



**VALORES DE pH DE SUELOS AGRÍCOLAS PAMPEANOS.
INDICIOS DE SU ACIDIFICACIÓN**



Presentado por
ELISEO LORENZO

.....
Director
Dr. DANIEL BUSCHIAZZO

.....
Co-director
Lic. ANTONELA ITURRI

.....
Ingeniería Agronómica
Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de la Pampa

ÍNDICE

RESUMEN	3
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	4
a. Hipótesis.....	6
b. Objetivos.....	6
CAPÍTULO II. MATERIALES & MÉTODOS	7
a. Muestreo de los sitios estudiados.....	7
b. Análisis de laboratorio.....	8
c. Análisis estadístico.....	9
CAPÍTULO III. RESULTADOS & DISCUSIÓN	10
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES	16
AGRADECIMIENTOS	17
BIBLIOGRAFÍA	18

RESUMEN

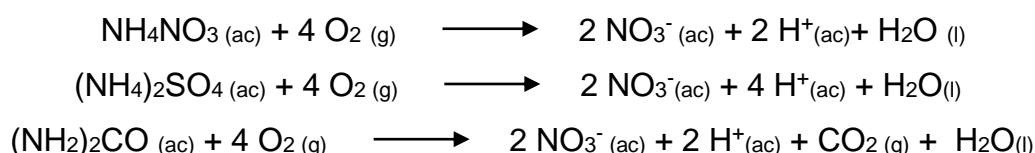
Existen evidencias de acidificación en suelos agrícolas de Argentina. La fertilización nitrogenada puede ser una de las causas de este proceso. El objetivo de este estudio fue cuantificar el estado de acidez de suelos contrastantes de la provincia de Buenos Aires bajo siembra directa, no fertilizados y fertilizados con urea. Los resultados indican que la diferencia promedio entre el pH actual (pH_A) y el potencial (pH_P) fue algo menor a 1, lo que es indicio de un proceso incipiente de acidificación. Existió una alta correlación negativa entre el índice de Lang (cociente entre precipitaciones y temperaturas medias anuales) y los valores de pH. Ambos valores de pH fueron menores en ambientes húmedos que en secos, indicando que las condiciones climáticas condicionan el pH de estos suelos. En los suelos más evolucionados, de ambientes húmedos y fertilizados con urea, este efecto fue aún mayor. Los valores de pH no afectarían la actividad microbiana ni el crecimiento de cultivos sensibles, inclusive en suelos fertilizados. El origen de la incipiente acidificación estaría ligado a factores climáticos o a la fertilización en ambientes secos y a ambos en ambientes húmedos.

PALABRAS CLAVE: pH del suelo; urea; labranza conservacionista

CAPÍTULO I - INTRODUCCIÓN

La expansión de la siembra directa, en la cual la fertilización nitrogenada es indispensable, ha contribuido a un uso más intensivo de los fertilizantes (Panigatti et al., 1998). En la Argentina el uso de fertilizantes se ha cuadruplicado durante el último quinquenio, incrementando su consumo desde 300000 a 1500000 toneladas. Desde comienzos de la década del noventa, tanto la dosis como la superficie fertilizada han aumentado considerablemente (Bertolasi, 1996).

El nitrógeno es uno de los elementos nutrientes que se aplica en mayor cantidad a través de fertilización en la agricultura extensiva en la región Pampeana (Montoya et al., 1999; Díaz-Zorita, 2005). Si bien existe una amplia gama de productos que proveen nitrógeno, el ampliamente más difundido es la urea. La mayoría de los fertilizantes nitrogenados, como el nitrato de amonio, el sulfato de amonio y la urea, frecuentemente utilizados en la región Pampeana, son acidificantes (Chien et al., 2001; Vázquez, 2005). Este efecto se debe a que en el suelo la oxidación del $\text{NH}_4^+(\text{ac})$ del fertilizante a $\text{NO}_3^-(\text{ac})$, produce una liberación de $\text{H}^+(\text{ac})$, que pueden causar su acidificación:



El grado de acidez que el fertilizante induce en el suelo depende de la fuente de nitrógeno que se utiliza. Es mayor el efecto acidificante del sulfato de amonio respecto del nitrato de amonio y la urea (Chien et al., 2001). Sin embargo, no se puede generalizar sobre este efecto en todos los suelos. Normalmente, la diferente capacidad amortiguadora de los suelos hace que este proceso ocurra en desigual extensión.

