

# Informaciones Agronómicas

del Cono Sur



Instituto de la Potasa y el Fósforo  
Potash & Phosphate Institute  
Potash & Phosphate Institute of Canada

## En este número:

Dinámica del K en suelos del sur de Chile

Cambios del P bajo diferentes rotaciones de cultivos

Errores en la determinación de P disponible

Determinación de la capacidad tampón de P

Validación de la capacidad tampón de P

Siembra directa: Cambios en los contenidos de C

## Dinámica del potasio en un transecto de suelos derivados de materiales volcánicos y metamórficos

**Dante Pinochet T; Pablo Azúa G. y Roberto MacDonald H.**  
*Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos. Facultad de Ciencias Agrarias.  
Universidad Austral de Chile. Independencia 641. Valdivia. Chile  
dpinoche@uach.cl*

Presentado al XVI Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo-Cartagena, Colombia, 26 Septiembre al 1 de Octubre 2004.

### Introducción

La disponibilidad del potasio (K) en el suelo está determinada por la dinámica de reposición de K entre las distintas formas presentes en el suelo y la extracción de K por los cultivos. En Chile, los suelos agrícolas han sido evaluados como de un alto contenido de K disponible. Sin embargo, la extracción sin reposición de K que se ha realizado en los últimos 50 a 100 años ha disminuido el nivel disponible, elevando preguntas sobre la capacidad de reposición del K disponible de los suelos. Por ello, se hace necesario conocer los mecanismos dinámicos del K en los suelos, para establecer el crecimiento y/o decrecimiento de los niveles de K de los suelos, tanto en sus formas disponibles como no disponibles. Los objetivos generales del presente estudio son: determinar el estado potásico de los principales tipos de suelos de la zona sur de Chile, estudiar la dinámica del K en los suelos de la zona sur, y evaluar las tasas de decrecimiento del contenido de K en los distintos reservorios.

### Materiales y métodos

Se colectaron muestras de 0 – 20 cm de profundidad de 10 series de suelos derivados de materiales volcánicos y materiales metamórficos, bajo condición de bosque nativo, en un transecto de suelos de la X



Raps (Colza) en el sur de Chile



**Director:** Dr. Fernando O. García  
 INPOFOS Cono Sur  
 Av. Santa Fe 910  
 (B1641ABO) Acassuso – Argentina  
 Tel/Fax (54) (011) 4798-9939  
 E-mail: fgarcia@ppi-ppic.org  
 Sitio Web: [www.inpofos.org](http://www.inpofos.org)  
[www.ppi-ppic.org](http://www.ppi-ppic.org)



**Propietario:** Potash and Phosphate  
 Institute of Canada (PPIC)



ISSN 1666 - 7115

No. de Registro de Propiedad Intelectual 222581

Se permite copiar, citar o reimprimir los artículos de este boletín siempre y cuando no se altere el contenido y se cite la fuente y el autor.

Diseño e Impresión: Estudio Alejandro Matthiess  
 amatthiess@amatthiess.com.ar

## Contenido:

Dinámica del potasio en un transecto de suelos derivados de materiales volcánicos y metamórficos	1
Cambios del fósforo en suelos bajo diferentes rotaciones de cultivos	5
Pequeñas zonas con altas concentraciones de fósforo causan grandes errores en la determinación de fósforo disponible a nivel de lote	9
Capacidad tampón de fósforo	
I. Método de determinación en el laboratorio	12
Capacidad tampón de fósforo	
II. Validación en terreno de la determinación de laboratorio	14
Cambios en los contenidos de carbono de los suelos pampeanos por introducción de la siembra directa	16
Congresos, Cursos y Simposios	24
Publicaciones de Inpofos	26

Región de Chile con orientación Este–Oeste (Pinochet *et al.*, 2002), desde la Cordillera de los Andes hasta la Cordillera de la Costa. Las muestras fueron caracterizadas en relación a su pH en agua, cloruro de calcio 0.01M y cloruro de K 1 M (1:2,5); contenido de materia orgánica (Walkey y Black), arcilla (método Day), aluminio extractable (acetato de amonio, pH 4.8), aluminio intercambiable (extracción KCl, 1M) y suma de bases de intercambio (acetato de amonio, pH 7.0). El contenido de K total se determinó con una digestión con HF y HClO<sub>4</sub>, el K no intercambiable a través de extracción con ácido nítrico en ebullición, el K intercambiable con NH<sub>4</sub>OAc 1M neutro, menos el K soluble en agua, y el K soluble fue extractado con una solución de CaCl<sub>2</sub> 0.01 M (relación 1:10) (Knudsen *et al.*, 1982). Todos los contenidos de K fueron determinados por espectrometría de absorción atómica (EAA).

Las relaciones cantidad/intensidad (Q/I) de los suelos, se determinaron de acuerdo al método de Beckett (1965). La tasa de desorción de K a la solución, de K intercambiable y K no intercambiable se determinó a través de 9 extracciones sucesivas con CaCl<sub>2</sub> 0.01 M, NH<sub>4</sub>OAc 1M pH 7 y HNO<sub>3</sub> en ebullición, respectivamente, a intervalos de 60 minutos. Las diferencias de contenido de K en las distintas fracciones entre los distintos muestras de suelos se analizaron a través de Análisis de Varianza (ANVA), y las curvas de adsorción y desorción se describieron a través de análisis de regresión usando el programa estadístico *GraphPad Prism v 4.0*.

## Resultados y discusión

Se observa una disminución del contenido de K total en las muestras superficiales de los suelos volcánicos de acuerdo a su grado de evolución, aumentando en los suelos de origen metamórficos (Tabla 1). Los suelos volcánicos recientes y jóvenes presentan los más altos porcentajes del contenido de K en forma estructural, alcanzando su valor más bajo en los suelos más maduros.

Por su parte, los contenidos de K no intercambiable se asociaron vagamente con el tipo de suelo y grado de evolución de éstos. Los contenidos más bajos se presentaron en los suelos recientes y jóvenes, aumentando hacia los suelos más maduros, llegando al valor superior en el suelo Ñapeco. El suelo metamórfico Hueicolla presentó un bajo contenido de K no intercambiable. Por su parte, los valores de la fracción no disponible del K no intercambiable (CRK) fueron los más bajos en los suelos más jóvenes (10 mg kg<sup>-1</sup>), aumentando hacia los suelos volcánicos más maduros (15 mg kg<sup>-1</sup>) y alcanzando los valores mayores en los suelos metamórficos (35 mg kg<sup>-1</sup>). Este parámetro parece reflejar en mejor forma el grado de intemperización de los minerales, junto con el tipo de material generador.

Al evaluar la razón entre el K en solución y el K intercambiable (K<sub>s</sub>/K<sub>i</sub>), es posible separar tres grupos de suelos, de acuerdo al porcentaje de K intercambiable que se encuentra en solución. Un primer grupo presenta entre un 75 y 95% del K intercambiable en

solución (Andisoles recientes y jóvenes), un segundo grupo abarca los Andisoles maduros y los Ultisoles de origen volcánico con valores entre 46 y 54% del K intercambiable en solución y un tercer grupo de los suelos Ultisoles metamórficos con valores del 25%. Esta razón se correlacionó bien ( $r = 0.95$ ) con el parámetro de capacidad tampón determinado desde las relaciones Q/I de los suelos (Figuras 1 a y b).

Al evaluar la desorción de K desde las distintas formas de K presente en los suelos se ajustó una relación del tipo exponencial a las desorciones acumuladas ( $Y = D_{\text{máx}} \cdot (1 - \exp(-k \cdot X))$ ). Los resultados muestran que los suelos más jóvenes tienen una mayor tasa de desorción de K hacia la solución pero su entrega total es menor, en tanto que los suelos más evolucionados tienen una menor tasa de desorción de K a la solu-

ción, pero una entrega mayor en el tiempo (Tabla 2). La desorción hacia el K intercambiable, por su parte, es mayor en los suelos más evolucionados aunque la tasa de desorción fue variable entre los suelos. Por su parte, la tasa de desorción del K ni intercambiable se agrupa de acuerdo al origen y grado de evolución de los suelos, aunque la desorción máxima fue similar entre los suelos a excepción de los suelos metamórficos que fue prácticamente del doble que los suelos de origen volcánico.

**Conclusiones**

La dinámica entre las distintas fracciones de K presentes en los suelos de origen volcánico y metamórficos presentes en la zona sur de Chile, es dependiente del

Tabla 1. Contenido de arcilla, capacidad de intercambio efectiva (CICE) y fracciones de K total, solución, intercambiable y no intercambiable en los diez suelos evaluados.

	Arcilla	CICE	K total	Ks	Ki	Kni
	g 100 g <sup>-1</sup>	cmol <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>			
Andisoles de cenizas recientes						
Antillanca	3.5	1.72	8460 f	38 a	52 a	46 f
Andisoles de cenizas jóvenes						
Chanleufú	5.8	2.56	6853 de	73 c	90 c	82 cd
Puyehue	7.2	9.36	5007 c	129 e	140 e	77 d
Huiño-Huiño	12.2	2.29	7067 e	105 d	124 d	68 de
Andisoles de cenizas maduras						
Osorno	33.3	10.68	1905 ab	71 c	155 e	84 cd
Corte Alto	16.8	5.15	1975 ab	35 a	76 b	99 b
Ultisoles de materiales volcánicos						
Cudico	36.6	6.82	1593 a	46 b	87 c	77 d
Crucero	29.4	7.73	1481 a	173 f	318 f	96 bc
Ultisoles de materiales metamórficos						
Ñapeco	67.2	24.91	2419 b	78 c	330 f	228 a
Hueicolla	39.6	19.42	6480 d	161 f	610 g	49 ef

Letras distintas indican diferencias significativas entre los valores de la columna (Tukey,  $p < 0.05$ )

Ks: Potasio en solución; Ki: Potasio intecambiable; Kni: Potasio no intercambiable.

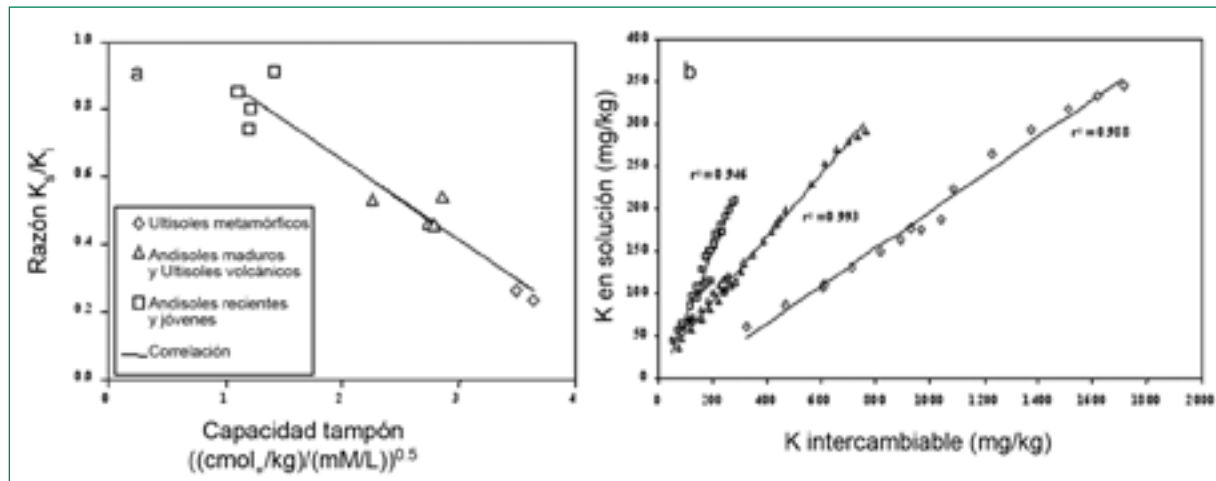


Figura 1. Razón K en solución : K intercambiable (Ks/Ki) en los diferentes grupos de suelos.

tipo de suelo y de su material generador. Los suelos de origen volcánicos presentan una dinámica de K diferente de los suelos metamórficos y entre ellos presentan diferencias de acuerdo a su grado de evolución.

**Knudsen, D., Peterson, G.A., Pratt, P.** 1982. Lithium, Sodium and Potassium. In: Page, A.L (ed). Methods of soil analysis. Part II. Chemical and microbiological properties. 2<sup>nd</sup> Edition. Madison, USA. ASA, SSSA. Agronomy Series 9. pp 225-245. ■

### Literatura citada

**Beckett P.H.T.** 1965. Activity coefficients for studies on soil potassium. *Agrochimica* 9 (2): 150-154.

Tabla 2. Valores de los parámetros de la ecuación ajustada para estimar la desorción del K hacia solución, K intercambiable y al K no intercambiable en los diez suelos estudiados.

	K solución		K intercambiable		K no intercambiable	
	D <sub>máx</sub>	k	D <sub>máx</sub>	k	D <sub>máx</sub>	k
	mg kg <sup>-1</sup>		mg kg <sup>-1</sup>		mg kg <sup>-1</sup>	
Andisoles de cenizas recientes						
Antillanca	62.5 a	0.93 a	128.4 a	0.39 ab	536.6 c	0.10 a
Andisoles de cenizas jóvenes						
Chanleufú	107.4 b	0.89 a	187.6 b	0.51 ab	517.9 c	0.16 b
Puyehue	176.1 d	0.86 a	270.1 d	0.60 a	655.0 c	0.16 b
Huiño-Huiño	144.4 c	1.03 a	221.4 c	0.63 a	392.5 b	0.17 b
Andisoles de cenizas maduras						
Osorno	224.9 e	0.33 cd	473.1 e	0.36 b	418.7 bc	0.21 bc
Corte Alto	103.9 b	0.40 bc	343.5 d	0.21 c	282.5 a	0.18 bc
Ultisoles de materiales volcánicos						
Cudico	112.6 b	0.43 b	278.6 d	0.29 bc	449.2 bc	0.13 ab
Crucero	291.4 f	0.55 b	751.2 f	0.48 a	557.1 c	0.23 bc
Ultisoles de materiales metamórficos						
Ñapeco	212.7 e	0.25 d	1165.0 g	0.25 bc	912.1 d	0.29 c
Hueicolla	402.4 g	0.46 b	1762.0 h	0.34 bc	1203.0 e	0.23 bc

Letras distintas indican diferencias significativas entre los valores de la columna (Tukey,  $p < 0.05$ )

## Relanzamiento del SAMLA

### Sistema de Apoyo Metodológico a los Laboratorios de Análisis de suelos, agua, vegetales y enmiendas orgánicas

SAMLA es una red de adhesión voluntaria y gratuita para los laboratorios de análisis de ensayo. Este sistema pretende mejorar la calidad de las determinaciones analíticas tanto físicas como químicas para hacer los resultados más confiables y comparables entre sí. Para ello, se unificarán los criterios de expresión e interpretación de los resultados.



