



IPNI
INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION
INSTITUTE

INSTITUTO INTERNACIONAL
DE NUTRICIÓN DE PLANTAS

WWW.IPNI.NET

PROGRAMA LATINOAMERICA - CONO SUR



MARZO - 2007
CONTENIDO

- ☛ P, PH Y MO EN LA PROVINCIA DE LA PAMPA
- ☛ SISTEMA DE LABRANZA Y PROPIEDADES FÍSICAS
- ☛ CRITERIOS DE FERTILIZACION EN MAÍZ
- ☛ ESTIMACION DE NITRATOS EN PROFUNDIDAD

ARCHIVO AGRONÓMICO # 11
REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES
I. CEREALES, OLEAGINOSOS E INDUSTRIALES

CONTENIDO DE FÓSFORO EXTRACTABLE, PH Y MATERIA ORGÁNICA EN LOS SUELOS DEL ESTE DE LA PROVINCIA DE LA PAMPA

Nicolás Romano y Zinda Roberto

EEA Anguil INTA, Ruta Nacional Nº 5, km 580 cc 11 (6326) Anguil, La Pampa.
nromano@anguil.inta.gov.ar

INTRODUCCIÓN

Los suelos de la Región Semiárida Pampeana Central (RSPC) se caracterizan por tener texturas variables (arenosa, arenosa franca, franca arenosa y franca), rápido drenaje, niveles bajos a medios de materia orgánica (MO) y nitrógeno, y por ser vulnerables a erosión hídrica y eólica (INTA, 1980). Se encuentran distribuidos en las unidades geomorfológicas de la Planicie Medanosas Ondulada (PM) y la Planicie con Tosca (PT), encontrando en ambas regiones suelos clasificados como Haplustoles Típicos, Haplustoles Énticos y Ustipsamientos. La PM no presenta generalmente limitantes de profundidad. La región de la PT posee suelos de profundidades variables por la presencia de un manto de tosca, que resulta en un verdadero impedimento. Con el avance de la agricultura, los sistemas que en un principio eran solamente ganaderos pasaron a ser mixtos y actualmente en ellos se practica la agricultura de rotación con cultivos como trigo, girasol, maíz y soja, mayoritariamente. Este avance de la agricultu-

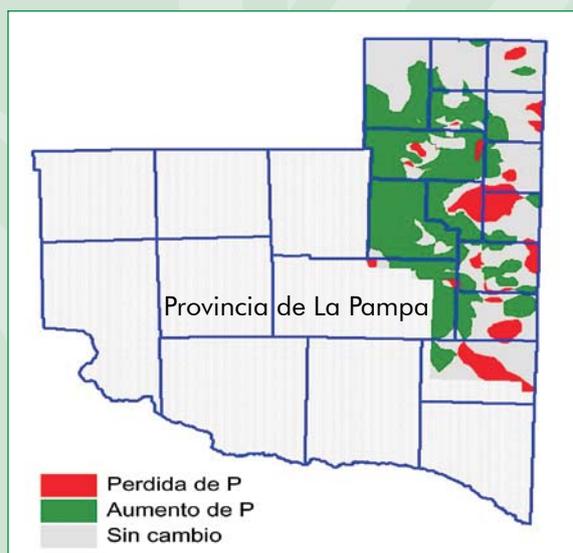


Figura 3. Cambios encontrados en los niveles de P para el período 1996-2006

Director: Dr. Fernando O. García

INSTITUTO INTERNACIONAL DE NUTRICIÓN DE PLANTAS

PROGRAMA LATINOAMERICA - CONO SUR

Av. Santa Fe 910

(B1641ABO) Acassuso – Argentina

Tel/Fax (54) (011) 4798-9939

E-mail: fgarcia@ipni.net

Sitio Web: www.ipni.net

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: www.agroeditorial.com.ar
amatthiess@amatthiess.com.ar



Contenido:

Contenido de fósforo extractable, pH y materia orgánica en los suelos del este de la provincia de La Pampa — 1

¿Afecta el sistema de labranza las propiedades físicas de los suelos de la Región Pampeana? — 7

Respuesta de maíz a fertilizaciones definidas con diferentes criterios de recomendación — 17

Estimación de nitratos en profundidad en suelos de la región semiárida y subhúmeda pampeana — 25

Publicaciones de Inpofos — 27

Congresos, Cursos y Simposios — 27

Archivo Agronómico N° 11: Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios

ra sobre tierras destinadas a la producción mixta o exclusivamente ganadera, provocó el descenso de los contenidos de MO y fósforo extractable (P), por procesos de erosión hídrica y eólica. Esto fue agravado aun más por los sistemas de labranza utilizados. La adopción de la siembra directa y la tecnología de la fertilización pueden contribuir a una recuperación progresiva de la fertilidad de los suelos. Si bien en los últimos 15 años el incremento de uso de fertilizantes ha sido considerablemente superior (400 a 500%) al incremento en la producción de granos

(120 a 130%), el balance de nutrientes sigue siendo progresivamente más negativo (Berardo, 2004). En el caso de P, sólo se logra compensar un 50% de los niveles extraídos por los cultivos (Díaz Zorita, Barraco, 2002).

Esta agricultura extractiva, en algunos casos “minera”, se manifiesta especialmente por la pérdida de P y calcio de los suelos cultivados. El P extractable para los cultivos ha disminuido a niveles donde la continua remoción de P de los granos y forrajes, y la baja de reposición de este nutriente por fertilización