El pH del suelo es una de sus propiedades químicas más relevantes ya que controla la movilidad de iones, la precipitación y disolución de minerales, las reacciones de óxido-reducción, el intercambio catiónico, la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrientes (Zapata Hernández, 2004). La remoción de las bases de

cambio, calcio, magnesio, potasio y sodio por H^+ , sin reposición de las mismas, conlleva a una disminución en la saturación del complejo de intercambio con la consecuente acidificación de los suelos (Vázquez, 2005). Ese descenso de pH del suelo genera procesos perjudiciales (Tabla 1).

Tabla 1. Principales efectos de la acidificación del suelo.

Grado de Acidificación	Rango de pH	Efecto desencadenado
Neutro	7,3 – 6,6	Mínimos efectos tóxicos.
Ligero	6,5 – 6,1	Máxima disponibilidad de nutrientes.
Medio	6,0 – 5,6	Intervalo adecuado para la mayoría de los cultivos.
Fuerte	5,5 – 5,1	Deficiencia de Ca y/o Mg. Suelos sin carbonato cálcico. Escasa actividad bacteriana.
Muy fuerte	5,0 - 4,5	Solubilización de elementos fitotóxicos, como Fe y Mn. Problemas en el proceso de nodulación de las leguminosas. Posible toxicidad por $Al^{3+}_{(ac)}$.
Extremo	< 4,5	Desnaturalización de los filosilicatos. Condiciones muy desfavorables.

Entre otros procesos perjudiciales, es de destacar la desnaturalización de los filosilicatos. Este proceso irreversible de degradación del suelo, se inicia a valores de pH menores a 4,5 (Porta Casanellas et al, 1999). Estos minerales definen varias propiedades físicas y químicas que hacen a la productividad, como la estructura y la capacidad de retener y conducir el agua, y la capacidad de intercambio catiónico y la capacidad *buffer* del suelo para contrarrestar la acidificación. La desnaturalización de los filosilicatos produce una liberación de iones $Al^{3+}_{(ac)}$ (Zapata Hernández, 2004) desde las estructuras cristalinas hacia la solución del suelo, lo que a su vez acelera la acidificación del suelo y desencadena procesos de fototoxicidad.

Iturri et al. (2011) estudiaron suelos agrícolas de ocho sitios de la región central de Argentina, bajo siembra directa de larga duración, no fertilizados y fertilizados con urea. Encontraron que los valores de pH fueron menores en los ambientes húmedos que en los secos y potencialmente perjudiciales para el desarrollo normal de los cultivos. Este efecto se vio incrementado en condiciones de aplicación frecuente del fertilizante nitrogenado.

De lo enunciado anteriormente se deduce que es necesario estudiar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre el pH, en suelos contrastantes bajo siembra directa de larga duración.

a. Hipótesis

Los suelos bajo uso agrícola que presentarán mayor vulnerabilidad a sufrir acidificación serán:

- 1- Suelos con mayor historia de fertilización nitrogenada, específicamente con urea.
- 2- Suelos más evolucionados, de ambientes húmedos, por reemplazo de bases intercambiables por H^+ provenientes del agua de lluvia.

b. Objetivo

Cuantificar el estado de acidez de suelos agrícolas contrastantes de la provincia de Buenos Aires bajo siembra directa, no fertilizados y fertilizados con urea.

CAPÍTULO II - MATERIALES Y MÉTODOS

a. Muestreo de los sitios estudiados

Se seleccionaron suelos agrícolas bajo siembra directa de cuatro sitios de la provincia de Buenos Aires (Tabla 2). Los sitios se seleccionaron en base a que tuvieran distinto índice de Lang, representativo de las condiciones en suelos agrícolas en distintas latitudes de la provincia de Buenos Aires. Dicho índice se calcula a través de la siguiente ecuación (Lang, 1920):

$$\text{Índice de Lang} = \frac{PMA}{TMA} \quad \text{Eq. 1}$$

siendo *PMA*: precipitación media anual (mm); *TMA*: temperatura media anual (°C).