Para mayor información escribanos a:

[mggarci@mecon.gov.ar](mailto:mggarci@mecon.gov.ar) [cpasca@mecon.gov.ar](mailto:cpasca@mecon.gov.ar)

o visite el sitio:

[www.sagpya.mecon.gov.ar](http://www.sagpya.mecon.gov.ar)

## Cambios del fósforo en suelos bajo diferentes rotaciones de cultivos

Suñer Liliana<sup>1,3</sup>, Galantini Juan A.<sup>1,3</sup>, y Rosell Ramón<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Comisión de Investigaciones Científicas (CIC, Pcia. Bs. As.), <sup>2</sup> CONICET,

<sup>3</sup> Laboratorio de Humus, CERZOS - Dpto. Agronomía, UNS. Bahía Blanca (8000), Argentina.

lsuner@criba.edu.ar

### Introducción

Los contenidos de fósforo (P) total del suelo pueden ser relativamente altos, desde 200 a 5000  $\mu\text{g g}^{-1}$  (Kuo, 1996), pero la capacidad del suelo de proveer P es muy variable. En la región pampeana, sólo una pequeña fracción que varía de 5 a 20  $\mu\text{g P g}^{-1}$  está disponible para los cultivos (García, 2001). De esta manera, aún cuando la reserva de P total en el suelo exceda ampliamente los requerimientos del cultivo, éste podría sufrir deficiencias.

La dinámica del P en el suelo es compleja y el equilibrio entre los diferentes compuestos en que se lo puede encontrar es función de las características químicas, físicas y biológicas. La transformación de las formas orgánicas (Po) e inorgánicas (Pi) del P están estrechamente relacionadas; y si bien las plantas absorben Pi, existen numerosos trabajos que indican la importancia del Po como un reservorio de P disponible para las plantas (Stewart y Tiessen, 1987). En el oeste de la provincia de Buenos Aires se ha encontrado que el Po representa entre el 28,5% y el 51% de la reserva total (Galantini *et al.*, 1997). Varios estudios realizados en los suelos de la región pampeana (Hepper, *et al.* 1996; Vazquez, 2002), evidencian pérdidas importantes de P total, debidas principalmente a las fracciones más lábiles inorgánicas y orgánicas, y es aquí donde radica la importancia del Po para determinar la disponibilidad de P del suelo (Andersohn, 1996).

Numerosos trabajos han estudiado las diferencias en cantidad y dinámica de las varias formas de P que se encuentran en el suelo, basándose en largos y complicados fraccionamientos químicos (Hedley *et al.*, 1982; Kpombrekou y Tabatabai, 1997). Con estas metodologías ha sido posible separar formas de P con diferente significado físico-químico, aportando información desde el punto de vista de la susceptibilidad a la degradación biológica en diferentes situaciones.

La obtención de estas diversas formas de P permitió la elaboración de modelos descriptivos sumamente detallados, los que en algunos casos exceden las posibilidades de validación en situaciones de campo (Parton *et al.*, 1988).

Durante los últimos años, y con la aparición de esquemas de fraccionamiento físico por tamaño de partícula de la materia orgánica (MO), ha sido posible

la caracterización de fracciones con características y dinámica muy diferentes (Galantini *et al.*, 2004). Las fracciones más importantes desde el punto de vista del manejo agronómico y ambiental son dos. Por un lado, la MO asociada a la fracción mineral (MOM), constituida por las partículas menores de 0,1 mm y que representa las moléculas más transformadas como los ácidos húmicos y las huminas. Por otro lado, y con características totalmente diferentes, se encuentra la materia orgánica particulada (MOP) o joven, constituida por partículas de tamaño entre 0,1 y 2 mm y que comprende el material orgánico del suelo en estados de transformación intermedia. Desde el punto de vista de su función en el suelo, su papel es totalmente diferente. En el caso de la MOM es la principal responsable de las uniones con los minerales del suelo, formando los complejos organo-minerales, o sea, elementos básicos en la formación de los agregados y la estructura del suelo. Mientras que la MOP constituye el elemento más dinámico, con un papel activo en la dinámica de los nutrientes contenidos en ella, aspecto que se encuentra íntimamente ligado a la disponibilidad de nutrientes para los cultivos (Galantini *et al.*, 2004).

Dada la importancia desde el punto de vista de la fertilidad de este tipo de fraccionamiento físico por tamaño de partícula, resulta relevante conocer cuál es la distribución de las formas orgánicas e inorgánicas del P dentro de estas fracciones y su relación con el manejo agronómico.

Los resultados obtenidos en una primera etapa de la investigación han puesto de manifiesto que la fracción más afectada por el manejo agrícola es el Po asociado a los residuos semitransformados o MOP (Suñer *et al.*, 2002). También, se ha determinado que el P obtenido por el método Bray-Kurtz (1945) es de origen inorgánico y preferentemente asociado a la fracción fina del suelo (Suñer *et al.*, 1999). Estos resultados podrían explicar la respuesta errática a la fertilización con P en suelos donde el diagnóstico los ubica como deficientes. Además, en las regiones semiáridas la variabilidad de los factores climáticos incide significativamente sobre los rendimientos enmascarando en la mayoría de los casos el verdadero efecto del fertilizante aplicado. Algunos trabajos muestran que los manejos que modifican la actividad microbiana, como las labranzas conservacionistas, mejoran el ciclado del P y la calidad

del suelo (Zibilske et al., 2003). Se han observado cambios importantes en la fracción orgánica del P, la que disminuyó por la mineralización durante el barbecho (McKenzie et al., 1992), mientras que aumentó por la incorporación del Pi en pasturas mixtas con leguminosas (Echeverría et al., 1993).

Evidentemente, para comprender en forma global la dinámica del P y evaluar los test de disponibilidad, se deben conocer los contenidos de P en sus diferentes formas y sus equilibrios con los compuestos lábiles. Además, se debe considerar el impacto de las diferentes prácticas agrícolas sobre las fracciones orgánica e inorgánica de P y relacionarlas con los cambios en la absorción por el cultivo, su nutrición, su rendimiento y su calidad industrial.

La hipótesis propuesta es que la separación de las formas de P por su asociación al tamaño de partícula son indicadores sensibles del efecto del manejo. El objetivo de este trabajo fue evaluar los cambios producidos por dos rotaciones de cultivos sobre la distribución de las formas de P en fracciones granulométricas de suelos de la región semiárida pampeana.

## Materiales y métodos

La experiencia se llevó a cabo en la Estación Experimental Agropecuaria Bordenave del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (63° 01' 20" O; 37° 51' 55" S) ubicada en la región semiárida pampeana de Argentina, provincia de Buenos Aires. El clima es continental templado, con una temperatura media anual de 15 °C. La precipitación media anual es 654 mm (1928-1995), concentrada en otoño y primavera, con una estación seca a fines del invierno y otra semiseca a mediados del verano.

El suelo es un Haplustoll éntico, franco arenoso, mixto, méxico. No se observaron diferencias texturales entre los diferentes bloques ni tratamientos, con valores medios de arcilla y limo de 10,1 y 21,8%, respectivamente.

Sobre una pastura implantada se instalaron diferentes sistemas de rotaciones de cultivos que tenían una superficie de media hectárea. En este estudio se presentan los datos de cuatro situaciones (Tabla 1).

El muestreo de suelos se realizó a los 9 años de

iniciada la experiencia y se repitió a los 10 y 12 años. Se ubicaron 3 bloques al azar, tanto en el sistema de producción como en el suelo de referencia y se tomaron 3 muestras compuestas (3 submuestras) de la profundidad 0-15 cm en cada bloque. En ninguno de los tratamientos se aplicó fertilizantes.

## Determinaciones analíticas

En las muestras de suelo secadas al aire y tamizadas por 2 mm, se determinaron las siguientes propiedades químicas: pH (relación suelo-agua 1:2,5), P extractable (Pe) (Bray y Kurtz, 1945) y P total extractable (Pte) (Sommers y Nelson, 1972).

Se realizó el fraccionamiento físico por tamaño de partícula. Se tomaron 50 g de suelo previamente tamizado (2 mm), ca. 100 ml de agua destilada (relación suelo:agua 1:2) y 10 bolitas de vidrio, para incrementar la desagregación y reducir los posibles problemas creados por diferentes contenidos de arena (Elliott y Cambardella, 1991). Se agitó vigorosamente durante aproximadamente 60 minutos para desintegrar los agregados y se pasó a través de un tamiz de 12 cm de diámetro y 0,1 mm de abertura de malla, lavando con abundante agua destilada. Se recogieron en forma separada las dos fracciones, la fina (FF, 0-100 µm) y la gruesa (FG, 100-2000 µm), las que se secaron y homogeneizaron. Estas dos fracciones tienen características diferentes: en la fina se encontraban arcilla, limo, arenas muy finas y la MOM; en la fracción gruesa se encontraban las arenas, minerales del tamaño de las arenas y la MOP. Sobre cada una de las fracciones se determinaron los contenidos de P orgánico (Po) e inorgánico (Pi) (Saunders y Williams, 1955).

## Análisis estadístico

Se realizó el análisis de la varianza (ANOVA) y se aplicó el test de las diferencias mínimas significativas (DMS) utilizando el software BMDP (BMDP, 1992) y macros elaboradas por el Dpto. de Matemáticas (UNS).

## Resultados y discusión

### Fósforo en el suelo

El Pe de ambas rotaciones de cultivos disminuyó significativamente con respecto al suelo de referencia. Esta disminución fue más marcada en PaC

Tabla 1. Secuencias de las diferentes rotaciones y precipitaciones en los años analizados

Años desde el inicio	PaC	TG	Lluvia anual (mm)
0	Pastura natural		
9	Triticale+vicia	Trigo	1195
10	Trigo	Girasol	1108
12	Trigo	Girasol	642

**Ref:** situación inicial o de referencia, con vegetación natural sin cultivar desde mucho antes de iniciar las rotaciones; que mantuvo la pastura original desde el inicio de la experiencia, pero con importante reemplazo de las especies originales por especies espontáneas. Considerado tiempo cero.

**PaC:** pastura durante 5,5 años - cultivos [trigo (*Triticum aestivum*)-sorgo (*Sorghum bicolor*)-avena (*Avena sativa*)+vicia (*Vicia sativa*)] durante 6,5 años;

**TG:** trigo - Girasol (*Helianthus annuus*)

(Tabla 2). Esto podría deberse a la introducción de leguminosas, que tienen altos requerimientos de P, y a la menor frecuencia de labranza que disminuye la descomposición del P asociado a la materia orgánica en la rotación PaC. De esta manera, las leguminosas alteran las proporciones de Po y Pi, haciendo que los valores de Pe detectados por el método de Bray-Kurtz sean más bajos.

Los dos tratamientos produjeron disminución significativa de pH en relación al suelo de referencia manteniendo valores semejantes a lo largo de los años analizados. Esto estaría relacionado con la pérdida de MO en los suelos con baja capacidad buffer, como lo son los utilizados en esta experiencia.

El contenido de Pte disminuyó significativamente en las dos rotaciones evaluadas con respecto al suelo de referencia. La magnitud de las pérdidas pone de manifiesto la velocidad con la que ocurrieron los cambios en el suelo. La menor cantidad de labranzas y el predominio de cultivos de invierno en PaC resultaron en disminuciones significativamente menores que en TG, las que se mantuvieron entre el 9° y 12° año.

Se observó una tendencia semejante en el contenido de Po+Pi en el suelo de referencia y en los cultivados. Sin embargo, la diferencia con el Pte, o P ocluido, fue mayor en el suelo no cultivado, indicando que las labranzas pueden hacer accesible una parte importante del P edáfico que no es determinado mediante la metodología de cuantificación de las formas orgánicas e inorgánicas.

### Fósforo en las fracciones granulométricas

En la fracción fina, al inicio de la experiencia el 28% del P se encontraba en forma orgánica (Tabla 3). En el 9° y 10° año, la rotación PaC presentó mayores relaciones Po:Pi que TG, y si bien en el año 12 fueron similares, esta menor proporción de Po en el tratamiento TG se debió probablemente a la mayor cantidad de labranzas y de cultivos para cosecha.

En PaC, el contenido de Po en la fracción fina aumentó, mostrando valores significativamente mayores

que en TG y ligeramente superiores que el suelo de referencia. Posiblemente, los mayores requerimientos de P por parte de las leguminosas se reflejan en valores más elevados de P en la fracción orgánica y, consecuentemente, menor Pe.

El contenido de Pi de la fracción fina, disminuyó en ambas rotaciones con respecto al de referencia, sin embargo esta disminución fue más marcada en TG en el 9° año y se mantuvo constante en el intervalo de tiempo analizado. Si bien el contenido de Pi en PaC disminuyó significativamente en el primer año con respecto al suelo de referencia, este valor aumentó en los años con trigo.