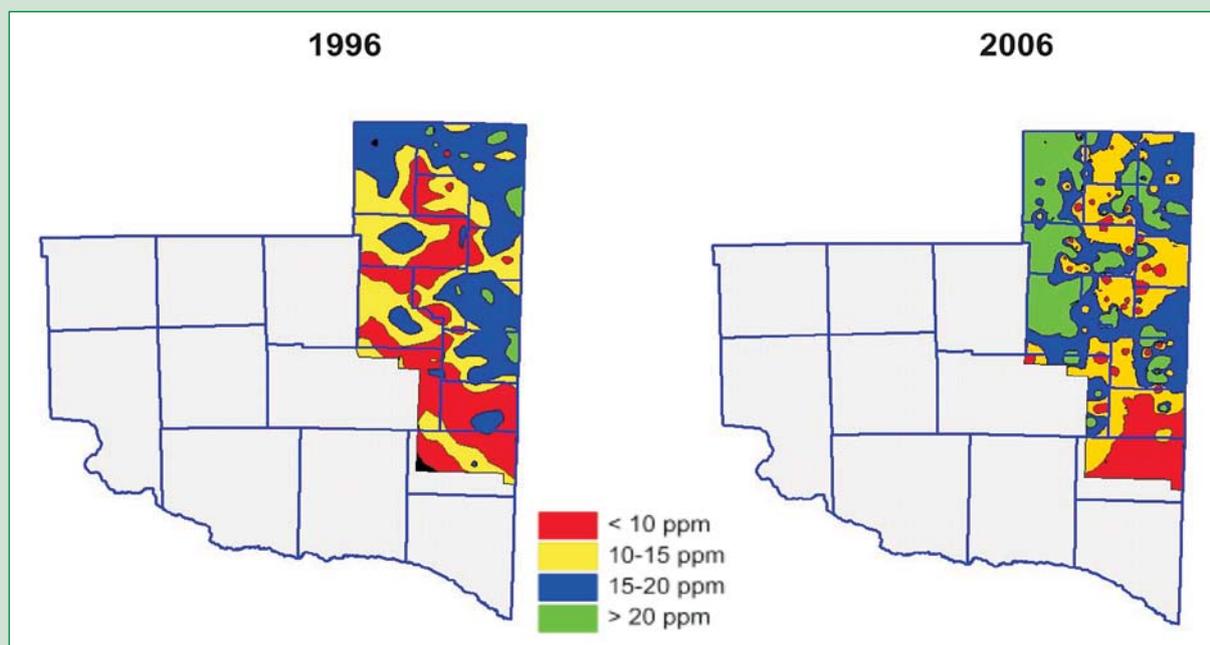


Figura 2. Evolución de los contenidos de P para el período 1996-2006.

han resultado en una disminución de sus niveles. Sólo en el orden del 40-50% de P extraído por los granos es aportado por fertilización (García, 2003). En la actualidad, numerosos suelos del este de La Pampa presentan contenidos de P menores a 10 mg kg⁻¹ (Montoya *et al.* 1999).

La MO representa una pequeña fracción de la masa de la mayor parte de los suelos, en general entre 1 y 6% del horizonte A y un menor contenido en profundidad. Sin embargo, se la considera un factor muy importante pues muchos estudios han mostrado que afecta la estabilidad de los agregados, la capacidad de almacenamiento de agua útil, la capacidad de intercambio catiónico y, sobre todo, la disponibilidad de nutrientes, especialmente nitrógeno. A pesar de lo mucho que se ha estudiado el impacto de la MO sobre la productividad de los suelos no se han podido establecer puntos críticos a partir de los cuales se verían afectados los cultivos, y pocos trabajos describen relaciones entre la cantidad de MO de los suelos y los rendimientos (Alvarez, 2005). En los últimos años se ha reemplazado el valor de MO para evaluar la productividad de los cultivos, por indicadores de la calidad de los suelos, como por ejemplo índices: MO en relación a la textura, fracciones lábiles de la MO, etc. Muchos de los trabajos sobre MO que se están llevando adelante actualmente en el mundo apuntan no ya a determinar únicamente los efectos de ésta sobre la productividad de los suelos, sino a establecer la capacidad de los mismos de secuestrar carbono del aire y contribuir a mitigar el calentamiento global. Además de las pérdidas de MO y P de los suelos de esta región, los niveles de pH vienen descendiendo de manera muy preocupante. Este proceso de la acidificación de los suelos consiste en la sustitución de las bases calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K)

y sodio (Na) del complejo de intercambio catiónico del suelo y su reemplazo por hidrógeno y/o aluminio (Morón, 2000). En algunos casos se presentan ciertos niveles de acidez que limitan la producción de los cultivos. La última actualización de los niveles de P extractable de la región tiene aproximadamente 10 años (Montoya *et al.*, 1999). Los primeros antecedentes de mapas de MO y pH en la provincia de La Pampa fueron los realizados en escala 1:500000 (Roberto *et al.*, 1997).

El objetivo del presente trabajo fue realizar una actualización del mapa de P extractable y además confeccionar dos nuevos mapas que muestren los contenidos de MO y pH en la zona de estudio.



Figura 1. Departamentos y zona de estudio en la cual se realizaron los relevamientos edáficos.

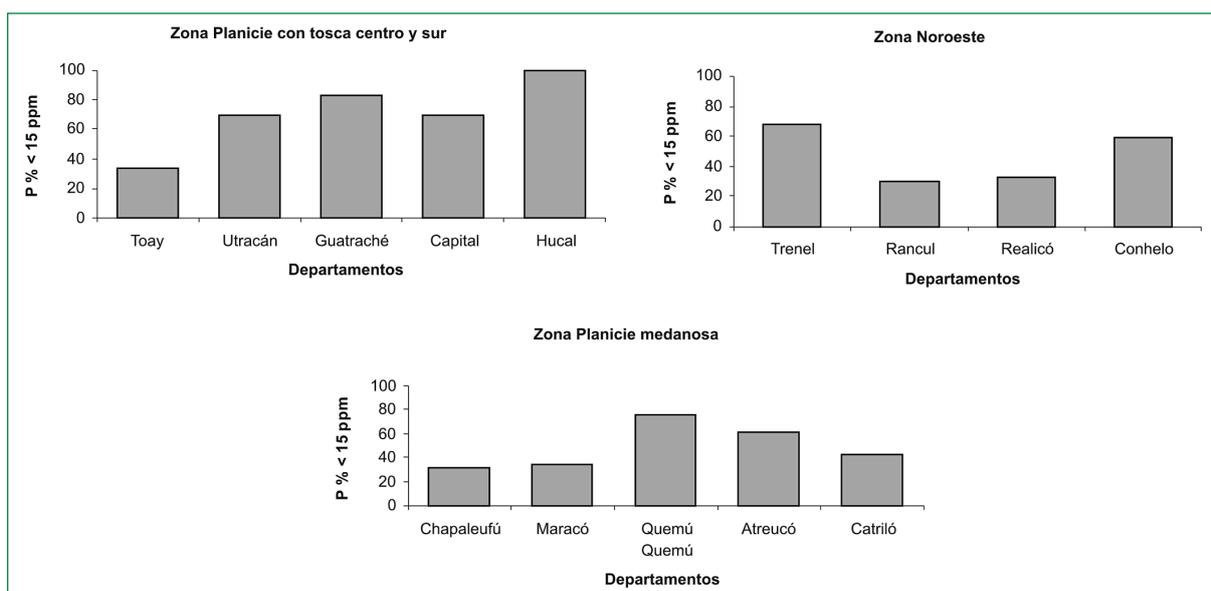


Figura 4. Porcentaje de muestras menores a 15 ppm para las distintas zonas en el este de la provincia de La Pampa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se recopiló información existente de los valores correspondientes de P extractable (Bray Kurtz N°1), MO (Walkley y Black) y pH (en pasta), de la capa arable (0-20 cm de profundidad) realizadas en el laboratorio de suelos del EEA Anguil y otro laboratorio de la región (ESAGRO), el cuál usa las mismas técnicas de determinación. Con esta información, correspondiente al período 2004-2006, se construyó una base de datos.

Un total de 600 muestras se localizaron geográficamente en el catastro provincial (Sección, Fracción, Lote) teniendo en cuenta una zona de estudio que abarco 14 departamentos del este de la provincia de La Pampa, las cuales constituyen el área cultivada de la provincia (Fig. 1). Al presentarse regiones con elevada información en un mismo sitio geográfico se procedió a promediar las mismas quedando finalmente 274 muestras más representativas.