En cada uno se identificaron dos sectores: No fertilizados con urea (NF) y fertilizados con urea (F). Los suelos bajo ambos tratamientos (NF y F) fueron exactamente los mismos con epipedon mólico, con porcentaje de saturación de bases > 50% y materia orgánica mínimo el 1% o 0,6% de C, fertilizándose con aplicación al voleo de urea en las gramíneas que forman parte de la rotación establecida en cada sitio.

Se delimitaron 3 unidades de muestreo de 10 m² en cada sector. Se tomaron aleatoriamente un total de 32 muestras (4*2*3) a la profundidad (0 - 20 cm).

Se empleó el índice de Lang de cada sitio, a fin de establecer el efecto de las condiciones climáticas sobre los parámetros edáficos analizados.

Tabla 2. Principales características de los sitios y suelos.

	Balcarce	Pergamino	Bordenave	Gral.Villegas
PMA/TMA (mm °C⁻¹)	68,5	60,3	52,3	45,9
Ubicación	S 37°45` W 58°18`	S 33°56` W 60°34`	S 37°41` W 63°11`	S 34°51` W 62°45`
Clasificación	Argiudol Típico	Argiudol Típico	Hapludol Típico	Hapludol Típico
Textura	Franco arcilloso	Franco arcillo arenoso	Franco limoso arenoso	Franco arenoso
Tratamientos	F NF	F NF	F NF	F NF
Dosis (kg Urea ha⁻¹)	180 0	140 0	125 0	135 0
Rotación	M-S-T/S	S-T-M	M-S-T/S	M -S-G-T/S

PMA/TMA: índice climático de Lang; F: fertilizado con urea; NF: no fertilizado con urea; M. maíz; S: soja; T: trigo; G: girasol.

b. Análisis de laboratorio

Sobre las muestras, especificadas por tipo de suelo y tratamiento de fertilización, secas al aire y tamizadas por una malla de 2 mm, se realizaron, por duplicado, determinaciones de pH actual (pH_A - relación 1:2,5 suelo:agua) y pH potencial (pH_P - relación 1:2,5 suelo: KCl 1 eq L⁻¹) (Page et al. 1982). También se determinaron capacidad de intercambio catiónico (CIC) y bases de intercambio (Na, K, Ca y Mg) por extracción con NH₄CH₃COO a pH 7 y posterior determinación por espectrofotometría de absorción atómica (AAS) (Rhoades, 1982). En base a estas determinaciones se calculó el porcentaje de saturación de bases (PSB). Por el método de Walkley & Black (1947) se determinó el contenido de materia orgánica (MO). El análisis granulométrico se realizó mediante el método de la pipeta de Robinson (Gee & Bauder, 1982).

c. Análisis estadístico

En cada sitio se estudió el efecto de la fertilización sobre los valores de pH. Los valores de pH se analizaron con el test F de Fisher para comparar las varianzas y con el test t de Student, a una cola, para la comparación de medias. Se eligió conducir el test t a una cola porque el supuesto es que tanto el pH como el PSB de suelos F serán menores o iguales al de los NF. En todos los casos se usó un $\alpha = 0,05$.

Dentro del espectro obtenido entre sitios se correlacionaron el índice de Lang y todas las variables edáficas analizadas entre sí con el total de los datos. De acuerdo con los resultados de la correlación se desarrollaron regresiones lineales de la variable pH, actual y/o potencial, en función del índice climático de Lang, dentro y entre tratamientos de fertilización, respectivamente. Se compararon las rectas obtenidas mediante ANCOVA, a un $\alpha = 0,05$.

Los análisis se realizaron con los programas Microsoft Excel e InfoStat/Profesional versión 1.1 (Di Rienzo et al., 2002).