Por otro lado, en la fracción gruesa del suelo de referencia, el 42% del P se encontraba en la forma orgánica. En esta fracción se observaron las pérdidas más importantes en los contenidos de Po (relacionados a la descomposición de la MOP) y Pi (por disminución del tamaño de los minerales de fósforo debida a las labranzas) que pasarían a la fracción fina del suelo. La rápida mineralización de la MO de la fracción gruesa (debido a las labranzas continuas) y el menor aporte de residuos (por la extracción por cosecha y bajo aporte de residuos del girasol) hicieron que el balance del Po fuera totalmente negativo. La descomposición de MOP iría acompañada de la mineralización del Po que pasaría a Pi, con la consecuente pérdida de P en éste tamaño de partícula, la cual fue importante en ambas rotaciones.

La rápida mineralización debida a los continuos barbechos y el menor aporte de residuos dada las características del girasol, estarían íntimamente relacionadas con los menores contenidos de las formas orgánicas de P en la rotación TG.

### Conclusiones

Ambas rotaciones produjeron una disminución significativa del P edáfico, como consecuencia principalmente de menores contenidos de Pi en la fracción fina y de Po en la fracción gruesa. La incorporación de pasturas en la rotación permitió mantener más alto el nivel de

Tabla 2. Cambios en el contenido ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) de fósforo extractable (Pe), total extractable ( $P_{te}$ ), orgánico + inorgánico (Po+Pi), y pH en diferentes rotaciones de cultivos.

Años desde el inicio	Rotación	Pe	Pte	Po+Pi	pH
		$\mu\text{g g}^{-1}$			
0 <sup>a</sup>	Ref	39**	912**	431,1	6,8*
9 <sup>b</sup>	PaC	13,4	415,9*	282,9	6,5ns
	TG	19,9*	323,8	217,7	6,5
10 <sup>b</sup>	PaC	15,7	466,4*	339,2	6,5ns
	TG	17,1*	362,7	221,4	6,5
12 <sup>b</sup>	PaC	13,7	459,3*	336,8	6,6ns
	TG	19,7*	375,5	224,0	6,6

<sup>a</sup>. \*\*, \* y ns indican diferencias estadísticas  $P < 0,01$ ,  $P < 0,05$  y no significativas, respectivamente entre el suelo de referencia y los tratamientos a los nueve años de iniciadas las rotaciones.

<sup>b</sup>. En cada año, \*\*, \* y ns indican diferencias estadísticas  $P < 0,01$ ,  $P < 0,05$  y no significativas, respectivamente entre los tratamientos.

las formas de P en ambas fracciones granulométricas. La introducción de leguminosas y menor frecuencia de labranza en PaC, disminuyó la descomposición del P asociado a la materia orgánica de la fracción gruesa y favoreció su acumulación en la fracción fina, con posibles implicancias sobre la disponibilidad (indicada por el método Bray-Kurtz).

Las labranzas produjeron una caída significativa del Po asociada a la de la MOP, aún en la situación que tenía pastura, sugiriendo que en suelos labrados los cambios de esta forma de P son más rápidos. El bajo aporte de residuos y las labranzas continuas en TG pueden ser los factores más adversos sobre el P del suelo de este sistema de producción.

### Bibliografía

**Andersohn C.** 1996. Phosphate cycles in energy crop systems with emphasis on the availability of different phosphate fractions in soil. *Plant and Soil*. 184: 11-21.

**BMDP Corporation.** 1992. USA.

**Bray R.H. y L.T. Kurtz.** 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorous in soils. *Soil Sci.* 59: 39-45.

**Echeverría N; Grossi, T; Purricelli C.A. y Pelta H.** 1993. Evolución de cuatro parámetros del suelo en dos manejos contrastados. *Actas XIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. p305.

**Elliott E.T. y Cambardella C.A.** 1991. Physical separation of soil organic matter. *Agric. Ecosystems Environ.* (34): 407-419.

**Galantini J.A; Landriscini M.R; Miglierina A. M; Iglesias J.O. y Rosell R.A.** 1997. Formas de fósforo en Agroecosistemas de La Pampa. Argentina. VIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. La Serena. Chile.

**Galantini J.A; N. Senesi; G. Brunetti y R. Rosell.** 2004. Influence of texture on organic matter distribution and quality and nitrogen and sulphur status in semiarid Pampas grassland soils of Argentina. *Geoderma* 123: 143-152

**García F.** 2001. Balance de fósforo en los suelos de la región pampeana. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, N° 9: 1-3. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.

**Hedley M. J; Stewart J.W. y Chauhan B.S.** 1982. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* (46): 970-976.

**Hepper G; Hevia G; Buschiazzi D. E; Urioste A. M. y Bono A.** 1996. Efectos de la agricultura sobre fracciones de fósforo en suelos de la región semiárida pampeana central. *Ciencia del Suelo* 14 (2) 96-99.

**Kpombekou K. y Tabatabai M. A.** 1997. Effect of cropping systems on quantity/intensity relationships of soil phosphorus. *Soil Science*. 162:1-56-68.

**Kuo H.** 1996. In *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*. (Ed. D.L. Sparks), SSSA-ASA, Madison, WI, USA.

**Mckenzie R.H; Stewart J.W.B; Domaar J.F. y Schaalje G.B.** 1992. Long-term crop rotation and fertilizer effects on phosphorus transformations: In a Chernozemic soil. *Can. J. Soil Sci.* 72: 581-589.

**Parton W.J; Stewart J.W.B. y Cole C.V.** 1988. Dynamics of C, N, P and S in grassland soils: a model. *Biogeochemistry* 5:109-131

**Saunders W.M.H. y Williams E. G.** 1955. Observations on the determination of total organic phosphorus in soil. *J. Soil Sci.* 6:254-267

**Sommers L.E. y Nelson D.D.W.** 1972. Determination of total phosphorus in soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36: 902-904.

**Stewart J.W.B. y Tiessen H.** 1987. Dynamics of soil organic phosphorus. *Biogeochemistry* 4: 41-60.

**Suñer L.G; Galantini J.A. y Rosell R.A.** 1999. Formas de fósforo y su relación con la textura en suelos de la región semiárida argentina. *Actas XIV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo* 8-12 de Noviembre, Pucón, Chile.

**Suñer L.G; Galantini J.A; Rosell R.A. y Chamadoira M.D.** 2002. Cambios en el contenido de las formas de fósforo en suelos de la región semiárida pampeana cultivados con trigo. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata* 104 (2).105-111.

**Vazquez M.E.** 2002. Balance y fertilidad fosforada en suelos productivos de la región pampeana. En *Simposio Enfoque sistémico de la fertilización fosfórica*. XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Pto Madryn, Chubut.

**Zibilske L.M. y Bradford J.M.** 2003. Tillage effects on phosphorus mineralization and microbial activity. *Soil Science* 168:10:677-685. ■

Tabla 3. Efecto de la rotación de cultivos sobre el nivel de fósforo en las fracciones granulométricas del suelo.

Años desde el	Rotación	Fracción Fina		Fracción gruesa	
		Po	Pi	Po	Pi
Inicio					
µg P g <sup>-1</sup>					
0 <sup>a</sup>	Ref	67,1 <sup>ns</sup>	174,4 <sup>**</sup>	107,3 <sup>**</sup>	149,4 <sup>**</sup>
9 <sup>b</sup>	PaC	80,1 <sup>*</sup>	98,2 <sup>*</sup>	12,4 <sup>ns</sup>	92,2 <sup>*</sup>
	TG	58,3	87,3	11,0	61,1
10 <sup>b</sup>	PaC	101,1 <sup>*</sup>	111,0 <sup>*</sup>	12,2 <sup>ns</sup>	95,1 <sup>ns</sup>
	TG	45,0	87,9	0	79,5
12 <sup>b</sup>	PaC	93,3 <sup>*</sup>	138,8 <sup>*</sup>	3,6 <sup>ns</sup>	46,7
	TG	64,7	88,8	0	70,5 <sup>*</sup>

a. \*\*, \* y ns indican diferencias estadísticas  $P < 0,01$ ,  $P < 0,05$  y no significativas respectivamente entre el suelo de referencia y los tratamientos a los nueve años de iniciadas las rotaciones.

b. En cada año, \*\*, \* y ns indican diferencias estadísticas  $P < 0,01$ ,  $P < 0,05$  y no significativas respectivamente, entre los tratamientos.



## Pequeñas zonas con altas concentraciones de fósforo causan grandes errores en la determinación de fósforo disponible a nivel de lote

**Flavio H. Gutiérrez Boem<sup>1</sup> y Pablo A. Marasas<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía UBA.

<sup>2</sup> Laboratorio de análisis agropecuarios, Lincoln, Buenos Aires.  
gutierrez@agro.uba.ar

Presentado en el XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná, Entre Ríos, Junio 2004

La recomendación de fertilización fosforada para cultivos de granos se basa en general en el nivel de fósforo (P) disponible del suelo. Este nivel de P disponible se obtiene mediante un análisis químico en el que se extrae P de una muestra de suelo representativa del lote.

De las dos etapas del análisis de suelos, muestreo y extracción, la primera es la que tiene más error (Peck y Soltanpour, 1990). En general se toma una muestra compuesta por lote porque el lote es la unidad de manejo. En los casos en que los lotes son muy extensos o que se presume que no son homogéneos se los divide en zonas homogéneas y se toma una muestra compuesta en cada una. Esta división en zonas consideradas homogéneas se basa en signos exteriores (por ej.: posición en el relieve) o en distinta historia de uso que se supone pueden estar relacionados con variaciones en el contenido de P disponible.

Basado en que el P no es móvil en el suelo y que en la región pampeana las dosis de P como fertilizante utilizadas son relativamente bajas no se espera encontrar grandes variaciones en los niveles de fósforo extractable (Pe) en el curso de un año. Sin embargo, no es raro observar grandes cambios en el nivel de Pe entre dos muestras compuestas provenientes del mismo lote. También suele suceder que dentro de un mismo establecimiento, se obtienen valores muy disímiles entre lotes de suelos similares y que han tenido la misma historia de uso. Cuando esto ocurre, las personas (o empresas) involucradas en cada una de las etapas del análisis de suelo (muestreo y extracción) suelen responsabilizarse mutuamente por supuestos errores que han llevado a obtener valores que, por ser inexplicables, son considerados irreales. En el caso de que ambas etapas hayan sido realizadas por la misma persona, se enfrenta a la situación de tener que explicar lo inexplicable. Este tipo de resultados hace disminuir la confianza de los productores en el análisis de suelo como una herramienta útil para realizar un diagnóstico de la disponibilidad de P y una recomendación de fertilización.

El objetivo de este trabajo fue determinar la causa de las variaciones en el nivel de Pe observados en muestras de lotes de producción de un establecimiento del norte de la Provincia de Buenos Aires.

### Materiales y métodos

Se tomaron muestras de nueve lotes de un establecimiento de la localidad de San Andrés de Giles, norte de la Provincia de Buenos Aires (W59°42' S34°22'). Se realizaron tres muestreos en distinta fechas, todos con un barreno de 2.1 cm de diámetro y a una profundidad de 0-20 cm. El primer muestreo se realizó el 1/9/03, tomando una muestra por lote, compuesta por una submuestra por hectárea. Las submuestras se tomaron en los vértices de una cuadrícula de aproximadamente 100 m de lado, y los sitios de cada submuestra se georeferenciaron utilizando un navegador GPS (Garmin Leyend E-trex). El segundo muestreo se realizó el 13/9/03, tomando muestras en cuatro de los nueve lotes previamente muestreados. Se tomó una submuestra cada 2-3 ha ubicada al azar, y sin georeferenciarlas. El tercer muestreo se realizó el 23/10/03, y se tomaron muestras en los nueve lotes muestreados el 1/9. En este caso se utilizó el mismo procedimiento que en el primer muestreo (1 submuestra por ha, georeferenciada). En dos de los lotes (4A y 16B) se realizaron los piques en el mismo punto que en el primer muestreo y se analizó cada pique por separado (es decir, no se juntaron todas las submuestras en una sola muestra compuesta). El equipo GPS utilizado tiene una precisión de 5-8 m. Todas las muestras fueron secadas al aire, tamizadas con un tamiz de 2 mm y se determinó el contenido de Pe (Bray I). El contenido de P de los extractos se determinó por colorimetría (Kuo, 1996).

### Resultados y discusión

La Tabla I muestra los resultados de los tres muestreos realizados. Se observó una gran variación entre

los resultados de las distintas fechas de muestreo. Cuando se comparan los muestreos 1 y 3 (realizados con la misma intensidad) se observa que el resultado del muestreo 3 fue desde un 68% inferior hasta un 62% superior al resultado del primer muestreo.

Las Figuras 1 y 3 muestran la distribución de la concentración de Pe en los lotes 4A y 16B, respectivamente. En ambos lotes se observó una zona de alta concentración de Pe con valores mayores a 100 ug P g<sup>-1</sup> que comprendió alrededor del 6% de la superficie del lote 4a y del 3.2% de la superficie del lote 16B.

La presencia de esta 'zona roja', hace que el valor obtenido de Pe en cada muestreo dependa fuertemente de cuantas submuestras provengan de ella. En el muestreo 3 el promedio de todas las submuestras del lote 4A fue de 23.7ug P g<sup>-1</sup> mientras que la mediana fue de 6.4 ug P g<sup>-1</sup> (Figura 2). Una distribución de frecuencias similar se observó en el lote 16B (Figura 4). En ambos casos, la mediana es un valor más representativo del nivel de disponibilidad de P del lote ya que, a diferencia de la media, es poco sensible a valores extremos. En

ambos lotes, el 74% de la superficie presenta valores menores a 15 ug P g<sup>-1</sup>. Sin embargo, tomar una muestra compuesta de todo el lote hizo que en todos los muestreos de esos dos lotes se obtuvieran valores de Pe superiores a 15 ug P g<sup>-1</sup> (Tabla 1).

