 \text{ cmol}_{(c)} \text{kg}^{-1}$, en T-T y en $1,62 \text{ cmol}_{(c)} \text{kg}^{-1}$, en T-G. Esta disminución promedio de $1,8 \text{ cmol}_{(c)} \text{kg}^{-1}$, puede ser debida en parte a la reducción del contenido de materia orgánica. De acuerdo a Chan *et al.* (1992), una pérdida de 1% de carbono orgánico es equivalente a una disminución de $2,97 \text{ cmol}_{(c)}$ de carga negativa kg^{-1} . Considerando que en este suelo hubo una disminución promedio de 0,4 % de carbono orgánico, la pérdida de $1,8 \text{ cmol}_{(c)}$ de carga negativa kg^{-1} estaría dentro del valor indicado por Chan *et al.* (1992).

En cuanto a micronutrientes, se analizaron únicamente los tratamientos 0-0 y N-P en ambas secuencias. No se observaron diferencias significativas en el nivel de micronutrientes entre dichos tratamientos; siendo los valores promedios de $2,42 \text{ mg Cu}^{+2} \text{kg}^{-1}$; $135 \text{ mg Fe}^{+2} \text{kg}^{-1}$; $27,26 \text{ mg Mn}^{+2} \text{kg}^{-1}$ y $1,35 \text{ mg Zn}^{+2} \text{kg}^{-1}$ para T-T y $2,17 \text{ mg Cu}^{+2} \text{kg}^{-1}$; $126,5 \text{ mg Fe}^{+2} \text{kg}^{-1}$; $30,85 \text{ mg Mn}^{+2} \text{kg}^{-1}$ y $1,87 \text{ mg Zn}^{+2} \text{kg}^{-1}$. Darusman *et al.* (1991), obtuvieron incrementos en los contenidos de cobre, hierro y manga-

neso extractables con DTPA, como consecuencia de una disminución en 1,1 unidades de pH por la aplicación durante veinte años de nitrógeno como urea.

En la secuencia T-T, se observó en la acidez intercambiable un aumento significativo por el agregado de fósforo y también de nitrógeno ($P < 0,05$); mientras que sólo hubo efecto por nitrógeno ($P < 0,05$) en T-G (Tabla 1). No obstante estas diferencias los valores de acidez intercambiable fueron bajos, entre 0,07 y $0,20 \text{ cmol}_{(c)} \text{kg}^{-1}$, y similares a los citados por Curtin *et al.* (1984) quienes reportaron valores entre 0,03 y $0,22 \text{ cmol}_{(c)} \text{kg}^{-1}$, para veinte grupos de suelos de Saskatchewan con un rango de pH de 5,0 a 5,8. Igualmente Bouman *et al.* (1995), informaron valores bajos de acidez intercambiable, aún en suelos con pH de 4,3. Como no se detectó aluminio intercambiable, esta acidez puede atribuirse al protón que se origina del intercambio directo a partir de los grupos carboxílicos más débiles y de la mayoría de los grupos fenólicos de la materia orgánica, y de los protones débilmente ácidos de los bordes de los minerales (Bohn *et al.* 1985). Como fue demostrado por Kissel *et al.* (1971), la acidez podría provenir de la hidrólisis de los compuestos de hidróxi-aluminio que ocurre durante la extracción con KCl en la determinación de acidez intercambiable. Esto causa la formación de iones protones, dando como resultado protones intercambiables, que realmente no existen en los sitios de intercambio de los componentes del suelo.