CAPÍTULO III - RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de pH_A promediaron 5,86 en suelos NF y 5,60 en los F; los de pH_P 5,06 y 4,81 en NF y F, respectivamente. Los valores de pH_A de los suelos estudiados pueden considerarse, de acuerdo con la clasificación de la Tabla 1, como de grado de acidificación medio a fuerte; los valores de pH_P entre fuerte a muy fuerte. Si bien los valores de pH_A se encuentran dentro del intervalo óptimo para el desarrollo de los cultivos, los valores de pH_P hallados permiten predecir la posibilidad de que se pudieran generar deficiencias de Ca^{2+} y Mg^{2+} en el complejo de intercambio, como así también, la solubilización de elementos fitotóxicos como Fe y Mn, e incluso, Al (Porta Casanellas et al, 1999; Zapata Hernández, 2004). En todos los casos, los valores de pH_A fueron significativamente mayores ($p < 0,05$) que los de pH_P dentro de cada sitio y tratamiento de fertilización (Figura 1).

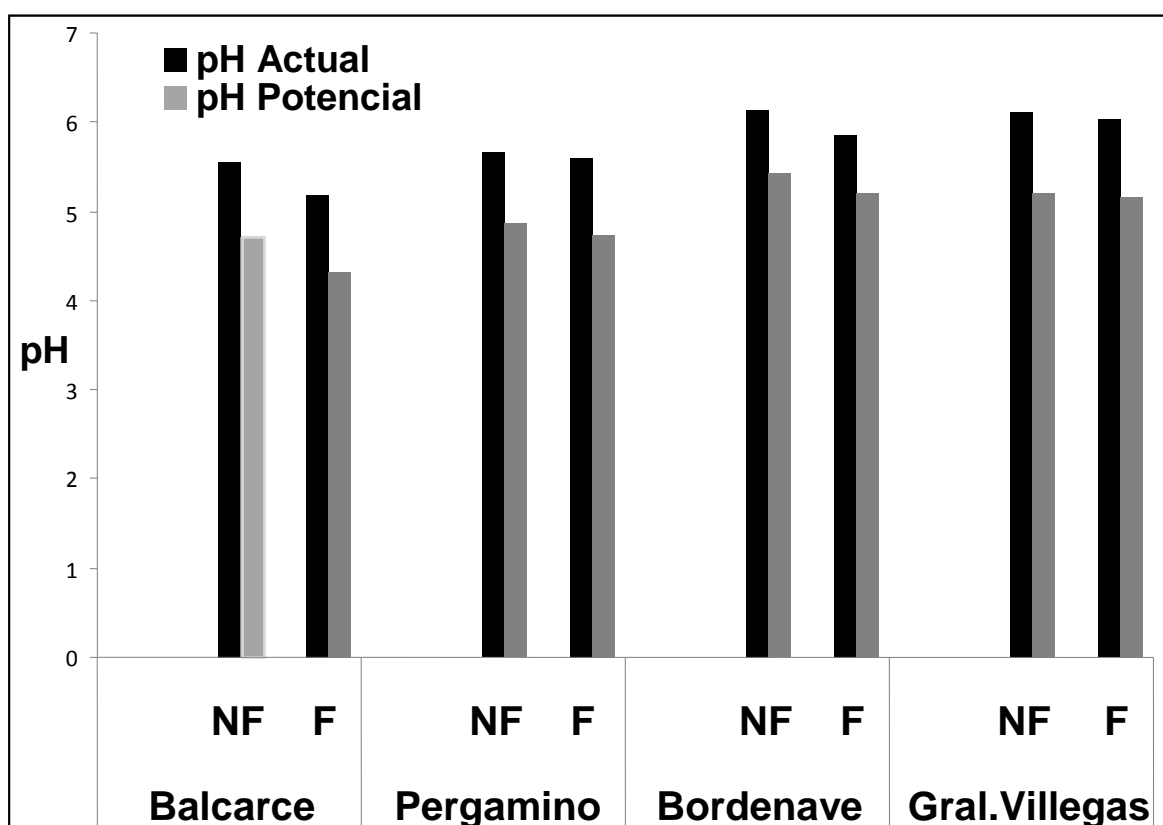


Figura 1: pH actual y potencial de suelos no fertilizados (NF) y fertilizados (F) con urea para los cuatro sitios.

La diferencia promedio entre el pH_A y el pH_P dentro de los tratamientos de fertilización fue 0,80 en NF y 0,79 F. Una diferencia entre el pH_A y el pH_P mayor a 1,00, indicaría acidificación del suelo, dado que tal diferencia podría potencialmente generar un incremento de hasta diez veces la concentración de H^+ en la solución del suelo, si ocurriera una disociación total de todos los H^+ adsorbidos en el complejo de cambio. A pesar de que las diferencias halladas no superan la unidad, son de una magnitud lo suficientemente importante como para alertar acerca de la posibilidad de un mayor desarrollo del proceso de acidificación en el futuro.