Es evidente que estos lotes no son homogéneos en lo que respecta a la disponibilidad de P. Por lo tanto, una vez identificada la 'zona roja', debería ser excluida del muestreo. Cabe destacar que no había ningún signo exterior que delatara la presencia de esta 'zona roja' en estos lotes. Su origen se puede deber al uso previo que tuvieron determinados sectores de cada lote. Zonas de alta concentración relativa de Pe se han observado en torno a aguadas, corrales de encierre, montes de reparo debido a la heterogénea distribución de las heces del ganado (Diaz Zorita *et al.*, 1998; West *et al.*, 1989). También, en torno a las viviendas se han observado concentraciones de Pe mucho mayores que en el resto del lote (Chang *et al.*, 2002; Kleinjan *et al.*, 2003). Estos cambios en la concentración de Pe pueden perdurar por mucho tiempo una vez que el

Tabla 1. Fósforo extractable en los tres muestreos realizados (0-20 cm)

Lote	Fecha de muestreo			Variación entre muestreos 1 y 3
	01/09/03	13/09/03	23/10/03	
	µg P g <sup>-1</sup>			%
3	47.2	14.9	15.2	-68
4A	40	90.7	23.7*	-41
4B	14	8.7	14	0
4C	15.4		11.1	-28
4D	12.2		19.8	62
8	25.8		13.6	-47
13A	8.3		9.1	10
13B	9.6	8.1	7.6	-21
16B	21		17.6*	-16

\* Promedio de submuestras analizadas individualmente

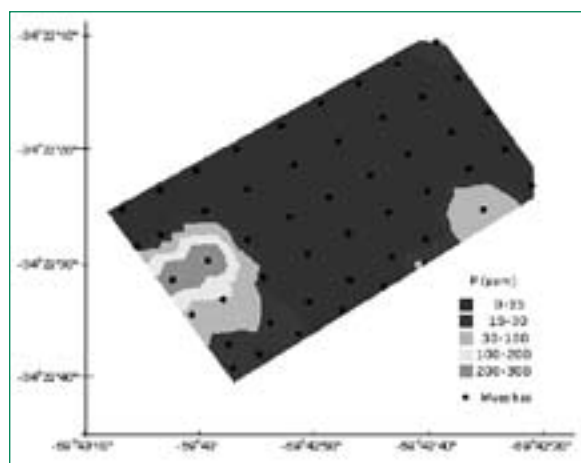


Figura 1. Distribución del fósforo extractable (0-20 cm) en el lote 4A.

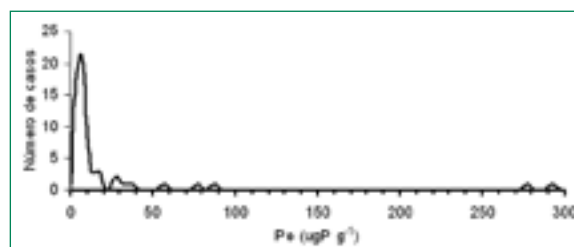


Figura 2. Distribución de frecuencia de los valores de Pe de las submuestras del lote 4A. Media = 23.7 ug P g<sup>-1</sup>, mediana = 6.4 ug P g<sup>-1</sup>.

lote comienza a tener un uso agrícola; mucho más que los signos exteriores que denotan el distinto uso que les dio origen. En los últimos años, el aumento del uso agrícola del suelo en la región pampeana ha llevado a la desaparición de aguadas, corrales de encierre, montes de reparo y también antiguos puestos. Pocos años bastan para que nada haya que indique, a quien va a muestrear, el diferente uso que se le dio a distintos sectores de cada lote. Por lo tanto, es de esperar que situaciones como las descritas en este trabajo sean frecuentes en la región.

**Conclusiones**

La presencia de pequeños sectores con altas concentraciones de Pe en un lote que no estén asociados con cambios en el relieve u otras características apreciables a simple vista, puede ser la causa de grandes errores en la estimación del nivel de P disponible.

La realización de un mapa de la distribución espacial del Pe a nivel de lote, permite determinar si la presencia de ‘zonas rojas’ es la causa de variaciones observadas entre muestreos o de la obtención de valores considerados anómalos para la zona o establecimiento.

Una vez identificada una ‘zona roja’, ésta debería ser excluida de futuros muestreos si representa una pequeña parte de la superficie total del lote.

**Bibliografía**

**Chang, J, DE Clay, CG Carlson, SA Clay y DD Malo.** 2002. The influence of different approaches for identifying N and P management zone boundaries. Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Conference on Precision Agriculture, July 14-17th, Bloomington, Minnesota.

**Diaz Zorita, M, G Duarte y G Grosso.** 1998. Soil fertility distribution in livestock production systems with pastures directly grazed. Proceedings of the 4th Conference on Precision Agriculture, July 19-22, Minnesota, USA.

**Kleinjan JL, CG Carlson, y DE Clay.** 2003. Phosphorus variability in fields with homestead histories. Better Crops, 87 (4): 6-8.

**Kuo S.** 1996. Phosphorus. En: D.L. Sparks (ed.) Methods of soil analysis, part 3, chemical methods. SSSA-ASA, Madison, Wisconsin, USA. pp. 869-920.

**Peck, TR y PN Soltanpour.** 1990. The principles of soil testing. In: RL Westerman, Soil testing and plant analysis, 3<sup>rd</sup> ed., SSSA, Madison, WI, USA, pp. 1-9.

**West, CP, AP Mallarino, WF Wedin y DB Marx.** 1989. Spatial variability of soil chemical properties in grazed pastures. Soil Sci. Soc. Am. J. 53: 784-789. ■

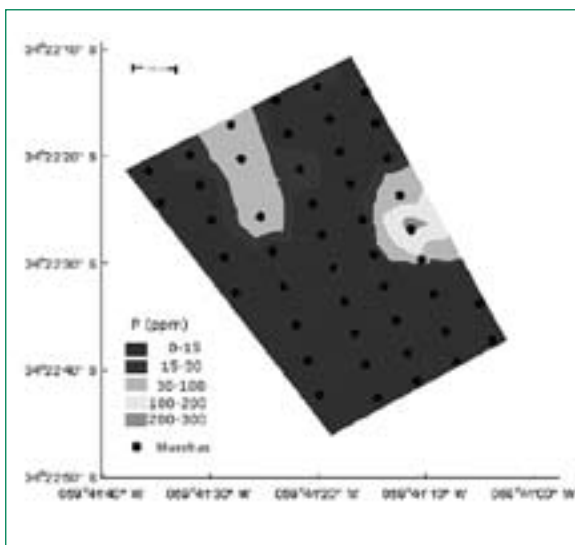


Figura 3. Distribución del Fósforo extractable (0-20 cm) en el lote 16B.

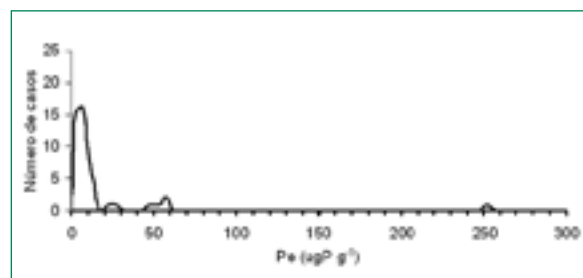


Figura 4. Distribución de frecuencia de los valores de Pe de las submuestras del lote 16B. Media = 17.6 ug P g<sup>-1</sup>, mediana = 7.0 ug P g<sup>-1</sup>.

# Capacidad tampón de fósforo

## I. Método de determinación en el laboratorio

Angélica Sadzawka R. y Rosa Molina M.

Instituto de Investigaciones Agropecuarias, CRI La Platina, Santiago, Chile.  
asadzawk@platina.inia.cl

Presentado al XVI Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Cartagena, Colombia del 27 septiembre al 1 octubre 2004.

### Introducción

Las recomendaciones de fertilización fosforada en la agricultura requieren la estimación del suministro del P del suelo y, si este es bajo, de las dosis de corrección más eficientes y económicas.

En Chile, la estimación del suministro del P del suelo se realiza por el método denominado P-Olsen (extracción con  $\text{NaHCO}_3$  0,5 mol  $\text{L}^{-1}$  a pH 8,5) y el Ministerio de Agricultura considera que, en general, un suelo debe tener un nivel mínimo de 15  $\text{mg kg}^{-1}$  de P-Olsen en los primeros 0,20 m para ser productivo en cultivos extensivos.

Las dosis de corrección históricamente se han basado en tablas de referencias según tipo de suelo y región del país. Sin embargo, este procedimiento tiene serias limitaciones dado que no da cuenta de las diferencias individuales de la capacidad del suelo para reaccionar con el P agregado.

Para resolver este problema, Sadzawka et al. (1999) diseñaron un método para estimar en el laboratorio la capacidad tampón de fósforo o CP ( $\text{kg}$  de P que es necesario agregar a 1 ha de suelo para aumentar en 1  $\text{mg kg}^{-1}$  el P Olsen hasta una profundidad de 0,20 m), consistente en la incubación del suelo con concentraciones crecientes de P a 60°C durante 24 horas, aprovechando la conclusión de Barrow y Cox (1990) y Mora y Barrow (1996), de que esta incubación equivale a 1 a 3 meses a 25°C. Posteriormente, Sadzawka et al. (2003) simplificaron el método incubando el suelo con solamente dos dosis de P: 0 y 200  $\text{mg kg}^{-1}$ , para aplicarlo en análisis rutinarios. Pero, persiste el problema de que, para transformar los resultados a un volumen de suelo equivalente a 1 ha hasta los 0,20 m de profundidad, se requiere conocer la densidad aparente del suelo, lo cual no siempre es factible de medir. Para obviar este inconveniente, se estudió la conveniencia de reemplazar el uso de una masa por el de un volumen de suelo.

El objetivo de este estudio fue entregar una metodología de laboratorio para la determinación del CP, de directa aplicación en el cálculo de las dosis de fertilizantes fosforados.

### Materiales y métodos

Se seleccionaron 20 suelos con un amplio rango de valores de CP, pero con P-Olsen menores de 15  $\text{mg}$

$\text{kg}^{-1}$ , y se analizaron para carbono orgánico, pH- $\text{H}_2\text{O}$ , pH- $\text{CaCl}_2$ , y P-Olsen (extracción con  $\text{NaHCO}_3$  0,5 mol  $\text{L}^{-1}$  a pH 8,5); según Sadzawka et al. (2000); densidad aparente y capacidad tampón de fósforo (CP) por incubación de dos porciones de 3  $\text{cm}^3$  de suelo, a 60°C por 24 horas, con 5 mL de agua y de una solución de 100  $\text{mg L}^{-1}$  de P. Las determinaciones se realizaron por triplicado y los resultados se analizaron estadísticamente para evaluar la variabilidad.

### Resultados y discusión

Los suelos seleccionados tienen un amplio rango en sus propiedades (Tabla 1). La densidad aparente (DA) varió entre 0,61 y 1,45  $\text{g cm}^{-3}$  y el contenido de carbono orgánico (CO) entre 9 y 151  $\text{g kg}^{-1}$ , estando ambas propiedades significativamente relacionadas ( $\text{DA} = 0,00005(\text{CO})^2 - 0,0129(\text{CO}) + 1,481$ ,  $R^2 = 0,868$ ).

Los valores de pH- $\text{H}_2\text{O}$  corresponden a suelos desde muy fuertemente ácidos (4,78) hasta débilmente ácidos (6,50). El pH- $\text{CaCl}_2$  es menor que el pH- $\text{H}_2\text{O}$  entre 0,3 y 0,9 unidades.

La (CP) varió entre 10 y 41 (con un coeficiente de variación promedio de 10%), lo que indica que, dependiendo del suelo, deben agregarse entre 10 y 41  $\text{kg ha}^{-1}$  de P para subir en 1  $\text{mg kg}^{-1}$  el P-Olsen del suelo hasta una profundidad de 0,20 m. Esto significa que al suelo N° 1, por ejemplo, que tiene un CP de 10 y una concentración de P disponible de 6  $\text{mg kg}^{-1}$ , debería agregarse, además del P requerido por el cultivo, una cantidad de fertilizante fosforado equivalente a 90  $\text{kg ha}^{-1}$  de P para que el P-Olsen aumente a 15  $\text{mg kg}^{-1}$  en los primeros 0,20 m. Si se usa superfosfato triple, esta cantidad de P corresponde a 448  $\text{kg ha}^{-1}$  de fertilizante. Por otra parte, en el suelo N° 20, que tiene un CP de 41 y una concentración de P-Olsen de 3  $\text{mg kg}^{-1}$ , la cantidad de P que debería agregarse para subir el P disponible a 15  $\text{mg kg}^{-1}$  es de 492  $\text{kg ha}^{-1}$ , que corresponde a 2,45  $\text{ton ha}^{-1}$  de superfosfato triple. Esta fertilización es impracticable, por lo tanto, en este suelo solamente puede pensarse en un aumento gradual del P disponible de no más de alrededor de 3  $\text{mg kg}^{-1}$  anuales.

Los resultados obtenidos en este estudio permiten proponer el siguiente método de laboratorio para estimar la capacidad tampón de fósforo (CP) del suelo: 1. Medir y pesar 3 mL de suelo en dos frascos agitables.

2. A un frasco agregar 5 mL de agua y al otro 5 mL de solución de P de 100 mg L<sup>-1</sup>.
3. Agregar a cada frasco una gota de cloroformo o un cristal de timol.
4. Tapar e incubar a 60°C por 24 horas.
5. Agregar 0,3 g de carbón activado y 45 mL de solución de bicarbonato de sodio 0,56 mol L<sup>-1</sup>.
6. Tapar y agitar por 30 minutos a 20-25°C en un agitador recíproco. Filtrar.
7. Determinar la concentración de P en los dos extractos.
8. Calcular la capacidad tampón de fósforo (CP) según:  
 $CP = 333/(P_p - P_o)$   
donde: P<sub>p</sub> = mg kg<sup>-1</sup> de P-Olsen en el muestra incubada con adición de 0,5 mg de P y P<sub>o</sub> = mg kg<sup>-1</sup> de P-Olsen en la muestra incubada sin adición de P.
9. Calcular la dosis de fertilizante fosforado, expresada en kg ha<sup>-1</sup> de P, multiplicando el valor de CP obtenido por el número de mg kg<sup>-1</sup> que se quiere aumentar el P-Olsen del suelo en los primeros 0,20 m.