La acidez total no fue afectada por el agregado de nitrógeno y fósforo, en la secuencia T-T; no obstante en la secuencia T-G se halló una interacción significativa nitrógeno * fósforo ($P < 0,05$), siendo en el tratamiento N-O superior al resto (Tabla 1). Los valores, de aproximadamente $10 \text{ cmol}_{(c)} \text{kg}^{-1}$, son similares a los reportados por Curtin *et al.* (1996) para suelos con iguales contenidos de materia orgánica y a los obtenidos en suelos loésicos de Iowa por Richardson y Riecken (1977). Esta acidez total correspondió en su casi totalidad al componente no intercambiable de la acidez total del suelo ya que la acidez intercambiable constituyó el 1-2 % de la misma. El estrecho y significativo ($P < 0,001$) grado de relación entre la materia orgánica y la acidez total en ambas secuencia de cultivos ($r^2=0,77$ para T-T y $r^2=0,65$ para T-G; $n=12$) estaría sugiriendo una participación predominante de la fracción orgánica en dicha acidez. Curtin *et al.* (1996) obtuvieron una similar asociación, con un coeficiente de correlación con carbono orgánico de 0,84. La materia orgánica ha sido considerada el principal componente del suelo que contribuye a la acidez total (Hoyt 1977) y a los requerimientos de encalado en suelos con bajo contenido de aluminio de intercambio (Keeney Corey 1963, Ross *et al.* 1964).

Balance de protones

Bouman *et al.* (1995), propusieron un balance de protones para tratar de explicar el origen de la acidificación en los suelos fertilizados con distintas fuentes de nitrógeno. Siguiendo las pautas indicadas por estos autores, se realizó un balance de protones en el tratamiento N-0 de la secuencia de cultivo T-T para una profundidad de muestreo de 18 cm (Tabla 2).

En dicho balance se estimó la acidez potencial (A) producida por el agregado del fertilizante nitrogenado, asumiendo que todo el nitrógeno del fertilizante se transformaba a nitrato y que se producía 1 mol de protones por cada mol de nitrógeno que se oxidaba a nitrato. Al aplicar 120 kg N ha⁻¹ año⁻¹ al trigo, se agregaron 960 kg N ha⁻¹ durante los ocho años de fertilización. Teniendo en cuenta la relación de moles de protones y nitratos mencionada, se calculó una acidez potencial de 68,57 kmol H⁺ ha⁻¹.

Para estimar los protones neutralizados por la planta (B), se calculó el contenido de nitrógeno en grano como la diferencia entre el tratamiento fertilizado con 120 kg N ha⁻¹ (N-0) y el testigo (0-0), obteniéndose un valor de 105 kg N en grano ha⁻¹ durante ocho años. Para este cálculo se contó con los kg de grano acumulados en los ocho años y con el porcentaje de nitrógeno en grano, para los dos tratamientos. Se asumió que el cultivo de trigo al absorber nitratos liberaba hidroxilos los cuales neutralizarían los protones del fertilizante; con los valores mencionados de nitrógeno en grano ha⁻¹ se neutralizarían 7,5 kmol H⁺ ha⁻¹.

Teniendo en cuenta que la relación exceso bases/nitrógeno en el grano de trigo es muy pequeña, menor de 0,01 según Bouman *et al.* (1995), la acidez debida al exceso de cationes removidos por el grano de trigo fue considerada despreciable.

La acidez medida de 2,81 corresponde al valor de acidez intercambiable expresada como kmol H⁺ ha⁻¹. El valor de acidez intercambiable de 0,13 cmol kg⁻¹ para el tratamiento N-0, se expresó en kmol ha⁻¹, empleando una densidad aparente de 1,2 Mg m⁻³ para una profundidad de 18 cm.

Comparando la acidez medida con los valores de acidez teórica, se observó que la producción de protones fue mucho menor que la esperada. Bouman *et al.* (1995) observaron la misma tendencia en ensayos fertilizados con urea. La diferencia de 58,26 kmol H⁺ ha⁻¹, entre la acidez medida y teórica, podría atribuirse a que parte del nitrógeno de la urea se perdió por volatilización o desnitrificación; estas son dos vías de pérdida de nitrógeno que anulan el efecto acidificante de fuentes amoniacales (Boswell *et al.*, 1985). En nuestras condiciones, las pérdidas por volatilización en aplicaciones superficiales de urea a la siembra y macollaje de trigo en

Tabla 2. Balance de protones para la secuencia trigo-trigo.