Las diferencias entre los valores de pH_A y pH_P entre tratamientos de fertilización dentro de cada sitio y tipo de pH fueron: 1) altamente significativas ($p < 0,001$) para suelos de Balcarce; 2) significativas ($p < 0,05$), en Pergamino y Bordenave y, 3) no significativas ($p < 0,05$), en General Villegas. Esto es consistente con las mayores dosis de urea recibidas en Balcarce y Pergamino. En General Villegas, si bien el suelo recibió mayores dosis de urea que en Bordenave, el mayor contenido de MO de estos suelos estarían amortiguando el descenso de pH.

Similares tendencias a las halladas en los valores de pH respecto a la fertilización se encontraron cuando se estudió la variación de pH a lo largo de la climosecuencia (Figura 2), para suelos bajo ambos tratamientos, NF y F.

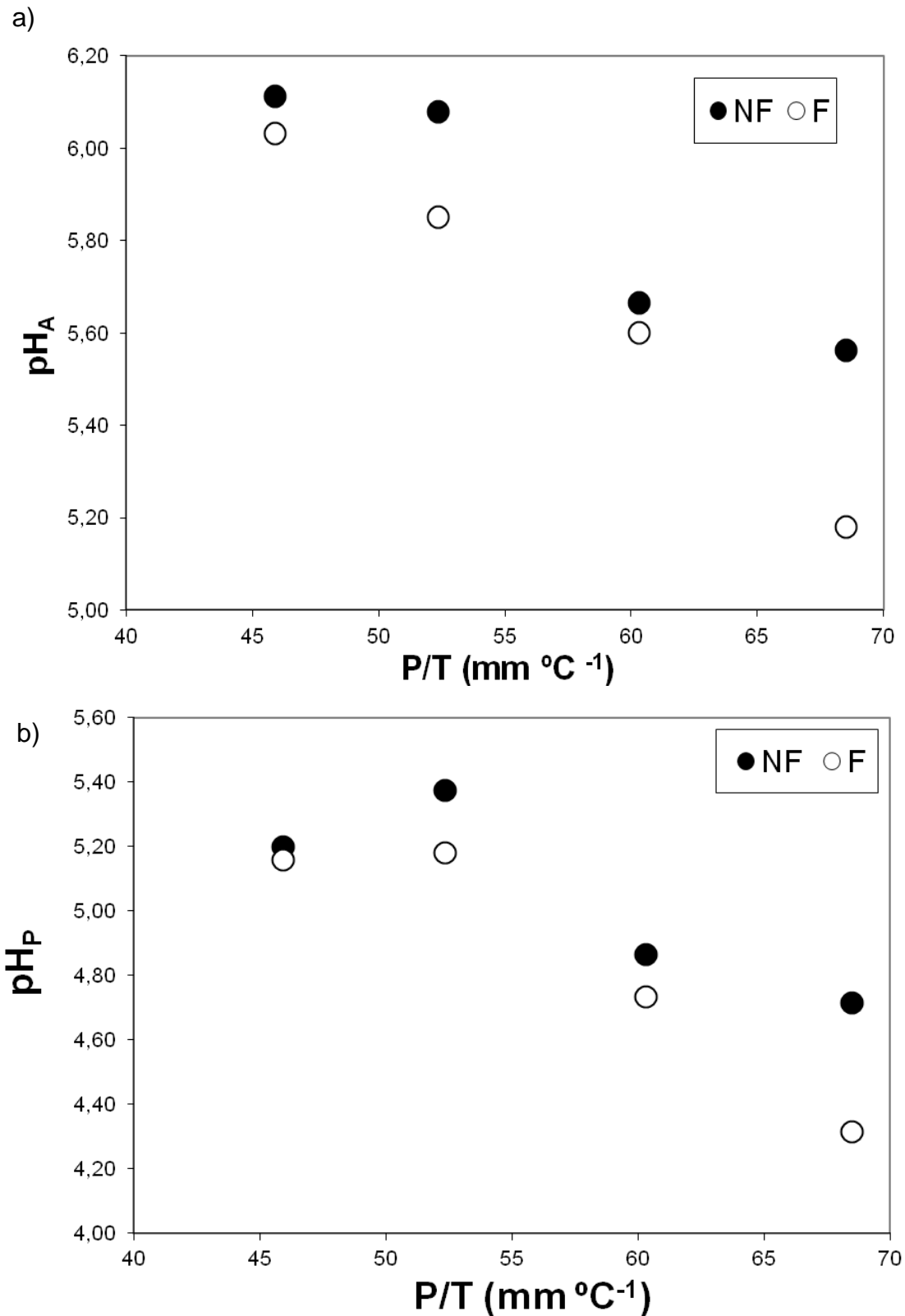


Figura 2: pH a) actual (pH_A) y b) potencial (pH_P) de suelos no fertilizados (NF) fertilizados (F) en función del índice climático de Lang (PMA/TMA) para los cuatro sitios.

La Figura 2 muestra que ambos pH (pH_A y pH_P) se relacionaron lineal y negativamente con el cociente PMA/TMA de cada sitio, tanto para suelos NF como F. Tanto para el pH_A como para el pH_P se observa que, en suelos más evolucionados de ambientes húmedos, el proceso de acidificación se ve incrementado por la adición de fertilizante. El suelo fertilizado del sitio con el cociente PMA/TMA menor (General Villegas) presentó valores promedio de pH_A de 6,03 y de pH_P de 5,16 mientras que el del sitio con el mayor índice climático de Lang (Balcarce) presentó, respectivamente, valores de 5,18 y 4,32. En este último, así como en Pergamino, estaría desarrollándose un leve proceso de acidificación por efecto de la adición de urea.