## Conclusiones

Se propone una metodología de laboratorio para la determinación de la capacidad tampón de fósforo (CP) del suelo de directa aplicación en el cálculo de la dosis de fertilizante fosforado que se requiere para aumentar hasta un nivel dado el P disponible del suelo.

## Agradecimientos

Este trabajo fue realizado con el apoyo financiero del Servicio Agrícola y Ganadero, Ministerio de Agricultura, Chile.

## Literatura citada

- Barrow, N.J. y V.C. Cox.** 1990. A quick and simple method for determining the titration curve and estimating the lime requirement of soil. *Aust. J. Soil Res.* 28, 685-694.
- Mora, M.L. y N.J. Barrow.** 1996. The effects of time of incubation on the relation between charge and pH of soil. *European J. Soil Sci.* 47, 131-136.
- Sadzawka R., A., R. Campillo R., A. Montenegro B. y C. Rojas W.** 1999. Determinación de la capacidad tampón de fósforo en suelos ácidos. 14 Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Universidad de la Frontera, Pucón, Chile, 8-12 noviembre 1999, p. 49.
- Sadzawka R., A., M.A. Carrasco R., R. Grez Z. y M.L. Mora G.** 2004. Métodos de análisis recomendados para los suelos chilenos. Comisión de Normalización y Acreditación, Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. Disponible en: [http://www.inia.cl/platina/pubyc-com/edinia/docs/metodos\\_an\\_suelos\\_v2004.pdf](http://www.inia.cl/platina/pubyc-com/edinia/docs/metodos_an_suelos_v2004.pdf)
- Sadzawka R., A., M.L. Mora G., R. Grez Z. y H. Flores P.** 2003. Capacidad tampón de fósforo, parámetro relevante para la rentabilidad agrícola-ambiental. *Boletín N° 19, Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo*, Chile, 211-216. ■

Tabla 1. Valores de CP y algunas propiedades de los suelos seleccionados

Suelo	Densidad aparente	Carbono orgánico	pH-H <sub>2</sub> O	pH-CaCl <sub>2</sub>	P-Olsen	CP
N°	g cm <sup>-3</sup>	g kg <sup>-1</sup>			mg kg <sup>-1</sup>	P (kg (ha.0,2m) <sup>-1</sup> )
1	0,61	122	5,36	4,42	6	10
2	1,15	15	6,50	5,91	3	13
3	0,69	95	5,13	4,32	7	15
4	0,68	128	4,78	4,42	7	16
5	0,87	89	5,27	4,63	14	17
6	1,07	54	6,13	5,70	8	18
7	0,66	81	5,57	4,76	3	19
8	0,78	85	5,94	5,31	10	20
9	1,45	15	6,37	5,72	10	21
10	0,68	132	5,47	4,55	8	22
11	1,41	10	6,50	5,88	3	23
12	0,68	128	5,13	4,72	3	25
13	0,67	126	4,91	4,58	1	28
14	0,90	44	5,41	4,78	3	31
15	0,86	90	5,01	4,69	1	34
16	0,74	67	5,80	5,16	5	35
17	0,79	85	5,82	5,09	8	36
18	0,67	151	5,62	4,73	3	37
19	0,75	73	5,69	5,21	2	38
20	0,82	67	5,10	4,77	3	41

## Capacidad tampón de fósforo

### II. Validación en terreno de la determinación de laboratorio

**Angélica Sadzawka R.<sup>1</sup> y Ricardo Campillo R.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Instituto de Investigaciones Agropecuarias, CRI La Platina, Santiago, Chile,

<sup>2</sup>Instituto de Investigaciones Agropecuarias, CRI Carillanca, Temuco, Chile  
asadzawk@platina.inia.cl

Presentado al 55° Congreso Agronómico, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile,  
19 al 22 de octubre de 2004.

#### Introducción

Las recomendaciones de fertilización fosfatada en la agricultura requieren la estimación del suministro del fósforo (P) del suelo y, si este es bajo, de las dosis de corrección más eficientes y económicas.

En Chile, la estimación del suministro del P del suelo se realiza por el método denominado P-Olsen (extracción con  $\text{NaHCO}_3$  0,5 mol L<sup>-1</sup> a pH 8,5) y las dosis de corrección históricamente se han basado en tablas de referencias según tipo de suelo y región del país. Sin embargo, este último procedimiento tiene serias limitaciones dado que no da cuenta de las diferencias individuales de la capacidad del suelo para reaccionar con el P agregado, con lo cual se corre el riesgo de sub o sobre fertilizar con P, causando, bajo ciertas circunstancias, menores rendimientos o peligros de contaminación ambiental.

Para resolver este problema, Sadzawka et al. (1999) diseñaron y perfeccionaron (Sadzawka et al., 2003; Sadzawka y Molina, 2004) un método para estimar en el laboratorio la capacidad tampón de fósforo o CP (kg de P que es necesario agregar a 1 ha de suelo para aumentar en 1 mg kg<sup>-1</sup> el P Olsen hasta una profundidad de 0,20 m), consistente en la incubación de un volumen de suelo con P a 60°C durante 24 horas, aprovechando la conclusión de Barrow y Cox (1990) y Mora y Barrow (1996), de que esta incubación equivale a 1 a 3 meses a 25°C.

El objetivo de este estudio fue validar en terreno la determinación de la capacidad tampón de P realizada en el laboratorio.

#### Materiales y métodos

Se seleccionó un Andisol de la Serie Cunco, ubicado en la IX Región de Chile, clasificado como Acrudoxic Hapludand, bajo en P disponible (3 mg kg<sup>-1</sup>). En julio de 2003 se aplicaron siete tratamientos

de adición de P, correspondientes a 0, 200, 300, 400, 500, 600 y 700 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0, 87, 131, 175, 218, 262 y 306 kg ha<sup>-1</sup> de P) y se sembró trigo. El diseño fue completamente al azar con cuatro repeticiones. Antes de los tratamientos y en noviembre de 2003 se tomaron muestras de suelo de los primeros 0,20 m para los análisis de laboratorio.

Las muestras de suelo se secaron al aire, se tamizaron por 2 mm y se analizaron para pH-H<sub>2</sub>O, pH-CaCl<sub>2</sub> y pH-KCl; Ca, Mg, K y Na intercambiables (acetato de amonio 1 mol L<sup>-1</sup> a pH 7,0); Al intercambiable (KCl 1 mol L<sup>-1</sup>); Al Morgan (acetato de amonio 1 mol L<sup>-1</sup> a pH 4,8); P-Olsen ( $\text{NaHCO}_3$  0,5 mol L<sup>-1</sup> a pH 8,5); según Sadzawka et al. (2000). Además se determinaron la capacidad tampón de pH (CTpH) y la CP (Sadzawka y Molina (2004), por incubación de un volumen de suelo, a 60°C por 24 horas, con KOH y P respectivamente.

Los resultados se analizaron estadísticamente para evaluar la variabilidad.

Tabla 1. Propiedades químicas del suelo (0,00-0,20 m), en un Andisol de Chile

Parámetro	Unidad	Valor
pH-H <sub>2</sub> O		5,13
pH-CaCl <sub>2</sub>		4,72
pH-KCl		4,50
Materia orgánica	%	22,1
Ca intercambiable	cmol+ kg <sup>-1</sup>	3,42
Mg intercambiable	cmol+ kg <sup>-1</sup>	0,83
K intercambiable	cmol+ kg <sup>-1</sup>	0,24
Na intercambiable	cmol+ kg <sup>-1</sup>	0,05
CICE	cmol+ kg <sup>-1</sup>	4,55
Al intercambiable	cmol+ kg <sup>-1</sup>	0,26
Saturación de Al	%	6
Al Morgan	g kg <sup>-1</sup>	1,84
CP	P kg (ha.0,2m) <sup>-1</sup>	25
CTpH	CaCO <sub>3</sub> ton (ha.0,2m) <sup>-1</sup>	1,32

## Resultados y discusión

Las propiedades químicas (Tabla 1) indican que el suelo seleccionado es de pH fuertemente ácido, lo cual no se refleja en la saturación de Al debido al alto contenido de materia orgánica.

La CP, es decir, la cantidad de P en  $\text{kg ha}^{-1}$  que debe agregarse al suelo para subir  $1 \text{ mg kg}^{-1}$  el P-Olsen hasta una profundidad de 0,20 m, es alta y acorde con el Al-Morgan. La capacidad tampón de pH (CTpH), esto es, la cantidad de  $\text{CaCO}_3$  en  $\text{ton ha}^{-1}$  que debe agregarse al suelo para subir su pH en 0,1 unidades hasta una profundidad de 0,20 m, indica una alta resistencia a los cambios de pH.

El efecto de la adición de P al suelo sobre el P-Olsen a los 109 días se muestra en la Figura 1. El inverso de la pendiente de la ecuación de regresión lineal ( $1/0,0308 = 32$ ) representa el CP obtenido en el ensayo. Esto significa que deben agregarse  $32 \text{ kg ha}^{-1}$  de P al suelo para aumentar el P-Olsen en  $1 \text{ mg kg}^{-1}$  hasta una profundidad de 0,20 m. El CP obtenido en el laboratorio fue de 25 (Tabla 1).

La desviación estándar (s) calculada, tanto en la determinación del CP en el laboratorio como en la obtenida en el ensayo, fue de 2. Si se considera aceptable una variación de  $x \pm 2s$ , los valores de CP en terreno pueden variar entre 28 y 36 y los valores de CP del laboratorio entre 21 y 29. Como ambos rangos tienen valores comunes, puede concluirse que la determinación del CP en el laboratorio representa adecuadamente la capacidad tampón de P del suelo, en el período de tiempo considerado. El ensayo se ha continuado, de manera que podrá obtenerse información de la variación en períodos de tiempo más prolongados.

## Conclusiones

La determinación de la CP en el laboratorio por incubación de un volumen de suelo adicionado con P a  $60^\circ\text{C}$  durante 24 horas representa adecuadamente el CP de terreno.

## Agradecimientos

Este trabajo fue realizado gracias al apoyo financiero del Servicio Agrícola y Ganadero, Ministerio de Agricultura, Chile

## Literatura citada

- Barrow, N.J. y V.C. Cox.** 1990. A quick and simple method for determining the titration curve and estimating the lime requirement of soil. *Aust. J. Soil Res.* 28, 685-694.
- Mora, M.L. y N.J. Barrow.** 1996. The effects of time of incubation on the relation between charge and pH of soil. *European J. Soil Sci.* 47, 131-136.
- Sadzawka R., A., R. Campillo R., A. Montenegro B. y C. Rojas W.** 1999. Determinación de la CP en suelos ácidos. 14 Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Universidad de la Frontera, Pucón, Chile, 8-12 noviembre 1999, p. 49.
- Sadzawka R., A., M.A. Carrasco R., R. Grez Z. y M.L. Mora G.** 2004. Métodos de análisis recomendados para los suelos chilenos. Comisión de Normalización y Acreditación, Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. Disponible en: [http://www.inia.cl/platina/pubby-com/edinia/docs/metodos\\_an\\_suelos\\_v2004.pdf](http://www.inia.cl/platina/pubby-com/edinia/docs/metodos_an_suelos_v2004.pdf)
- Sadzawka R., A. y R. Molina M.** 2004. Capacidad tampón de fósforo. Método de determinación en el laboratorio. XVI Congreso Latinoamericano y XII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo, Cartagena de Indias, Colombia, 27 septiembre a 1 octubre 2004.
- Sadzawka R., A., M.L. Mora G., R. Grez Z. y H. Flores P.** 2003. Capacidad tampón de fósforo, parámetro relevante para la rentabilidad agrícola-ambiental. Boletín N° 19, Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, Chile, 211-216. ■

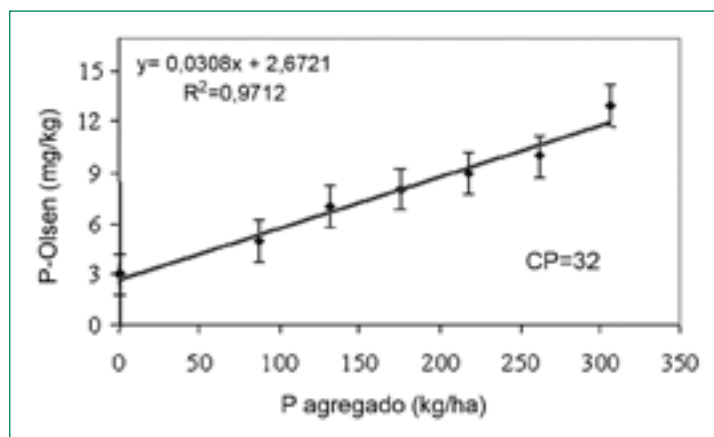


Figura 1. Efecto del P agregado al suelo sobre el P-Olsen, en un Andisol de Chile.

## Cambios en los contenidos de carbono de los suelos pampeanos por introducción de la siembra directa

Haydée Steinbach y Roberto Alvarez.

Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Av. San Martín 4453,  
(1417) Buenos Aires, Argentina.

steinbac@agro.uba.ar

En los últimos años se han producido en la Región Pampeana cambios en la modalidad de labranza con sustitución del manejo de los cultivos con labranzas por siembra directa (SD). Aproximadamente la mitad de la superficie agrícola se cultiva bajo SD actualmente (INDEC, 2003). En numerosos ensayos distribuidos en la Región Pampeana se ha evaluado el impacto de la modalidad de labranza sobre el nivel de carbono (C) de los suelos pero la información no ha sido integrada hasta ahora para la generalización de conclusiones. En este sentido, se realizó una revisión bibliográfica de los experimentos conducidos durante los últimos 20 años, con el objetivo de evaluar el efecto de la introducción de la SD sobre el nivel de C de los suelos pampeanos.