Para la ubicación geográfica se trabajó en la proyección Gauss-Kruger, Faja 4. La base de datos obtenida fue importada en el software ARCVIEW 3.1 a través del Módulo Table y se transformó a un formato gráfico para poder ser observada. Se analizó la distribución de la información y al presentarse sitios con escasez de información se procedió al relevamiento de los mismos y al posterior análisis de las muestras en el laboratorio. Así quedaron totalizadas 433 muestras con las cuales se realizó el análisis de la información.

Las variables P, pH y MO, fueron interpoladas en forma independiente en el Sistema de Información Geográfica con el programa Surfer. Luego dichas isolíneas fueron reclasificadas de manera de agruparlas en rangos representativos. De esta forma quedaron constituidos tres mapas (P, pH y MO) a escala 1:100.000. Posteriormente para la variable P se realizó la superposición de capas temáticas de las distintas áreas pertenecientes a los mapas de 1996 y 2006 para poder determinar los cambios a

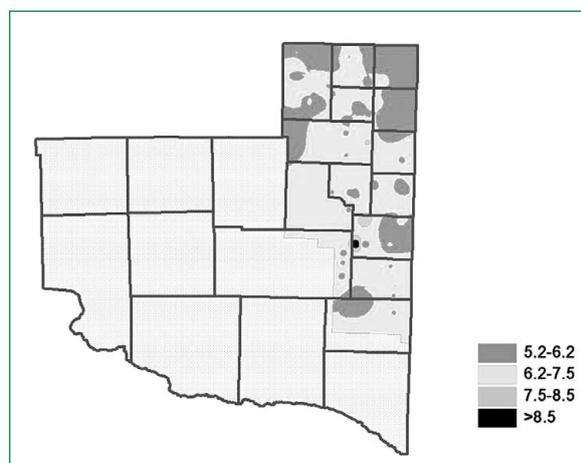


Figura 5. Rangos de pH encontrados en el este de La Pampa.

través del tiempo. Para el caso de P exclusivamente se reagruparon las muestras por zona y departamento, dicha información así estructurada fue importada al software EXCEL para construir una figura de porcentaje de P extractable por debajo del límite de 15 mg Kg⁻¹ con la finalidad de analizar el comportamiento de las mismas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para este tipo de trabajo, la uniformidad en la distribución de los puntos es un aspecto de suma importancia de manera que no se generen zonas con elevada concentración de información y otras con escasez, ya que los resultados obtenidos serán afectados por la misma. Esta es una de las explicaciones por las cuales puedan encontrarse diferencias en los mapas de 1996 con respecto al del 2006, las cuales son solo atribuibles a este problema.

Cambios en los contenidos de P

Se puede observar de manera llamativa el aumento en las áreas de buena disponibilidad de P, mayor a 20 mg kg⁻¹ en los departamentos de Rancúl, Conhelo y Toay (Fig. 2). Al confeccionar el mapa de 1996, los puntos de esta región se concentraron en pequeñas áreas que presentaban una historia agrícola-ganadera muy importante. Sin embargo, en estos últimos años con la expansión de la agricultura de la región, se ha eliminado su ecosistema natural de bosque de caldén y pastizal natural. Teniendo en cuenta que para el mapa del 2006 se relevaron también estas áreas cuasi prístinas, se han expresado mayores contenidos de P extractable.

En el oeste del departamento Trenél y este de Conhelo que para el mapa confeccionado en el año 1996 se consideraban con niveles por debajo de 10 mg kg⁻¹, hoy se encuentran parcialmente afectados por estos niveles y son en su mayoría áreas con niveles 11 a 15 mg kg⁻¹.

Cuando se analizaron los datos que dieron origen a dichos rangos en estas zonas, se observa que los valores del rango 11 a 15 mg kg⁻¹ se concentran sobre el límite inferior, aproximadamente el 65% de los datos se hallan por debajo de 12,5 mg kg⁻¹. Por lo tanto estas diferencias no son significativas.

Al superponer los dos mapas se pudieron visualizar los cambios manifestados en el período analizado en los niveles de P (Fig. 3 - ver tapa). Las áreas verdes que se presentaron en los departamentos del noroeste en la Figura 2 correspondientes al año 2006, se presentan en la Figura 3 se presentan como ganancias de P extractable y esto se explica por el mismo fundamento expresado anteriormente.

Los departamentos de Realicó, Chapaleufú y Maracó no mostraron cambios en los valores de P. Esto se explicaría por un incremento vía fertilización fosfora-

da, ya que se trata de la zona más productiva de la provincia y esta tecnología es una práctica habitual. De todas maneras se observan zonas con pérdidas en los niveles de P que ponen en evidencia un balance negativo de este nutriente.

El área que comprende los departamentos de Catrilo, Capital y el extremo suroeste de Quemú Quemú se observa una pérdida en los niveles de P. En estos departamentos, la adopción de la tecnología de fertilización no ha sido tan importante como en los departamentos del noreste, debido a que el potencial productivo de esta zona es menor. La región que comprende los departamentos de Hucal y Guatraché, en los cuales se encontraron niveles muy bajos de P, se presenta como una región muy crítica teniendo en cuenta que las pérdidas de este nutriente se siguen acentuando.

Al delimitarse zonas por departamentos, se analizó el porcentaje de muestras debajo de un valor de referencia de P extractable de 15 mg kg^{-1} , generándose una mejor interpretación de cada situación particular (Fig. 4). La zona Planicie con tosca centro y sur es la que presenta la situación más crítica, teniendo en cuenta que todos los departamentos con excepción de Toay, poseen más del 60% de las muestras por debajo de 15 mg kg^{-1} . En la Planicie medanosa los departamentos más problemáticos son Quemú Quemú y Atrucó, los cuales presentan un 76 % y 61% de las muestras por debajo de 15 mg kg^{-1} respectivamente. En Catrilo, Maracó y Chapaleufú estos valores se encuentran cercanos al 40%. En la zona Noroeste en los departamentos de Trenal y Conhelo el 70 y 60 % de las muestras presentan valores inferiores a 15 mg kg^{-1} , respectivamente.

Rangos de pH encontrados en los suelos de la región en estudio

Teniendo en cuenta los rangos establecidos, la mayor parte de la región bajo estudio esta representada por valores que oscilan entre 6.2 y 7.5, en los cuales no existiría ningún tipo de restricción para el establecimiento y la producción de cultivos y pasturas (Fig. 5). Sin embargo, existen áreas representadas por valores ligeramente ácidos entre 5.2 y 6.2, que involucra el norte de Rancul, oeste de Conhelo, y de la Planicie medanosa Chapaleufú, Maracó y este de Atrucó. Dentro de este rango se presentarían limitantes principalmente para las leguminosas como la alfalfa y la soja, las cuales son sensibles a la acidez. La acidez puede afectar a los cultivos por toxicidad por aluminio y/o manganeso, inhibición de la fijación biológica del nitrógeno, restricciones en el crecimiento radicular y/o afectando la nutrición fosfatada (Marschner, 1995).