El análisis de los coeficientes de correlación (Tabla 2) confirma las tendencias halladas por el análisis de regresión (Figura 2). Ambos valores de pH se correlacionaron negativamente con el cociente PMA/TMA, lo que indica que el agua de lluvia ha producido el lavado de las bases de cambio (Dubiková et al., 2002) como consecuencia de la incorporación de H^+ al suelo (Noyes et al., 2009). Los contenidos de MO se correlacionaron positivamente con el cociente PMA/TMA ($r=0,82$, $p<0,05$), y con la CIC ($r=0,760$, $p<0,05$).

Tabla 2: Coeficientes de correlación de Pearson (coeficientes \ probabilidades).

	PMA/TMA	pH_A	pH_P	MO	CIC	Na	K	Ca	Mg	PSB
PMA/TMA	1	0,001	0,010	0,010	0,000	0,010	0,660	1,000	0,400	0,020
pH_A	-0,920	1	0,000	0,010	0,001	0,010	0,770	0,700	0,530	0,010
pH_P	-0,870	0,970	1	0,010	0,004	0,004	0,980	0,370	0,600	0,001
MO	0,820	-0,850	-0,870	1	0,030	0,010	0,400	0,620	0,980	0,040
CIC	0,980	-0,920	-0,880	0,760	1	0,003	0,550	0,850	0,250	0,010
Na	0,870	-0,840	-0,880	0,870	0,890	1	0,660	0,570	0,530	0,010
K	-0,180	0,130	-0,010	0,350	-0,250	0,190	1	0,600	0,080	0,850
Ca	-0,002	0,170	0,370	-0,210	-0,080	-0,240	-0,220	1	0,710	0,120
Mg	0,340	-0,260	-0,220	-0,010	0,460	0,260	-0,650	-0,160	1	0,380
PSB	-0,790	0,830	0,920	-0,730	-0,840	-0,820	0,080	0,590	-0,360	1

En la Figura 3.a) se observa que la CIC aumenta ligeramente hacia los sitios de suelos más evolucionados , siendo de $29,36 \text{ meq}100\text{g}^{-1}$ la CIC para el suelo de (Balcarce) y $17,17 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ para el de General Villegas con suelo de menor evolución. El porcentaje de saturación de bases osciló entre 50,43 y 92,61 % (Figura 3b). Suelos de ambientes más húmedos estarían sufriendo el desplazamiento de las bases de intercambio por H^+ del agua de lluvia.