### Selección de datos

La selección de experimentos se realizó de acuerdo a los siguientes criterios: 1) los experimentos debían explicitar el diseño estadístico y contener repeticiones

por tratamiento de labranza, 2) el sistema de labranza era la única diferencia entre los tratamientos, y otras condiciones como características iniciales del suelo, manejo, etc, eran las mismas, 3) la profundidad de muestreo del suelo era igual o superior a la de la labranza y 4) los datos de contenido de C en cada tratamiento debían estar expresados en masas de C por unidad de superficie o los datos de densidad aparente (Dap) y concentración de C del suelo debían estar disponibles para su transformación. Estas condiciones aseguran que no existan efectos confundidos al comparar los tratamientos y que se evalúe sólo el efecto del sistema de labranza sobre el stock de C edáfico. Debido a que bajo SD se produce una estratificación del C en el perfil, con mayores contenidos en los primeros centímetros y menores en profundidad respecto de sistemas con labranza (Figura 1a), es necesario que las muestras sean tomadas al menos hasta la profundidad de labranza. Por otro lado, es común encontrar valores de Dap más altos bajo SD que bajo manejos con labranzas. Esto determina que en muestreos de

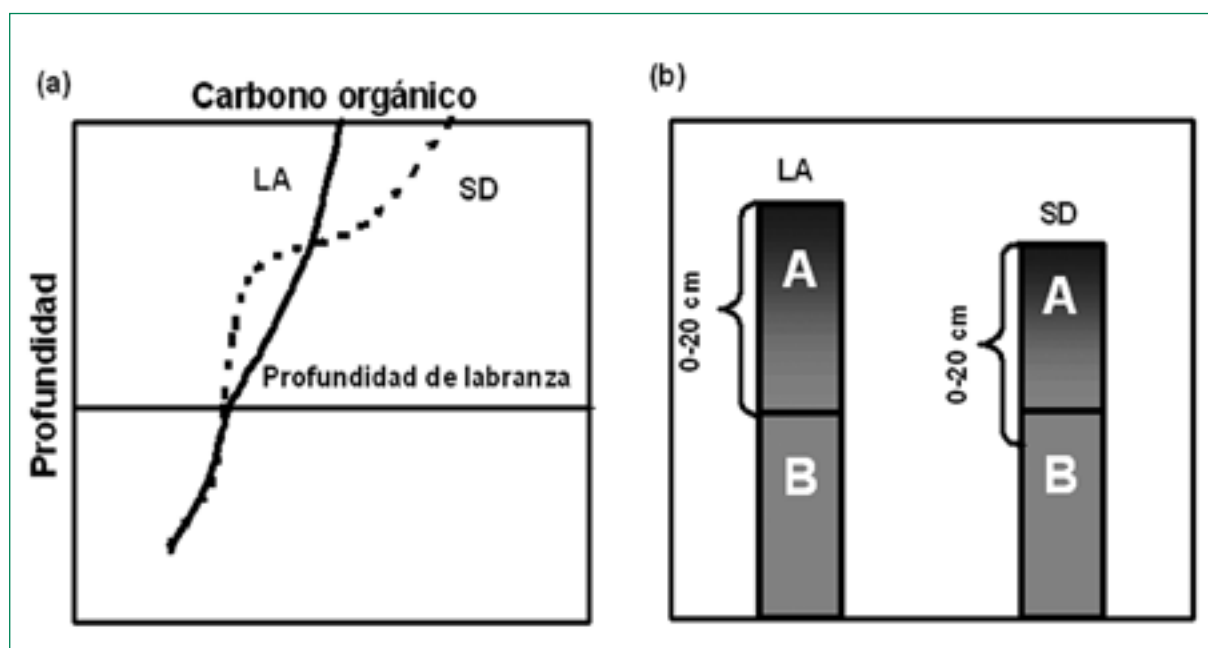


Figura 1. (a) Distribución esquemática del contenido de carbono orgánico en el perfil del suelo bajo distintos sistemas de labranza. (b) Diferencias entre sistemas de labranza en las masas de suelo que se muestrean a profundidad constante cuando hay densificación bajo siembra directa. LA = labranza con arado, SD = siembra directa. A = horizonte A, B = horizonte B.



Tabla 1: Fuentes bibliográficas de los datos utilizados para el análisis.

Referencias	Localidad	Duración del experimento (años)	Precipitación (mm)	Rotación o cultivo muestreado
Alvarez et al. (1995 a)	Pergamino	12	1010	Maíz-trigo/soja
Alvarez et al. (1995 b)	Pergamino	1	1010	Trigo/soja
Alvarez et al. (1995 c)	Pergamino	3	1010	Trigo/soja
Alvarez et al. (1998 a)	Pergamino	4	1010	Maíz-maíz-maíz-soja
Alvarez et al. (1998 b)	Pergamino	15	1010	Maíz-trigo/soja
Andriulo et al. (2001)	Pergamino	17	1010	Trigo/soja-maíz
Andriulo et al. (2001)	Pergamino	20	1010	Trigo/soja-maíz
Andriulo et al. (2001)	Pergamino	3	1010	Trigo/soja-maíz-soja
Andriulo et al. (2001)	Pergamino	9	1010	Trigo/soja-maíz-soja
Andriulo et al. (2001)	Pergamino	13	1010	Trigo/soja-maíz-soja
Andriulo, Cordone (1998)	Marcos Juarez	11	952	Trigo/soja
Apezteguía et al. (2004)	Manfredi	2	828	Sorgo-soja
Apezteguía et al. (2004)	Manfredi	3	828	Sorgo-soja
Apezteguía et al. (2004)	Manfredi	4	828	Sorgo-soja
Apezteguía et al. (2004)	Manfredi	5	828	Sorgo-soja
Apezteguía et al. (2004)	Manfredi	6	828	Sorgo-soja
Apezteguía et al. (2004)	Manfredi	7	828	Sorgo-soja
Apezteguía et al. (2004)	Manfredi	8	828	Sorgo-soja
Apezteguía et al. (2004)	Manfredi	9	828	Sorgo-soja
Apezteguía et al. (2004)	Manfredi	10	828	Maíz-soja
Apezteguía et al. (2004)	Manfredi	16	828	Maíz-soja
Arrigo et al. (1991)	Marcos Juarez	8	952	Trigo-trigo (no fertilizado)
Arrigo et al. (1991)	Marcos Juarez	8	952	Trigo-trigo (fertilizado)
Arrigo et al. (1991)	Marcos Juarez	8	952	Trigo/soja (no fertilizado)
Arrigo et al. (1991)	Marcos Juarez	8	952	Trigo/soja (fertilizado)
Arrigo et al. (1991)	Marcos Juarez	8	952	Trigo/soja-maíz (no fertilizado)
Arrigo et al. (1991)	Marcos Juarez	8	952	Trigo/soja-maíz (fertilizado)
Bergh (1998)	Barrow	6	814	Trigo-trigo-girasol
Berón, Blotta (1994)	Pergamino	12	1010	Trigo/soja-maíz
Chagas et al. (1995)	Marcos Juarez	17	952	Soja
De la Horra et al. (2000)	Marcos Juarez	8	952	
Díaz Zorita (1999)	Drable	6	834	Maíz-soja
Díaz Zorita et al. (2001)	Drable	5	834	Maíz-soja
Díaz Zorita et al. (2004)	Drable	12	834	Maíz-soja
Domínguez et al. (2004)	Balcarce	4	912	Maíz-maíz-girasol-trigo
Domínguez et al. (2004)	Balcarce	4	912	Maíz-maíz-girasol-trigo
Eiza et al. (2004)	Balcarce	9	912	Pastura-pastura-pastura-maíz-soja-trigo-maíz-soja
Fabrizzi et al. (2003)	Balcarce	7	912	Trigo/soja-trigo-maíz-maíz-girasol-maíz (no fertilizado)
Fabrizzi et al. (2003)	Balcarce	7	912	Trigo/soja-trigo-maíz-maíz-girasol-maíz (fertilizado)
Ferreras et al. (1998)	Casilda	6	989	Soja
Fontanetto, Vivas (1998)	Rafaela	9	1070	Trigo/soja-maíz
Fontanetto, Vivas (1998)	Rafaela	9	1070	Trigo/soja
Galantini et al. (2004)	Bordenave	4	723	Trigo-avena

Tabla 1: Fuentes bibliográficas de los datos utilizados para el análisis. (cont.)

Referencias	Localidad	Duración del experimento (años)	Precipitación (mm)	Rotación o cultivo muestreado
Galantini et al. (2004)	Bordenave	4	723	Trigo-avena
Galetto et al. (1992)	Pergamino	5	1010	Maíz-trigo/soja (no fertilizado)
Galetto et al. (1992)	Pergamino	5	1010	Maíz-trigo/soja (fertilizado)
Krüger (1996)	Bordenave	6	723	Girasol-trigo
Lattanzi (1993)	Marcos Juarez	10	952	Soja
Lavado et al. (1999)	Pergamino	18	1010	Trigo/soja-maíz
Mandolesi et al. (2004)	Barrow	6	814	Trigo
Mandolesi et al. (2004)	Barrow	6	814	Trigo
Mestelan et al. (2002)	Azul	5	999	Maíz-maíz-trigo/soja-maíz
Miglierina et al. (2000)	Guamini	5	857	Centeno
Nico et al. (1997)	La Plata	2	1042	Trigo
Quiroga et al. (1996)	Anguil	5	720	Trigo-sorgo
Quiroga et al. (1996)	Anguil	5	720	Trigo-sorgo
Quiroga et al. (1996)	Anguil	8	720	Trigo-sorgo
Quiroga et al. (1996)	Anguil	8	720	Trigo-sorgo
Studert, Echeverria (2002)	Balcarce	1	912	Pastura-pastura-pastura-maíz-soja-trigo-maíz-soja
Studert, Echeverria (2002)	Balcarce	2	912	Pastura-pastura-pastura-maíz-soja-trigo-maíz-soja
Studert, Echeverria (2002)	Balcarce	3	912	Pastura-pastura-pastura-maíz-soja-trigo-maíz-soja
Studert, Echeverria (2002)	Balcarce	4	912	Pastura-pastura-pastura-maíz-soja-trigo-maíz-soja
Studert, Echeverria (2002)	Balcarce	5	912	Pastura-pastura-pastura-maíz-soja-trigo-maíz-soja
Studert, Echeverria (2002)	Balcarce	6	912	Pastura-pastura-pastura-maíz-soja-trigo-maíz-soja
Studert, Echeverria (2002)	Balcarce	7	912	Pastura-pastura-pastura-maíz-soja-trigo-maíz-soja

suelo realizados a la misma profundidad (profundidad constante) se tomen mayores masas de suelo bajo SD y se sobrestime entonces el posible impacto de este sistema de labranza sobre el stock de C (Figura 1b). Esta sobrestimación se corrige calculando los contenidos de C para cada sistema de labranza para igual masa de suelo (masas equivalentes). Aplicando estos criterios, se seleccionaron 17 ensayos (Tabla 1), ubicados en 14 sitios distribuidos en la Región Pampeana (Figura 2). Los tratamientos de sistemas de labranzas fueron: SD, labranza reducida (LR: cincel o rastra de disco) y labranza con arado (LA: disco o reja). El impacto del sistema de labranza sobre el nivel de C del suelo se evaluó calculando las diferencias en el contenido de C entre tratamientos (ΔC) de acuerdo a los pares de comparaciones que se presentan en la Figura 2. El análisis estadístico de las diferencias en el contenido de C y en Dap entre sistemas de labranza se realizó aplicando un test de comparación de pares de datos

(paired t-test, P= 0.05). Se establecieron relaciones a través de regresiones simples.