Fuente de protones	kmol protones ha ⁻¹
Acidez potencial (A)	68,57
Protones neutralizados por planta (B)	7,5
Exceso de bases (EB) (C)	0,00
Acidez teórica (A+C-B)	61,07
Acidez medida	2,81

labranza convencional, son reducidas debido a las condiciones de baja temperatura y alta capacidad de intercambio catiónico (Videla 1995). Una explicación estaría dada por la capacidad tampón que tendrían estos suelos, dada por el alto contenido de materia orgánica, que contrarrestaría el efecto acidificante de los fertilizantes nitrogenados.

Estos resultados muestran que la aplicación continua de fertilizantes nitrogenados y fosfatados durante ocho años no provocó cambios en el contenido de materia orgánica y nitrógeno total; siendo sin embargo importante el incremento de fósforo disponible debido al efecto residual del fósforo aplicado. La fertilización continua con urea a dosis altas resultó en una caída de 0,39 unidades de pH; sin embargo los valores de acidez intercambiable se mantuvieron bajos entre 0,07 y 0,20 cmol_(c) kg⁻¹, no observándose aluminio intercambiable. Con la disminución del pH no se detectaron cambios en el contenido de cationes intercambiables, en la capacidad de intercambio catiónico y en el contenido de micronutrientes. La fertilización discontinua no afectó el pH, el contenido de nitrógeno total, la capacidad de intercambio catiónico o el nivel de micronutrientes. Aparentemente la fracción orgánica es uno de los principales componentes de la capacidad reguladora del suelo; no obstante futuras investigaciones permitirían dilucidar el rol de la misma. La acidificación del suelo podría adquirir más importancia en el futuro, debido al uso incrementado de los fertilizantes nitrogenados formadores de ácido.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración del personal del Laboratorio de Suelos, Plantas y Aguas y del Grupo de Fertilidad y Manejo de Suelos por facilitar el ensayo analizado.

REFERENCIAS

- Adams F. 1984. Crop response to lime in the southern United States. En: F. Adams (Ed). Soil acidity and liming. 2nd ed.