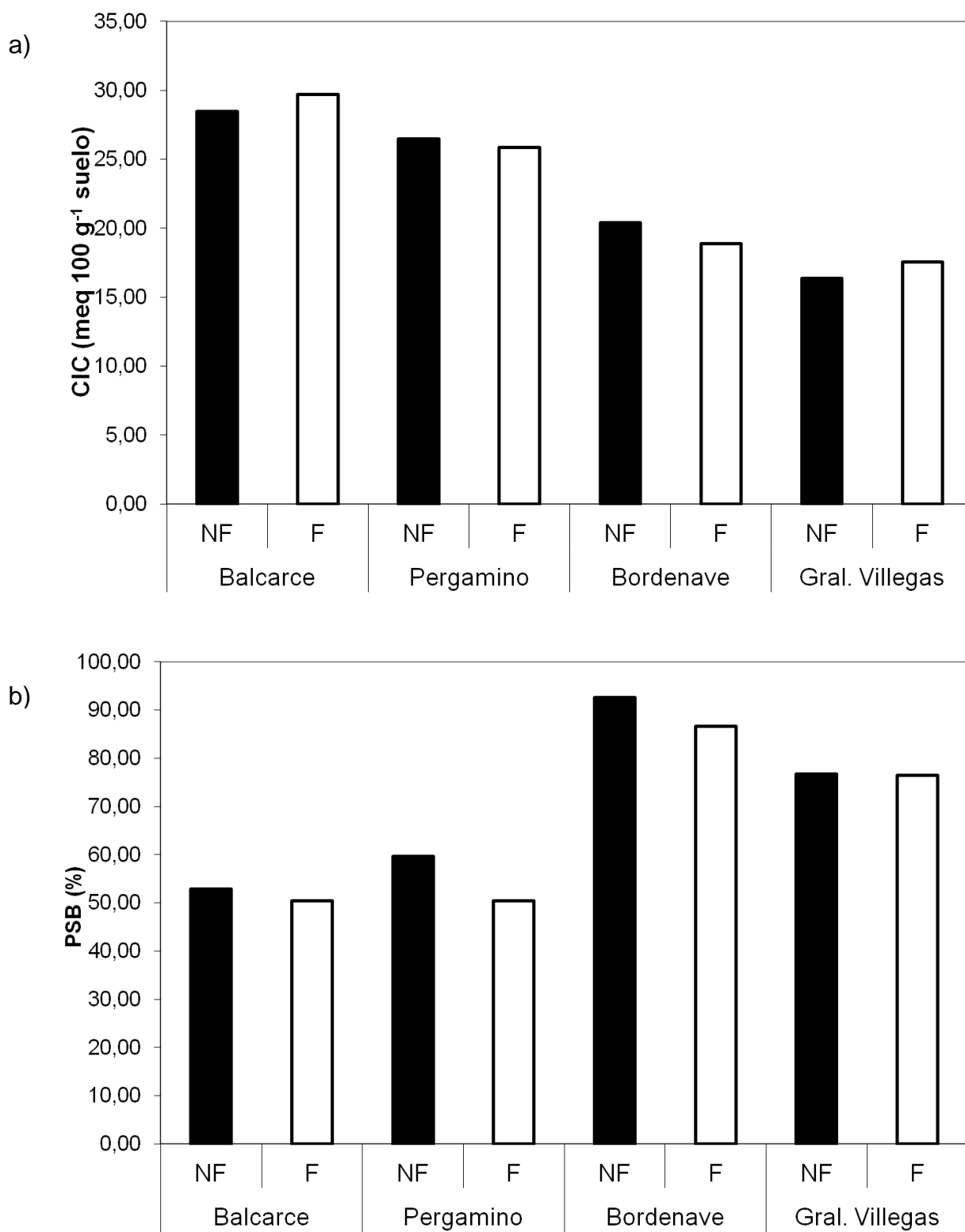


Figura 3: a) CIC y b) PSB de los cuatro suelos estudiados bajo ambos tratamientos, F y NF.