### Incremento de carbono por introducción de siembra directa

Hubo diferencias significativas en las densidades aparentes entre los tres sistemas de labranza considerados (SD 1.29 t m<sup>-3</sup>, LR 1.27 t m<sup>-3</sup> y LA 1.25 t m<sup>-3</sup>). Expresando los resultados en profundidad constante, bajo SD se produjo un incremento del C del suelo en promedio de 4.35 t C ha<sup>-1</sup> respecto de LA y de 4.15 t C ha<sup>-1</sup> respecto de sistemas bajo LR (Figura 3a). Cuando las diferencias se recalcularon en masa equivalente, disminuyeron a 2.78 t C ha<sup>-1</sup> y 2.70 t C ha<sup>-1</sup>, respectivamente. En todos los casos estas diferencias fueron significativas. El incremento promedio en el nivel de C entre SD y sistemas con labranza fue de 2.76 t C ha<sup>-1</sup> (Figura 3b). El incremento en el stock

de C no se relacionó con los años de duración de los experimentos, la rotación, la textura del suelo, o la precipitación y temperatura media anual de los sitios de ensayo. La velocidad de cambio del nivel de C del suelo por introducción de SD fue mayor entre 4 y 9

años de establecido el tratamiento (Figura 4). Esto indica que el período de secuestro de C bajo SD ocurre principalmente en ese lapso y con un incremento anual medio de 460 kg C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

La regresión del contenido de C del suelo bajo SD

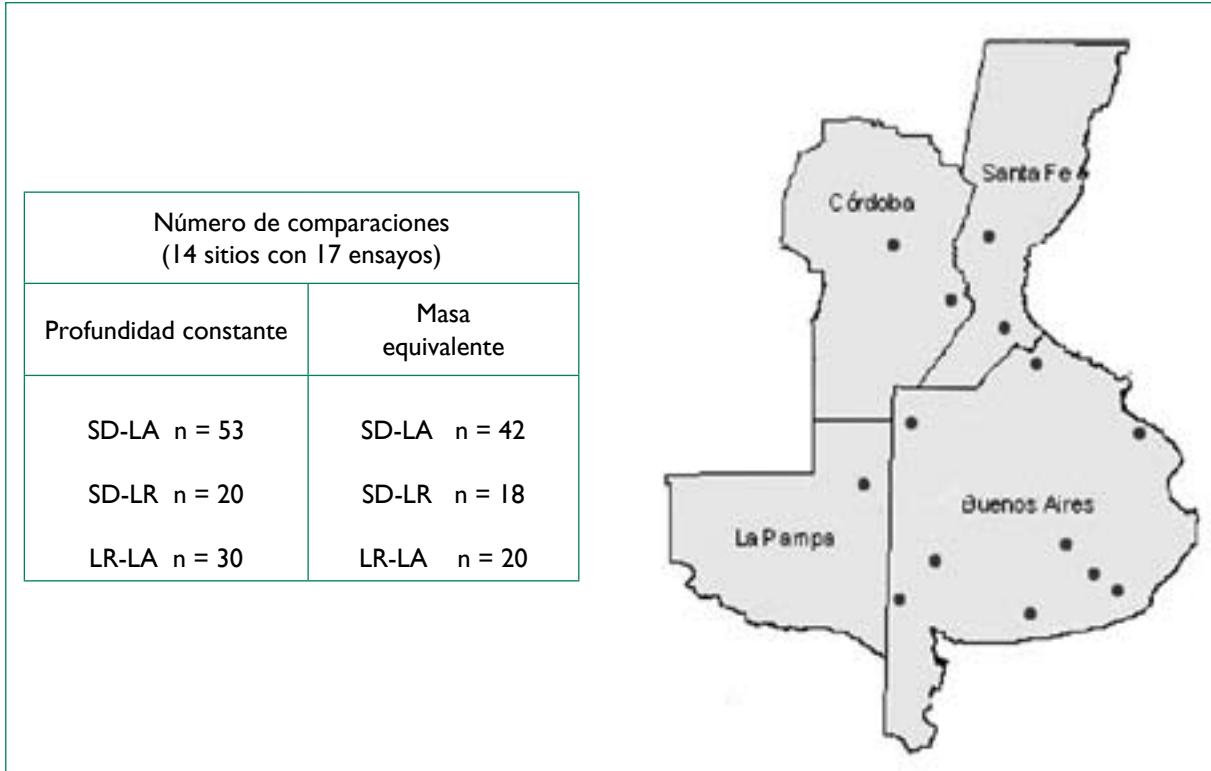


Figura 2. Distribución geográfica de los sitios incluidos en el análisis y cantidad de diferencias en los contenidos de carbono de los suelos. SD-LA = diferencias entre los contenidos de carbono del suelo de siembra directa y labranza con arado, SD-LR = diferencias entre los contenidos de carbono del suelo de siembra directa y labranza reducida (cincel y disco), LR-LA = diferencias entre contenido de carbono del suelo de labranza reducida y labranza con arado.

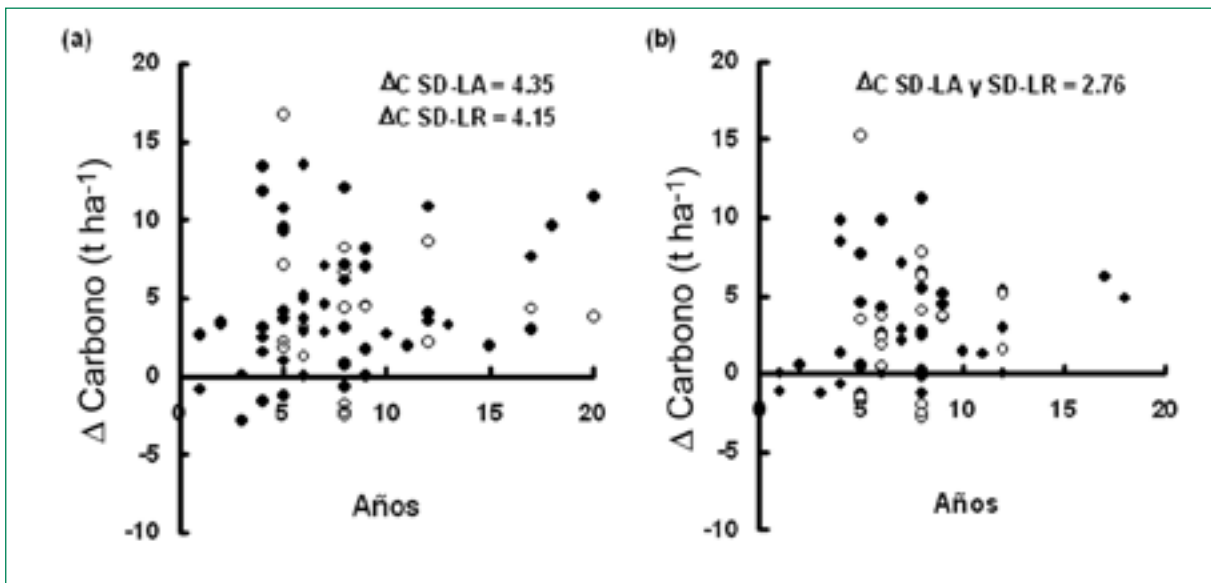


Figura 3. Cambios en los contenidos de carbono entre sistemas de labranza en función de los años de duración del experimento, (a) calculado en profundidad constante y (b) en masa equivalente. SD-LA (círculos llenos) = diferencias entre los contenidos de carbono del suelo de siembra directa y labranza con arado, SD-LR (círculos vacíos) = diferencias entre los contenidos de carbono del suelo en siembra directa y labranza reducida (cincel y disco).

con el contenido bajo sistemas con labranza mostró una relación muy estrecha (Figura 5). Las rectas de ajuste obtenidas, incluyeron ordenadas al origen positivas y significativas; por lo tanto, predicen un impacto proporcionalmente mayor de la SD sobre el nivel de C edáfico en suelos con niveles más bajos de C. A partir de estas relaciones se estimaron los incrementos porcentuales del C orgánico del suelo por introducción de SD para distintos suelos (Figura 6). En suelos con bajos niveles de C, son esperables aumentos de hasta un 15%

(masa equivalente) por cambio a SD, mientras que en suelos ricos en C el incremento rondaría el 5%.

### Secuestro de carbono a nivel pampeano

Utilizando los mapas de suelos del INTA, se confeccionó un mapa de niveles medios de contenido de C de 0 a 20 cm para varias áreas de la Región Pampeana (Figura 7a). La ecuación de la Figura 5 b permite estimar el impacto del cambio de modalidad de labranza

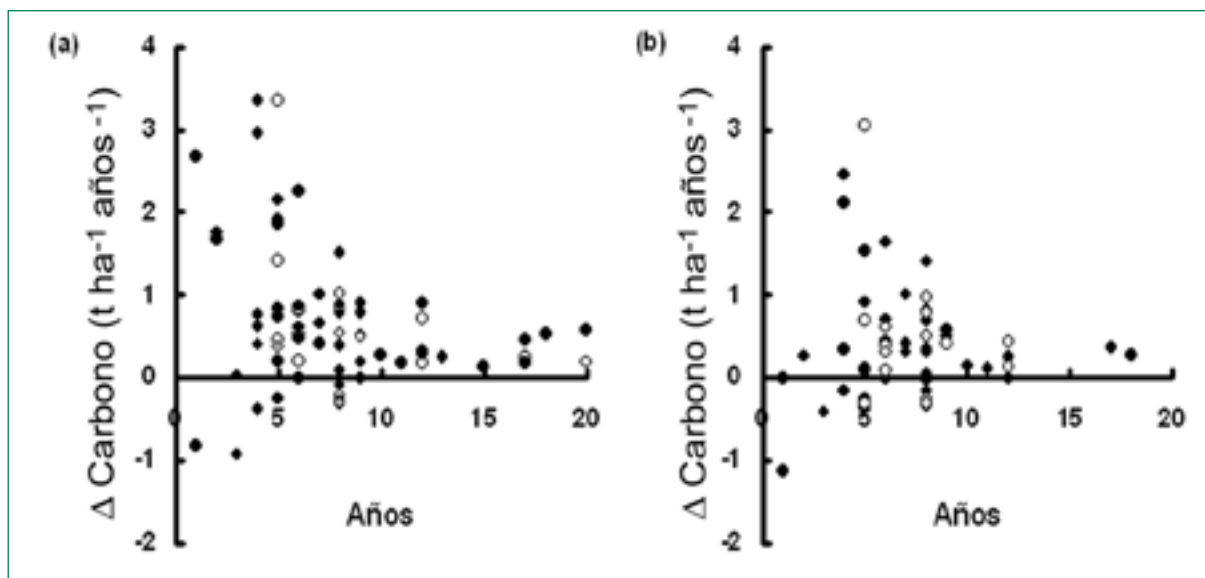


Figura 4. Velocidad de cambio en los contenidos de carbono de los suelos ( $\Delta$  carbono/ $\Delta$  tiempo) en función de los años de duración de los experimentos (a) calculado en profundidad constante y (b) en masa equivalente. SD-LA (círculos llenos) = diferencias entre los contenidos de carbono del suelo en siembra directa y labranza con arado, SD-LR (círculos vacíos) = diferencias entre los contenidos de carbono del suelo de siembra directa y labranza reducida (cincel y disco).

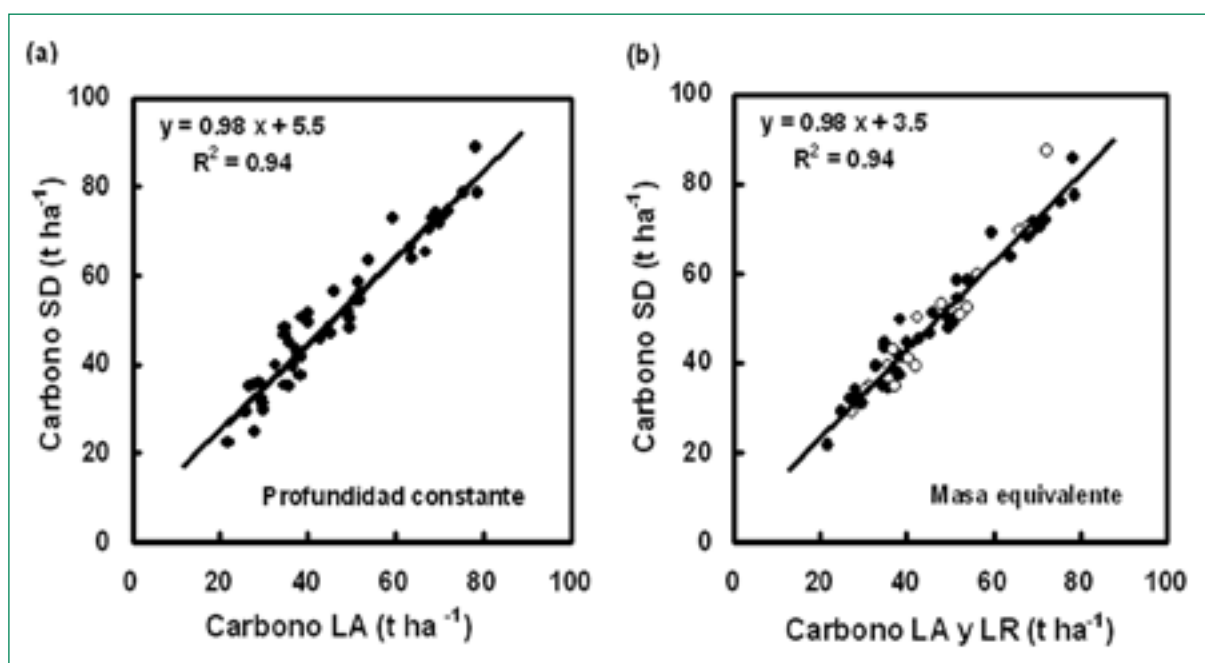


Figura 5. Relación entre el contenido de carbono del suelo bajo siembra directa y el contenido de carbono bajo labranza calculado en profundidad constante (a) y en masa equivalente, (b). LA (círculos llenos) = labranza con arado y LR (círculos vacíos) = labranza reducida (cincel y disco).

sobre el nivel de C en cada una de esas áreas (Figura 7b). En los suelos del oeste de la Región Pampeana son esperables incrementos porcentuales mayores que en el este por aplicación de SD respecto de sistemas de labranza con remoción. La capacidad total de secuestro de C estimada para la región es de 74 Mt C. Esta cantidad de C es equivalente a la que es emitida por consumo de combustibles fósiles en Argentina en un período de dos años, 40 Mt C año<sup>-1</sup> (CIA World Factbook, 2004).

**Experiencias en lotes de producción**

Para testear si es posible detectar trabajando a nivel de lotes de producción diferencias en contenidos de C entre distintos manejos de labranza se muestrearon 93 lotes pertenecientes a 14 establecimientos ubicados en 6 partidos diferentes de la Pampa Ondulada (Tabla 2). Se determinó también en ellos C liviano y capacidad de mineralización de nitrógeno, en todos los casos de 0 a 30 cm de profundidad. Aproximadamente la mitad de los lotes se manejaba bajo SD y la otra mitad bajo labranza con arado o disco. Los valores se compararon por el test de t. En general, no se detectaron diferencias de las variables analizadas tanto expresando los resultados en profundidad constante como en masa equivalente. El stock de C calculado en base a masa equivalente fue inclusive mayor en los lotes bajo labranza que en aquellos bajo SD.