El avance e intensificación de la agricultura en la provincia de La Pampa en estos últimos años ha sido sumamente importante. Este estudio muestra que numerosas áreas han disminuido los niveles de P extractable debido a los balances negativos de P, mientras que regiones cuasiprístinas como el noroeste no muestran valores problemáticos en la actualidad.

Estos valores para los departamentos de Chapaleufú y Maracó se justificarían ya que se trata de una región con un proceso de agriculturización muy importante. Las áreas con valores alcalinos a muy alcalinos que involucra los rangos entre 7.5 a >8.5 , son áreas muy limitantes para la producción y establecimientos de cultivos y pasturas. Estas áreas tienen un origen natural que corresponden a una asociación de suelos Haplustoles y Calciustoles, dentro del orden de los Molisoles (INTA, 1980).

Contenidos de MO

Dado que la MO esta relacionada con la textura que presentan los suelos, necesitaríamos de esta información para analizar correctamente los contenidos de MO de una zona en particular y conocer medianamente la evolución de este parámetro edáfico. En esta región semiárida pampeana, la influencia de manejos contrastantes sobre la MO y sus fracciones estuvo significativamente condicionada por variaciones en la granulometría de los suelos (Quiroga, 1994). La Planicie Medanosa presenta los valores más bajos de MO (Fig. 6). Si tenemos en cuenta que se trata de suelos textualmente muy arenosos estos valores de MO no serían tan bajos. A pesar de esto, la región presenta la menor capacidad de amortiguar los procesos de acidificación que se están generando en el área (Fig. 5). Por otro lado, predominan áreas con niveles medios de MO, entre 1.5 y 2%, la cual involucra gran parte de la Planicie con tosca. Si bien los contenidos de MO son relativamente altos, existen departamentos de la región como este de Conhelo, norte de Capital y parte de Rancul que presentan texturas más finas (altos contenidos de limo), lo cual nos hace inferir que los contenidos de MO sean medios a bajos teniendo en cuenta la composición textural

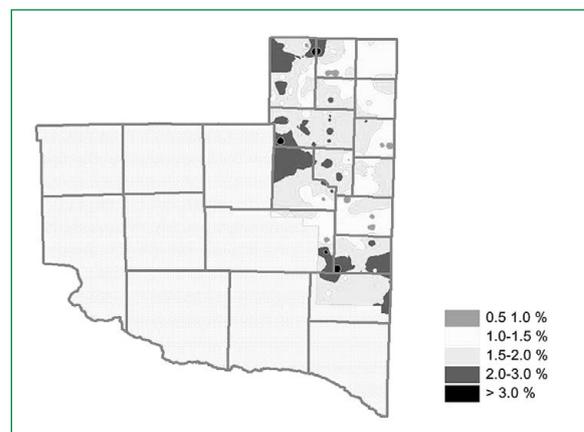


Figura 6. Contenidos de MO encontrados en el este de La Pampa.

de la región. El sector comprendido por noroeste de Rancul, sudoeste de Conhelo, norte de Toay y parte del departamento Guatraché presentan los mayores contenidos de MO. Teniendo en cuenta que se trata de una región con pocos años de agricultura y ganadería es esperable encontrar estos contenidos de MO. Estos suelos al ser cultivados presentan una inicial y rápida pérdida de nutrientes y carbono orgánico, principalmente a causa de la absorción por los cultivos y oxidación de la MO (Buschiazzi *et al.*, 2000). Luego de varios años de cultivo la MO tiende a estabilizarse (Casanovas *et al.*, 1995), quedando un nivel mínimo que corresponde a complejos organominerales (Rasmussen & Collins, 1991).

CONSIDERACIONES FINALES

El avance e intensificación de la agricultura en estos últimos años ha sido sumamente importante. Si bien los parámetros analizados en regiones cuasiprístinas como el noroeste no muestran valores problemáticos, se trata de zonas que han perdido su ecosistema natural y es factible que en los próximos años estos parámetros sufran cambios drásticos.

La evolución de parámetros químicos como P, pH y MO indica que en la región de estudio existe una gran variabilidad de situaciones, las cuales no pueden analizarse aisladamente y requieren de parámetros físicos para una mejor interpretación.

Los mapas son herramientas de mucha importancia para realizar análisis de una región en particular, detectar zonas problemáticas, realizar balances de nutrientes por zonas, etc. En contraposición no se puede extrapolar esta información a nivel de lote de producción teniendo en cuenta que la escala en la cual se trabajó es mucho mayor principalmente para P, nutriente que presenta un gran variabilidad, incluso a nivel de lote de producción.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo quieren expresar un profundo agradecimiento al **IPNI** Programa Cono Sur (International Plant Nutrition Institute) por la financiación del mismo. A los laboratoristas Raúl Brañas y Luís Cornejo de la EEA INTA Anguil por la realización de las determinaciones y al laboratorio ESAGRO por la información aportada para la realización del trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez R. 2005. Balance de carbono en suelos de la pampa ondulada: Efecto de la rotación de cultivos y la fertilización nitrogenada. Simposio "FERTILIDAD 2005" Nutrición, Producción y Ambiente. pág. 61-70. INPOFOS. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Berardo A. 2004. Manejo de la Agricultura Sustentable. Informaciones Agronómicas N° 23, pág. 23-27. INPOFOS. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Bray R.H. y L. Kurtz. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soil. *Soil Science*, N° 59, pág. 39-45.
- Buschiazzi D.E., G. Hevia, E. Hepper, A. Urioste, A. Bono y F. Babinec. 2000. Organic C, N and P in size fractions of virgin and cultivated soils of the semi-arid pampa of Argentina. *Journal of Arid Environments*, 48(4):501-508.
- Casanovas E.M., G.A. Studdert y H.E. Echeverría. 1995. Materia orgánica del suelo bajo rotaciones de cultivos. II. Efectos de los ciclos de agricultura y pastura. *Ciencia del Suelo*, N° 13, pág. 21-27.
- Díaz Zorita M. y M. Barraco. 2002. ¿Cómo es el cambio de fósforo en los sistemas pastoriles de producción de carne en la región pampeana? *Informaciones Agronómicas*, N° 13, pág. 8-10. INPOFOS. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- García F.O. 2003. Introducción. Simposio "El Fósforo en la Agricultura Argentina". pág. 2-3. INPOFOS. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Marschner H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press. Second Edition, 889 p.
- Montoya J., A. Bono, A. Suarez, N. Darwich y F. Babinec. 1999. Cambios en el contenido de fósforo asimilable en los suelos del este de La Pampa, Argentina. *Ciencia del Suelo* 17, N° 1, pág. 45-48.
- INTA-Gobierno de La Pampa y UNLPam. 1980. Inventario integrado de recursos naturales de la provincia de La Pampa, ISAG. Buenos Aires, pág. 493.
- Morón A. 2000. Alfalfa: Fertilidad de suelos y estado nutricional en sistemas agropecuarios de Uruguay. *Informaciones Agronómicas* N° 8, pág. 1-6. INPOFOS. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Quiroga A. 1994. Influencia del manejo sobre las propiedades físicas de los suelos. Su relación con la granulometría y contenidos de materia orgánica. Tesis MSc. UNS, Bahía Blanca.
- Rasmussen P.E. y H.P. Collins. 1991. Long-term impacts of tillage, fertilizer, and crop residue on soil organic matter in temperate semiarid regions. *Advances in Agronomy*, 45: 93-134.
- Roberto Z., E. Viglizzo, D. Buzchiazzi, A. Golberg, A. Pordomingo y O. Frank. 1997. Los sistemas de Información Geográfica Aplicada al uso de la Tierra. *Revista Nuestro Campo*, Año V, N° 39, pág. 24-27. 