CAPÍTULO IV - CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio demuestran que los valores de pH fueron menores en ambientes húmedos aunque no alcanzan a ser considerados potencialmente perjudiciales para el normal crecimiento de la mayoría de los cultivos de cosecha. Este efecto se vio incrementado en condiciones de uso frecuente de urea. En ambientes secos, los valores de pH tampoco alcanzaron niveles tan bajos como para afectar el normal desarrollo de los cultivos. La acidificación tendría un carácter de incipiente, ya que la diferencia entre pH_A y pH_P fue algo menor a 1. La acidificación estaría ligada a las condiciones climáticas o a la fertilización nitrogenada en ambientes secos y a ambos factores en forma simultánea en ambientes húmedos.

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis fue financiada por la Facultad de Agronomía de la UNLPam (ID-98/11). Los autores desean agradecer a los Dres. M. Barraco, G. Studdert y H. Kruger y al MSc. G. Ferraris, por su colaboración en el muestreo de los sitios estudiados.

BIBLIOGRAFÍA

- Bertolasi, RC 1996: Aumento en el consumo de fertilizantes. *Fertilizar*. 2.14-15.
- Chien, SH; Gearhart, MM; Collamer, DJ. 2001. Los fertilizantes Nitrogenados y la Acidificación del Suelo. Internacional Fertilizer Development Center. <http://www.elsitioagrícola.com>.
- Di Rienzo, JA; Balzarini, M; Casanoves, F;González, L;Tablada, M; Robledo, CW. 2002. Infostat/Professional version 1.1.
- Díaz Zorita, M. 2005. Cambios en el uso de pesticidas y fertilizantes. *Ciencia hoy*. 28-29.
- Dubiková, M; Cambier, P; Šucha, V; Čaplovičová, M. 2002. Experimental soil acidification. *Applied geochemistry* 17:245-257.
- Gee, GW; Bauder. JW 1982. Particle size analysis. P. 383-404. In Klute, A. (Ed.) *Methods of soil analysis, Part 1, Physical and mineralogical methods*. Soil Science Society of America – Agronomy Society of America, Madison, WI. 1188.
- Iturri, LA; Buschiazzo. DE; Díaz-Zorita, M. 2011. Acidification evidences of no-tilled soils of the central region of Argentina. *Ciencia del Suelo*. 29 (1) 13-19.
- Lang, R. 1920. *Verwitterung und Bodenbildung als Einführung in die Bodenkunde*. Schweitzerbart'sche Verlag. Cited by Buol, SW; Hole, FD; McCracken, RJ 1983. *Génesis y clasificación de suelos*. Ed. Trillas. Stuttgart.
- Montoya, JC; Bono, AA; Suárez, A; Darwich, NA ; Babinec, FJ. 1999. Cambios en el contenido de fósforo asimilable en suelos del este de la provincia de La Pampa, Argentina. *Ciencia del Suelo*. 17(1):45-58.
- Noyes, PD; McElwee, MK; Millar, HD; Clark, BW; Van Tiem, LA; Walcott, KC; Edwin, KN; Levin, ED. 2009. The toxicology of climate change: Environmental contaminants in a warming world. *Environment international*. 35:971-986.
- Page, AL; Millar, RH; Keeney, DR. 1982. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. 2nd edition. USA. American Society of Agronomy. S. S. S. of America.
- Panigatti, JL. 1998. El INTA y la Siembra Directa. En: *Siembra Directa*. Eds. Panigatti, JL.; Marelli, H; Buschiazzo, DE; Gil, R. Hemisferio Sur 334 pp.

- Porta Casanellas, J; López-Acevedo Requerín, M; Roquero De Laburu, C. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. España. Ed. Mundi-Prensa. 849.
- Rhoades, JD. 1982. Cation exchange capacity. En: Page, AL; Miller, RH; Keeney, DR (Eds). Methods of soil analysis. Part 2-Chemical and microbiological properties. Vol.1. 2da edn. Pp.149-157. SSSA. Madison, Estados Unidos. 1159 pp.
- Vázquez, ME. 2005. Acidez del suelo. En: Marbán, L & SE Ratto (Eds). Tecnologías en análisis de suelos. Vol.1. 1era edn. Pp. 71-88. AACCS. CABA, Argentina. 215 pp.
- Walkley, A; Black, IA. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil science. 37:29-38.
- Zapata Hernández, RD. 2004. Química de la acidez del suelo. Medellín, Colombia.