- Agron. Monogr. 12. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, Wisconsin, p.p.211-265
- Berardo A, Gratton F, Rizzalli R, Garcia F. 1994. Residual phosphorus evaluated for soils of southeast Buenos Aires Province. *Better Crops International*: 3-5
- Bertolasi R C. 1996a. Mercado de fertilizantes: Situación actual y perspectivas.III Seminario de Actualización Técnica de Fertilización de Cultivos Extensivos y Forrajeras. CPIA - SRA: 183-188
- Bertolasi R C. 1996b. Aumento en el consumo de fertilizantes. *Revista Fertilizar* 2: 14-15
- Bolan N S, Healey M J, White R E. 1991. Processes of soil acidification during nitrogen cycling with emphasis on legume based pastures. *Plant Soil* 134:53-63
- Bohn H, McNeal B, O'Connor G. 1985. Cation Retention. En: *Soil Chemistry*. 2nd ed. John. Wiley. New York. p p. 153-183
- Boswell F, Meisenger J, Case N. 1985. Production, marketing, and use of nitrogen fertilizers. En: O.P. Engelstad (Ed.). *Fertilizer technology and use*. 3th ed. SSSA. Madison, Wisconsin. s. p.
- Bouman O T, Curtin D, Campbell C A, Biederbeck V O, Ukrainetz H. 1995. Soil acidification from long-term use of anhydrous ammonia and urea. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:1488-1494
- Bray R, Kurtz L T. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59:39-4
- Bremner JM, Mulvaney C. 1982. Nitrogen-Total. En: A. L. Page *et al.* (Eds.) *Methods of soil analysis*. Part. 2. Chemical and microbiological properties. 2nd ed. Agron. 9. ASA and SSSA. Madison, Wisconsin. p p. 595-624
- Campbell C A. 1978. Soil organic carbon, nitrogen and fertility. En: M. Schinitzer and S. U. Khan (Eds.) *Soil organic matter*. Elsevier scientific, New York, p p. 173-271
- Chapman H.D. 1965. Cation-exchange capacity. En: C. A. Black *et al.* (Eds.) *Methods of soil analysis*. Part 2. Chemical and microbiological properties. Agron. 9. ASA and SSSA. Madison, Wisconsin, p p. 891-898
- Chan K Y, Roberts W P, Human D P. 1992. Organic carbon and associated soil properties of a red earth after 10 years of rotation under different stubble and tillage practices. *Aust. J. Soil. Res.* 30: 74-83
- Curtin D, Rostad H P, Huang P M. 1984. Soil acidity in relation to soil properties and lime requirement. *Can. J. Soil. Sci.* 64:545-554
- Curtin D, Campbell C A, Messer D. 1996. Prediction of titratable acidity and soil sensitivity to pH Change. *J. Environ. Qual.* 25:1280-1284
- Curtin D, Stone D, Whitney K, Long H. 1991. Soil properties after twenty years of fertilization with different nitrogen urees. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55:1097-1100
- Curtin D. 1977. Effects of organic matter content on exchangeable and pH -dependent acidity of very acid soils. *Can. J. Soil Sci.* 57:221-222
- Keeney DR, Corey RB. 1963. Factors affecting the lime requirements of Wisconsin soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc* 27:277-280
- Kissel D E, Gentzch E P, Thomas G W. 1971. Hydrolysis of nonexchangeable acidity in soil during salt extractions of exchangeable acidity. *Soil Sci.* 111:293-297
- Owensby C E, Anderson K L, Whitney D A. 1968. Some chemical properties of a silt loam soil after 20 years nitrogen and phosphorus fertilization of smooth bromegrass (*Bromus inermis* Leyss). *Soil Sci.* 109: 24-29
- Paul E A, Clark F E. 1989. Dynamics of residue decomposition and soil organic matter turnover. En: *Soil microbiology and biochemistry*. Academic Press. p p. 115-130
- Peech M. 1965. Exchange Acidity. En: C. A. Black *et al.* (Eds.) *Methods of soil analysis*. Part 2. Chemical and microbiological properties. Agron. 9. ASA and SSSA. Madison, Wisconsin. p p. 905-913
- Pierre W H, Banwart W L. 1973. Excess-base and excess-base/nitrogen ratio of various crop species and parts of plants. *Agron. J.* 65:91-96
- Richardson J L, Riecken F F. 1977. Differences in exchangeable aluminum and soil acidity in loess soils of Iowa. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41:588-593
- Ross G J, Lawton K, Ellis B G. 1964. Lime requirement related to physical and chemical properties of nine Michigan soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 28:209-212
- SAS Institute 1985. *SAS user's guide: Statistics*. Version 5 de. SAS Inst., Cary, NC
- Schwab A P, Ramson M D, Owensby C E. 1989. Exchange properties of an Argiustoll: Effects of long-term ammonium nitrate fertilization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:1422-1417
- Schwab A P, Owensby C E, Kulyingyong S. 1990. Changes in soil chemical properties due to 40 years of fertilization. *Soil Sci.* 149: 35-43
- Studdert G. 1996. Evaluación de distintas secuencias de cultivos en un esquema de agricultura continua: Su incidencia en los rendimientos y en algunas propiedades físicas y químicas. Informe final del Plan de Trabajo N° 620100 EEA Balcarce. s. p.
- Studdert G, Echeverría H, Casanovas E. 1997. Crop pasture rotation for sustaining the quality and productivity of a Typic Argiudol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61 :1466-1472
- Thomas G W. 1982. Exchangeable cations. En: A. L. Page *et al.* (Eds.) *Methods of soil analysis*. Part 2. Chemical and microbiological properties. 2nd ed. Agron. 9. ASA and SSSA. Madison, Wisconsin, p p 159-165
- Videla C. 1995. La volatilización de amoníaco: una vía de pérdida de nitrógeno en sistemas agropecuarios. *Boletín Técnico* 131. EEA INTA Balcarce. p p.1-10
- Walkley A., Black I A.. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37:29-37
- Williams C H. 1980. Soil acidification under clover pasture. *Austr. J. of Exp. Agric. and Animal Husbandry.* 20:561-567