VEA ESTE Y TODOS LOS ARTICULOS
DE INFORMACIONES AGRONOMICAS DEL CONO SUR EN:

WWW.IPNI.NET

¿AFECTA EL SISTEMA DE LABRANZA LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS DE LA REGIÓN PAMPEANA?

Haydée S. Steinbach y Roberto Alvarez.

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

steinbac@agro.uba.ar

INTRODUCCIÓN

En la Región Pampeana Argentina, aproximadamente el 70% de la superficie bajo agricultura se realiza en siembra directa (SD) (AAPRESID, 2006). Bajo este escenario se genera el interrogante sobre el impacto de la adopción de esta modalidad de labranza sobre las propiedades físicas del suelo, y en que medida este cambio pueda afectar la producción de los cultivos. Recientemente, Alvarez y Steinbach (2006) integrando la información publicada a nivel de la Región Pampeana, encontraron que en promedio los rendimientos del cultivo de soja no se ven modificados por el sistema de labranza. Sin embargo, en trigo y maíz los rendimientos son menores bajo SD cuando no se fertiliza con nitrógeno (N) tendiendo a igualarse cuando los cultivos son fertilizados.

En los casos en que se ha reportado menores rendimientos bajo SD, estos han sido atribuidos a menor disponibilidad de nitrógeno y efectos negativos en las propiedades físicas del suelo (Buschiazio et al., 1998; Ferreras et al., 2000; Díaz Zorita et al., 2002). Las variables comúnmente utilizadas para caracterizar los efectos del manejo en las propiedades físicas del suelo son la densidad aparente, la resistencia mecánica, la estabilidad de agregados y la infiltración. La densidad aparente y la resistencia mecánica han sido reconocidas como indicadores de la restricción del suelo al crecimiento radical (Jones, 1983; Gupta y Allmaras, 1987; Glisnki y Liepiec, 1990). En el caso de la resistencia mecánica se ha propuesto como umbral o valor crítico 2 MPa, por arriba del cual el crecimiento de las raíces de los cultivos se vería impedido (Glisnki y Liepiec, 1990). La variable estabilidad estructural, caracteriza la estabilidad del sistema de poros edáfico y, por lo tanto, afecta a la infiltración del agua en el suelo (Alvarez y Steinbach, 2006). En consecuencia, cuanto mayor es la estabilidad de estructura del suelo menor es la susceptibilidad a la erosión y mayor la entrada de agua al perfil del suelo (Wischmeier y Smith, 1978). En este sentido, las prácticas de manejo que tiendan a incrementar ambas variables (estabilidad estructural e infiltración) determinarían condiciones edáficas más favorables para el establecimiento y crecimiento de los cultivos.

Distintos grupos de trabajo han estudiado y evaluado en forma independiente el efecto de los distintos sistemas de labranza sobre algunas de las variables antes mencionadas en la Región Pampeana. Sin

embargo, hasta el momento no se ha analizado en forma conjunta la información existente de forma tal que permita establecer en que sentido y magnitud, las propiedades edáficas son afectadas. En este trabajo nos propusimos integrar la información publicada en los últimos 20 años en la región, con el objetivo de estimar el impacto de la adopción de la SD sobre las propiedades físicas del suelo.

SELECCIÓN DE LOS DATOS

Se recopilaron trabajos con resultados de ensayos realizados que reportaban datos de: densidad aparente, inestabilidad estructural, resistencia mecánica e infiltración para los sistemas de labranza con reja y vertedera (CR) y SD. La selección de los datos se realizó considerando sólo aquellos en los cuales los ensayos presentaban: 1) diseño estadístico y contenían repeticiones por tratamiento de labranza, 2) el sistema de labranza era la única diferencia entre tratamientos y 3) la profundidad de muestreo era igual o superior a la profundidad del tratamiento CR. Para caracterizar

La siembra directa aumenta la densidad aparente y la dureza del suelo y reduce su porosidad pero estos efectos no llegan a niveles de riesgo agronomico. La estabilidad estructural y la infiltración se incrementan significativamente bajo siembra directa, permitiendo un mayor almacenaje de agua del suelo para los cultivos.

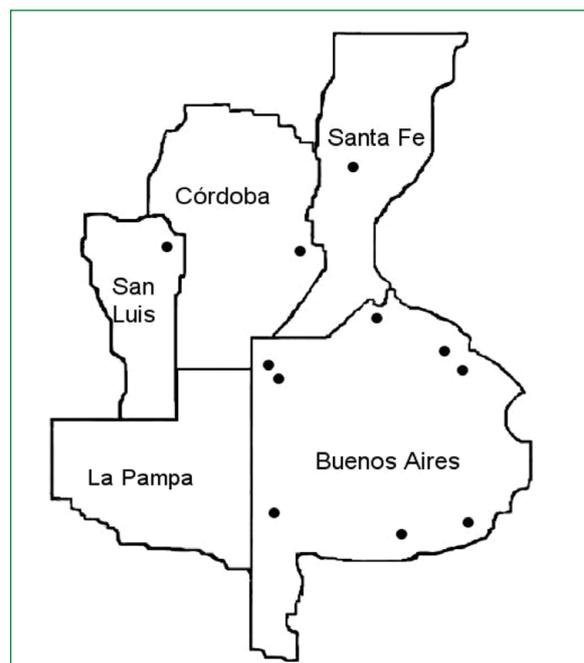


Figura 1. Ubicación geográfica de los sitios experimentales incluidos en el análisis

la inestabilidad estructural de los suelos se utilizó la variable cambio de diámetro medio ponderado de los agregados (mm), cuanto mayor fue el valor del cambio de diámetro medio ponderado mayor fue la inestabilidad estructural del suelo.

Los trabajos seleccionados fueron generados por grupos de investigación pertenecientes a instituciones públicas, como el INTA y Universidades

Nacionales, de las provincias de Córdoba, Santa Fe, San Luis y Buenos Aires (Fig. 1).

Los sitios experimentales incluidos en este análisis abarcaron un amplio rango de condiciones edáficas, de manejo y años de experimentación (Tabla 1). En el caso de la variable infiltración todos los sitios correspondieron a la zona húmeda con suelos de textura fina (Tabla 1).

Tabla 1. Origen, clasificación de los suelos, contenido de arena (%), tiempo en años de duración del experimento, rotación y profundidad de las muestras de suelo de los ensayos seleccionados, para las variables: densidad aparente, resistencia mecánica, inestabilidad estructural e infiltración.