Estos resultados contradictorios se deben a dos causas: el impacto de la introducción de siembra directa sobre el contenido de carbono del suelo es pequeño y a que no hay homogeneidad de otras condiciones por lo que se confunde con los efectos de otros factores

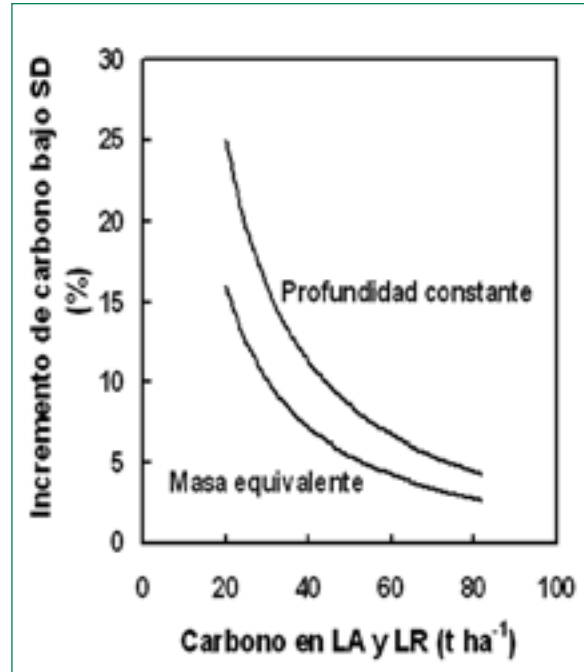


Figura 6. Incremento del contenido de carbono bajo siembra directa expresado como porcentaje del contenido de carbono bajo labranza. LA = labranza con arado, LR = labranza reducida (cincel y disco).

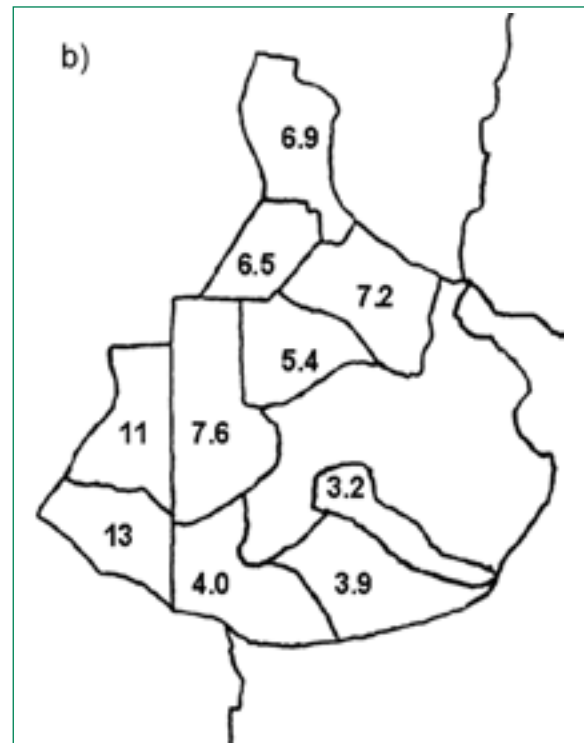
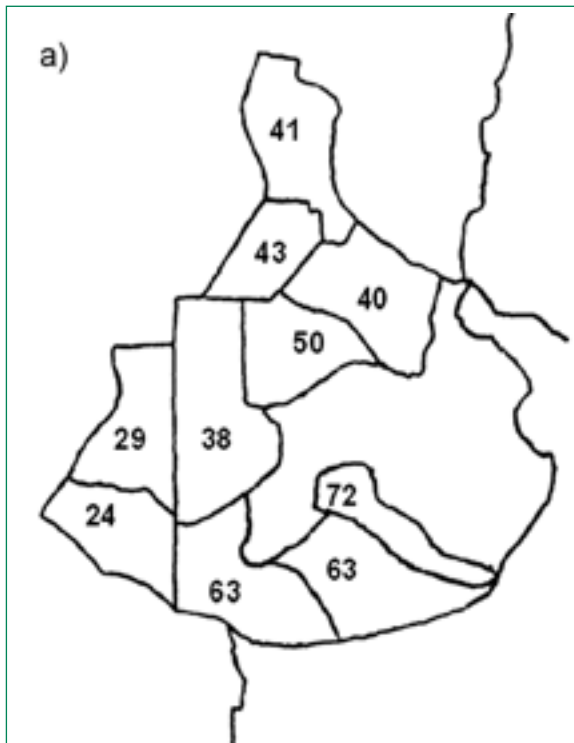


Figura 7. (a) Mapa de la Región Pampeana delimitando áreas con su contenido promedio de carbono orgánico de 0-20 cm (t C ha<sup>-1</sup>). (b) Incremento porcentual de los niveles de carbono por introducción de siembra directa estimados a partir de la ecuación de la Figura 5 b.

que hacen variar el nivel de carbono del suelo. El trabajo a nivel de lotes no es adecuado para diferenciar sistemas de labranza y los resultados que se obtienen de relevamientos de este tipo deben ser considerados muy cuidadosamente.

**Bibliografía**

**Alvarez, R., Díaz, R.A., Barbero, N., Santanatoglia, O.J. y Blotta, L.** 1995 a. Soil organic carbon, microbial biomass and CO<sub>2</sub>-C production from three tillage systems. *Soil & Tillage Research* 33, 17-28.

**Alvarez, R., Santanatoglia, O.J., Daniel, P.E. y García, R.** 1995 b. Respiration and specific activity of soil microbial biomass under conventional and reduced tillage. *Pesq. Agropec. Brasil.* 30, 701-709.

**Alvarez, R., Santanatoglia, O. J. y Garcia, R.** 1995 c. Soil respiration and carbon inputs from crops in a wheat-soyabean rotation under different tillage systems. *Soil Use and Management.* 11, 45-50.

**Alvarez, C.R., Alvarez, R., Grigera, M.S. y Lavado, R.S.** 1998 a. Associations between organic matter fractions and the active soil microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.* 30, (6) 767-773.

**Alvarez, R., Russo, M.E., Prystupa, P., Scheiner, J. D, Blotta, L.** 1998 b. Soil Carbon Pools under conventional and no-tillage systems in the Argentine Rolling Pampa. *Agronomy Journal*, 90 N° 2. 138-143.

**Andriulo, A. y Cordone, G.** 1998. Impacto de labranzas y rotaciones sobre la materia orgánica de suelos de la Región Pampeana Húmeda. En: Panigatti, J.L., Marelli, H., Buschiazzo, D., Gil, R. (Ed). *Siembra Directa.* 65-95.

**Andriulo, A., Sasal, C. y Rivero, M.L.** 2001. Los sistemas de producción conservacionistas como mitigadores de la pérdida de carbono orgánico edáfico. En Panigatti, J. L., Buschiazzo. D., Marelli, H. (Ed). *Siembra Directa II.* 17-27.

**Apezteguía, H.P., Andriulo, A., Sala, H.P., Lovera, E. y Sereno, R.** 2004. Simulación de la dinámica de la materia orgánica en suelos del Centro de la Provincia de Córdoba con el modelo AMG. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Publicado en actas en CD.

**Arrigo, N.M., Palma, R.M., Conti, M.E. y Cosentino, D.J.** 1991. Incidencia de las secuencias de cultivos, sistemas de labranza y fertilización sobre algunas propiedades físicas y su relación con el carbono. *Revista Facultad de Agronomía.* 11 (2-3), 151-158.

**Bergh R.G.** 1998. Evaluación de sistemas de labranza en el Centro-Sur Bonaerense. En: Panigatti, J.L., Marelli, H., Buschiazzo, D., Gil, R. (Ed). *Siembra Directa.* 223-235.

**Berón, R. y Blotta, L.** 1994. Algunas propiedades físicas de suelos serie Pergamino y su relación con los efectos de lluvias intensas simuladas. *Carpeta de Producción Vegetal, Generalidades, INTA Pergamino. Información N° 110, 1-9.*

**CIA World Factbook.** 2004. [www.cia.gov/cia/publications/factbook](http://www.cia.gov/cia/publications/factbook).

**Chagas, C.I., Santanatoglia, O.J. y Castiglioni, M.G.** 1995. Tillage and cropping effects on selected properties of an Argiudoll in Argentina. *Commun. Soil. Sci. Plant. Anal.* 26 (5-6), 643-655.

**De la Horra, A.M., Palma, R.M., Conti, M.E. y Tortarolo, M. F.** 2000. Influencia de los sistemas de labranza sobre la actividad de enzimas relacionadas a los ciclos del C y del N. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Publicado en actas en CD.

**Díaz-Zorita, M.** 1999. Efectos de seis años de labranzas en un Hapludol del Noroeste de Buenos Aires, Argentina. *Ciencia del Suelo.* 17, (1), 31-36.

**Díaz-Zorita, M. y Duarte, G.A.** 2001. La siembra directa en los sistemas mixtos del Oeste Bonaerense. En: Panigatti, J.L., Buschiazzo, D., Marelli, H. *Siembra Directa II.* 281-287

Tabla 2: Contenido de carbono orgánico, carbono liviano y capacidad de mineralización de nitrógeno en 93 lotes de producción de la Pampa Ondulada bajo siembra directa y labranza con arado.

	Profundidad constante			Masa equivalente		
	Carbono orgánico (t ha <sup>-1</sup> )	Carbono liviano (t ha <sup>-1</sup> )	Nitrógeno mineralizado (kg N ha <sup>-1</sup> )	Carbono orgánico (t ha <sup>-1</sup> )	Carbono liviano (t ha <sup>-1</sup> )	Nitrógeno mineralizado (kg N ha <sup>-1</sup> )
SD	65.8	8.23	139	61.6	7.70	131
LA	68.3	7.87	151	68.3	7.9	151
P	NS	NS	NS	0.01	NS	NS

SD = siembra directa, LA = labranza con arado.  
 P = nivel de significancia del test, NS = no significativo.

- Díaz-Zorita, M., Barraco y M., Alvarez, C.** 2004. Efectos de doce años de labranzas en un Hapludol del Noroeste de Buenos Aires, Argentina. *Ciencia del Suelo*. 22, (1), 11-17.
- Domínguez, G.F., Studdert, G.A. y Echeverría, H.E.** 2004. Efecto de dos sistemas de labranza sobre materia orgánica total y particulada en un Molisol de Balcarce. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Publicado en actas en CD.
- Eiza, M.J., Fioriti, N., Studdert, G.A. y Echeverría, H.E.** 2004. Fracciones de carbono orgánico en la capa arable: Efecto de los sistemas de cultivo y de la fertilización nitrogenada. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Publicado en actas en CD.
- Fabrizzi, K.P., Morón, A. y García F.O.** 2003. Soil Carbon and Nitrogen Organic Fractions in Degraded vs. Non-Degraded Mollisols in Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67-1831-1841.
- Ferreras, L.A., De Batistta, J.J. Ausilio, A. y Pecorari, C.** 1998. Efecto de dos sistemas de labranza sobre las propiedades físicas de un Argiudol Típico. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 23-24.
- Fontanetto, H. y Vivas, H.** 1998. Labranzas en el Centro de Santa Fe. En: Panigatti, J. L., Marelli, H., Buschiazzo, D., Gil, R. (Ed). *Siembra Directa*. 275-285.
- Galantini, J.A., Iglesias J.O., Cutini, L., Krüger, H.R. y Venanzi, S.** 2004. Sistemas de Labranzas: Efecto sobre las fracciones orgánicas. XIX Congreso Argentino de La Ciencia del Suelo. Publicado en actas en CD.
- Galetto, M.L.R., Blotta, L., Zeljkovich, V. y Hansen, O.** 1992. Sistemas de labranzas en la rotación maíz-trigo-soja evaluación de las propiedades químicas del suelo, a los 5 años de implantado el ensayo. *Carpeta de Producción Vegetal, Generalidades*, INTA Pergamino. Informe N° 90, 1-10.
- INDEC.** 2003. Ministerio de la Producción. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos. [www.indec.mecon.gov.ar](http://www.indec.mecon.gov.ar).
- Krüger, H.R.** 1996. Sistemas de labranza y variación de propiedades químicas en un Haplustol Entico. *Ciencia del Suelo*. 14, 53-55.
- Lattanzi, A. R.** 1993. Secuencias de cultivos y sistemas de labranzas para la producción de soja. *Oleaginosos*. 4, 36-40.
- Lavado, R.S., Porcelli, C.A. y Alvarez, R.** 1999. Concentration and distribution of extractable elements in a soil as affected by tillage systems and fertilization. *The Science of the Total Environment*. 232, 185-191.
- Mandolesi, M.E., Ron, M., Vidal, P.E. y Forjan, H.J.** 2004. Carbono orgánico y sus fracciones según uso del suelo en un Argiudol típico del Centro Sur Bonaerense. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Publicado en actas en CD.
- Mestelan, S., Ressia, J., Pazos, M., Mendivil, G., Olagaray, D. y Balbuena, R.** 2002. Impacto de diferentes sistemas de labranzas en propiedades de un Phaeozem Luvico del Centro de la Provincia de Buenos Aires. XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Publicado en actas en CD.
- Miglierina, A.M., Rosell, R.A. y Cacchiarelli, J.** 2000. Dinámica de nutrientes en fracciones granulométricas de un Hapludol Típico bajo labranzas diferentes. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Publicado en actas en CD.
- Nico, A.I., Aragón, A. y Chidichimo, H.O.** 1997. La materia orgánica en un suelo bajo labranza convencional y siembra directa: análisis comparativo del perfil de distribución y el fraccionamiento físico. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*. 102, (1), 45-50.
- Quiroga, A.R., Monsalvo, M., Buschiazzo, D.E. y Adema, E.** 1996. Labranzas en la Región Semiárida Pampeana Central. En: Buschiazzo, D.E., Panigatti, J. L. Babinec, F. J. (Ed). *Labranzas en la Región Semiárida Argentina*. 81-91.
- Studdert, G.A. y Echeverría, H.E.** 2002. Rotaciones mixtas, labranzas y carbono orgánico en la capa arable en el Sudeste Bonaerense. XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Publicado en actas en CD. ■