Localidad	Clasificación de suelo	Serie de suelo	Arena (%)	Tiempo (años)	Rotación	Prof. (cm)
Densidad aparente (Mg/m ³)						
Balcarce	Paleudol Petrocálcico	Balcarce	39	2.5	T/Sj	3-20
Balcarce	Paleudol Petrocálcico	Balcarce	39	3	T/Sj	3-20
Balcarce	Complejo de suelo	-	-	8	M-Sj-T	3-15
Bordenave	Haplustol éntico	Darragueira	77	6	G-T	0-25
Bordenave	-	17 agosto	46	6	G-T	0-25
Bordenave	-	Bordenave	-	4	T-A	0-20
Rafaela	Argiudol Típico	-	2	9	T/Sj-M	0-15
Rafaela	Argiudol Típico	-	2	9	T/Sj	0-25
Drable	Hapludol Típico	-	49	5	M-Sj	0-30
Drable	Hapludol Típico	-	49	6	M-Sj	0-30
Drable	Hapludol Típico	-	49	12	M/Sj	0-30
E. Echeverría	-	-	-	3	Sg-T/Sj	0-20
E. Echeverría	-	-	-	4.5	Sg-T/Sj-M-Sj	0-20
E. Echeverría	-	-	-	5	Sg-T/Sj-M-Sj	0-20
Luján	Argiudol Típico	Solís	17	0.5	Sj-T	0-18
Luján	Argiudol Típico	Solís	17	0.5	Sj-T	0-18
M. Juarez	Argiudol Típico	M. Juarez	6	18	Sj-Sj	2-12
M. Juarez	Argiudol Típico	M. Juarez	6	15	M-M	0-15
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	6	M-T/Sj	0-24
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	12	T/Sj-M	0-16
Resistencia mecánica (Mpa)						
Rafaela	Argiudol Típico	-	2	9	T/Sj-M	0-20
Rafaela	Argiudol Típico	-	2	9	T/Sj	0-20
Bordenave	Haplustol Éntico	-	2	3	G/T	0-25
Villa Mercedes	Ustisament Típico	Cramer	77	10	-	0-40
Barrow	Argiudol petrocálcico	-	-	7	G/T	0-40
Balcarce	Complejo de suelos	Balcarce	39	2.5	T/Sj	0-25
Balcarce	Complejo de suelos	Balcarce	39	3	T/Sj	0-25
Balcarce	Complejo de suelos	Balcarce	39	8	M-Sj-T	0-25
Balcarce	Complejo de suelos	Balcarce	39	3.5	T-M	0-35
Balcarce	Complejo de suelos	Balcarce	39	4	T-M	0-35
Villegas	Hapludol Típico*	-	49	5	M-Sj	0-40
Drable	Hapludol Típico*	-	49	6	M-Sj	0-40
Drable	Hapludol Típico*	-	49	12	M-Sj	0-40
Inestabilidad estructural (mm)						
M. Juarez	Argiudol Típico	M. Juarez	6	18	Sj-Sj	0-15
M. Juarez	Argiudol Típico	M. Juarez	6	18	M-M	0-15
M. Juarez	Argiudol Típico	M. Juarez	6	8	Sj-M	0-15

Tabla 1 (continuación). Origen, clasificación de los suelos, contenido de arena (%), tiempo en años de duración del experimento, rotación y profundidad de las muestras de suelo de los ensayos seleccionados, para las variables: densidad aparente, resistencia mecánica, inestabilidad estructural e infiltración.

M. Juárez	Argiudol Típico	M. Juárez	6	9	Sj-M	0-10
M. Juárez	Argiudol Típico	M. Juárez	6	15	M-M	0-15
M. Juárez	Argiudol Típico	M. Juárez	6	17	Sj-Sj	0-15
M. Juárez	Argiudol Típico	M. Juárez	6	6	M-M	0-15
Bordenave	Haplustol Éntico	-	77	5	G-T	0-12
Drable	Hapludol Típico	-	49	6	M-Sj	0-15
Luján	Argiudol Típico	Solís	6	0.5	Sj-T	0-10
Luján	Argiudol Típico	Solís	6	1	Sj-T	0-10
Balcarce		-	39	8	M-Sj-T	0-20
Balcarce	Paleudol Petrocálcico	-	69	2.5	T/Sj	-
Infiltración (mm/h)						
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	12	T/Sj-M	
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	12	T/Sj-M	
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	12	T/Sj-M	
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	12	T/Sj-M	
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	13	T/Sj-M	
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	13	T/Sj-M	
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	13	T/Sj-M	
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	13	T/Sj-M	
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	6	T/Sj-M	
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	6	T/Sj-M	
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	6	T/Sj-M	
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	6	T/Sj-M	
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	6	T/Sj-M	
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	6	T/Sj-M	
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	6	T/Sj-M	
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	6	T/Sj-M	
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	6	T/Sj-M	
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	6	T/Sj-M	
Pergamino	Argiudol Típico	Pergamino	17	6	T/Sj-M	
M. Juárez	-	-	-	1	T/Sj	
M. Juárez	-	-	-	1	T/Sj	
M. Juárez	-	-	-	1	T/Sj	
M. Juárez	-	-	-	2	T/Sj	
M. Juárez	-	-	-	2	T/Sj	
M. Juárez	-	-	-	2	T/Sj	
Rafaela	Argiudol Típicos	-	2	9	T/Sj-M	
Rafaela	Argiudol Típicos	-	2	9	T/Sj-M	
Rafaela	Argiudol Típicos	-	2	9	T/Sj-M	

Complejo de suelos: Argiudol Típico –Paleudol Petrocálcico* Consociado Thaptoárgico. A: avena, G: girasol, M: maíz, T: trigo, Sg: sorgo, Sj: soja, T/Sj: dos cultivos en un año

PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Para cada una de las variables físicas se establecieron comparaciones entre los sistemas de labranza SD y CR. Se utilizó un test de comparación de pares de datos (pair t-test), se determinó para cada una de las variables el efecto del sistema de labranza ($P < 0.05$). Para cada variable se calcularon las diferencias entre sistemas de labranza, y se correlacionaron con la textura de los suelos y los años de duración

del experimento. En los casos en que el análisis del t-test mostró diferencias significativas por sistema de labranza, se establecieron relaciones por regresión lineal para cada una de las variables entre SD (ordenadas) y CR (abcisas). Las regresiones obtenidas se compararon con la línea 1:1. De esta forma cuando los datos quedaron ubicados más cerca de la línea 1:1 significó poco impacto del sistema de labranza, y cuanto más alejados mayor el efecto del sistema de labranza.

Densidad aparente

Se obtuvieron 20 comparaciones de densidad aparente entre SD y CR (Tabla 2). La densidad aparente promedio bajo SD (1.33 Mg/m^3) fue mayor respecto de las situaciones bajo CR (1.28 Mg/m^3), representando en promedio un incremento de un 4% por adopción de este sistema. Los valores máximos y mínimos obtenidos en cada sistema de labranza fueron de $1.48 - 1.21 \text{ Mg/m}^3$ y $1.46 - 1.06 \text{ Mg/m}^3$, para SD y CR, respectivamente. Las diferencias en densidad aparente entre SD y CR no se relacionaron con la duración del experimento, en cambio se relacionaron negativamente con el contenido de arena de los suelos ($R^2 = 0.33$, $n = 13$, $p < 0.05$), los suelos más gruesos se compactaron menos bajo SD respecto de los más finos.

La densidad aparente en SD se relacionó estrechamente con la densidad aparente bajo CR (Fig. 2). El ajuste obtenido presentó un valor de ordenada al origen positiva y distinta de cero y pendiente menor a 1, determinando un impacto de la SD diferencial para valores altos o bajos de densidad aparente. Para valores bajos de densidad aparente en CR, el incremento en densidad por adopción de SD fue de hasta un 12%, en tanto para valores mayores a 1.32 Mg/m^3 , la adopción de SD no tuvo efecto sobre la densidad. Por lo tanto, la adopción de SD, para el promedio de los suelos analizados, tuvo un bajo impacto en la densidad aparente y la magnitud del cambio en densidad dependió de la textura del suelo. Tendiendo a compactarse más los suelos de baja densidad al adoptarse SD, no siendo el efecto tiempo dependiente.

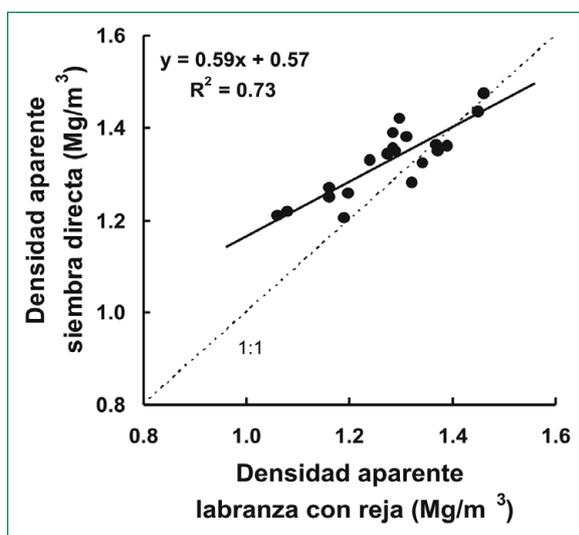


Figura 2. Relación entre densidad aparente bajo SD y bajo CR.

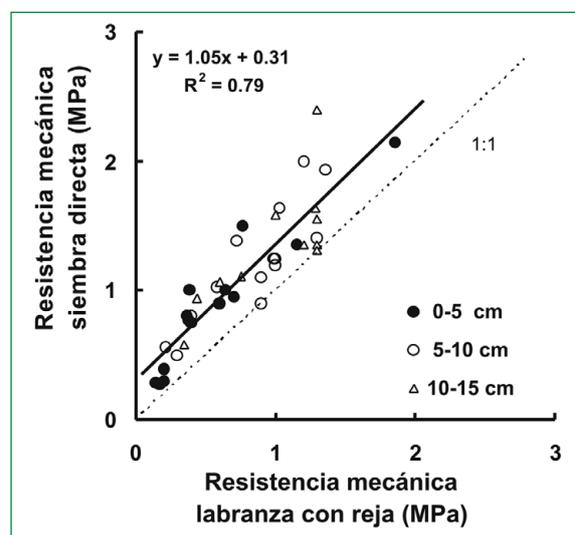


Figura 3. Relación entre la resistencia mecánica bajo SD y CR, para los estratos de suelo de 0-5, 5-10 y 10-15 cm de profundidad.

Tabla 2. Número de comparaciones, valores medios y nivel de significancia del t-test para las variables analizadas.

Variable	Nº de comparaciones	Promedios		Significancia del test de pares de datos
		Siembra directa	Labranza con reja	
Densidad aparente (Mg/m^3)	20	1.33	1.28	0.01
Resistencia mecánica de 0-5 cm (Mpa)	13	0.90	0.58	0.01
Resistencia mecánica de 5-10 cm (Mpa)	13	1.21	0.80	0.01
Resistencia mecánica de 10-15 cm (Mpa)	13	1.30	0.97	0.01
Resistencia mecánica de 15-20 cm (Mpa)	13	1.34	1.29	NS
Resistencia mecánica de 20-25cm (Mpa)	11	1.32	1.36	NS
Resistencia mecánica de 25-30 cm (Mpa)	7	1.42	1.66	NS
Resistencia mecánica de 30-35 cm (Mpa)	5	1.28	1.47	NS
Resistencia mecánica de 35-40 cm (Mpa)	5	1.34	1.42	NS
Inestabilidad estructural (mm)	13	1.16	1.78	0.01
Infiltración (mm/h)	27	44.2	30.2	0.01

NS: no significativa

Resistencia mecánica

Para la variable resistencia mecánica se obtuvieron distintos números de comparaciones de acuerdo al estrato de suelo analizado (Tabla 2). Hasta el estrato de 0-15 cm de profundidad, los suelos bajo SD presentaron mayor resistencia (1.13 MPa) que los suelos bajo labranza (0.79 MPa), en promedio la resistencia mecánica fue 30% mayor en suelos bajo SD respecto de los suelos bajo CR. Los valores máximos y mínimos de ese estrato fueron 2.4-0.27 MPa y 1.86-0.14 MPa para SD y CR, respectivamente. Por debajo de los 15 cm de profundidad, la resistencia mecánica fue similar entre sistemas de labranza (Tabla 2). En ambos manejos, la resistencia mecánica de los suelos aumentó con la profundidad de medición. Las diferencias en resistencia mecánica por efecto de la labranza no se relacionaron ni con los años de experimentación ni con la textura de los suelos. La resistencia mecánica de los estratos 0-5, 5-10 y 10-15 cm, se relacionó estrechamente con la resistencia bajo CR (Fig. 3). La recta de ajuste obtenida se ubicó por arriba y paralela a la línea 1:1, determinando que cada valor de resistencia mecánica bajo CR se corresponda con un valor mayor de resistencia mecánica bajo SD. La función obtenida presentó ordenada positiva y mayor que cero, por lo tanto, el impacto de la SD sobre la resistencia del suelo fue proporcionalmente mayor para las situaciones con menor resistencia mecánica respecto de las de mayor resistencia. Si bien, bajo SD el incremento en la dureza del suelo fue importante, muy pocas situaciones presentaron valores de resistencia mayores al umbral propuesto por la bibliografía (>2 MPa). La SD aumentó la dureza de los suelos, sin embargo por la magnitud de los valores alcanzados no se esperarían importantes efectos negativos sobre el crecimiento de las raíces de los cultivos.

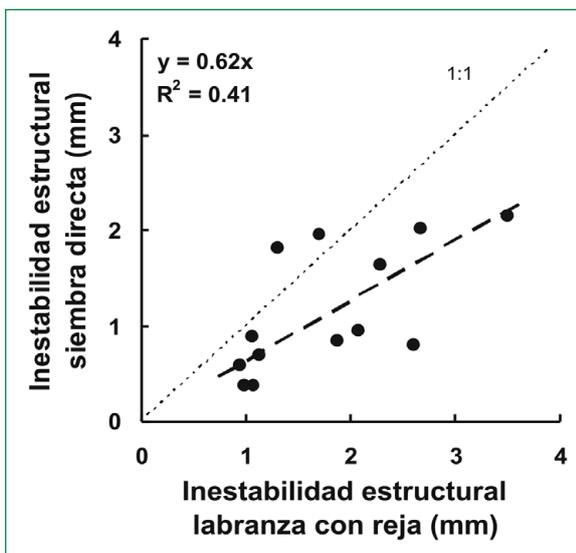


Figura 4. Relación entre la inestabilidad estructural bajo SD y CR.

Inestabilidad estructural

Se obtuvieron 13 comparaciones de inestabilidad estructural entre SD y CR, donde los suelos bajo SD presentaron en promedio valores de inestabilidad menor, 1.16 mm, respecto de los suelos bajo CR, 1.78 mm (Tabla 2). Los valores máximos y mínimos para SD y CR fueron de 2.15 -0.38 mm y 3.5-0.94 mm respectivamente. La inestabilidad bajo SD se relacionó con la inestabilidad bajo CR, el ajuste obtenido presentó ordenada igual a cero y pendiente menor que 1, determinando que los suelos bajo SD fueran aproximadamente un 40% más estables respecto de las situaciones bajo CR (Fig. 4). Las diferencias en inestabilidad estructural entre CR y SD no se relacionaron con la textura de los suelos, pero si se relacionaron con la duración de los experimentos ($R^2 = 0.56$, $n=13$ $p < 0.05$), cuanto más años bajo SD la inestabilidad de los suelos fue menor. La no disrupción del suelo por labores mecánicas y la acumulación de materia orgánica (Steinbach y Alvarez, 2006) en los estratos superiores son algunas de las causas asociadas a la mayor estabilidad estructural en SD. En consecuencia, bajo SD se incrementa la estabilidad del sistema de poros determinando una mayor resistencia a la erosión y al planchado, y favoreciéndose además el estado hídrico del suelo.

Infiltración

Se obtuvieron 27 comparaciones para la variable infiltración, el promedio de las cuales mostró que bajo SD la tasa de infiltración fue mayor respecto de la CR (Tabla 2). La relación entre la infiltración bajo SD y CR, indicó que en las situaciones sin labranza la infiltración es aproximadamente un 40% mayor respecto de las situaciones labradas con reja (Fig. 5). No se pudo establecer relaciones con la textura

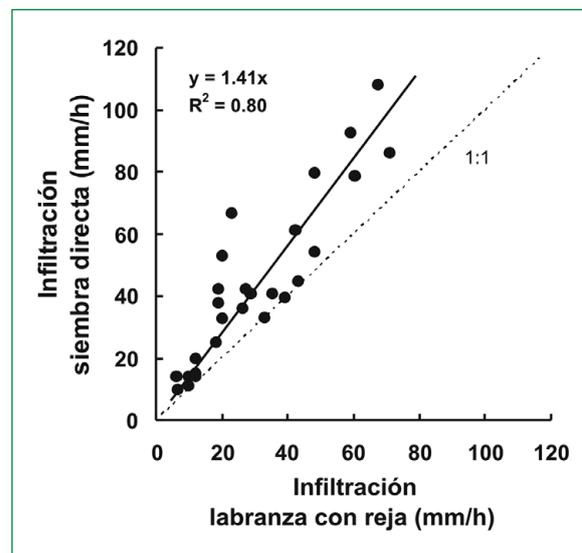


Figura 5. Relación entre la infiltración bajo SD y reja.

del suelo debido a que se contó con pocos sitios de distinto origen para el análisis, en su mayoría fueron de textura fina. Las diferencias en infiltración entre sistemas de labranza se relacionaron positivamente con la duración de los experimentos ($R^2 = 0.21$, $n = 27$, $p < 0.05$). Cuantos más años bajo SD mayor fue el incremento en la tasa de infiltración del suelo. El importante aumento en la tasa de infiltración por adopción de SD, probablemente asociado a la mayor estabilidad del suelo, tendría un efecto positivo tanto por la menor pérdida de suelo debido a un menor escurrimiento superficial, y por la mayor disponibilidad de agua para el crecimiento de los cultivos.

CONCLUSIONES

La información aquí presentada, muestra que bajo SD la densidad aparente del suelo es mayor respecto de las situaciones labradas, sin embargo, a nivel agronómico, el impacto es bajo especialmente en los suelos de textura más gruesa. En este sentido, la porosidad de los suelos de textura fina se vería levemente disminuida, por adopción de SD y en menor medida aún en los suelos de textura más gruesa. Contrariamente, el impacto sobre la dureza del suelo fue mayor. Bajo SD, los suelos presentaron mayor dureza respecto de los labrados con reja, independientemente de la textura del suelo. Pocas situaciones presentaron valores de resistencia superiores a 2 MPa, por lo que debería investigarse con mayor profundidad en que medida los umbrales críticos propuestos para esta variable son aplicables a los suelos de la región. El aumento en la estabilidad estructural y el incremento en la tasa de infiltración del suelo por adopción de SD fueron agronómicamente significativos (40%), determinando que los suelos bajo este manejo sean menos susceptibles a la erosión hídrica y "planchado" y, en consecuencia, puedan almacenar mayor cantidad de agua para los cultivos.

AGRADECIMIENTO:

Este trabajo fue subsidiado por la Universidad de Buenos Aires (UBACyT G004) y CONICET (PIP 02050).

BIBLIOGRAFÍA

- AAPRESID. 2006. Asociación Argentina de Productores en SD. www.aapresid.org.ar.
- Alvarez R. y H.S. Steinbach. 2006. Manejo agronómico y disponibilidad de nitrógeno en el suelo, Capítulo 11. En: *Materia Orgánica: valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos*. Editor: Roberto Alvarez. Editorial Facultad de Agronomía, UBA. Pág. 137-164.
- Buschiazio D.E., J.L. Panigatti y P.W.Unger. 1998. Tillage effects on soil properties and crop production in the subhumid and semiarid Argentinean Pampas. *Soil Till. Res.* 49: 105-116.
- Díaz Zorita M., G.A. Duarte y J.H. Grove. 2002. A review of no till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 65: 1-18.
- Ferreras L.A., J.L. Costa, F.O. García y C. Pecorari. 2000. Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern Pampa of Argentina. *Soil Till. Res.* 54, 31-39.
- Glinski J. y J. Lipiec. 1990. *Soil Physical conditions and plant roots*. CRC Press Inc. Boca Ratón, Florida, USA. 250 pp.
- Gupta S.C. y R.R. Allmaras. 1987. Models to asses the susceptibility of soils to excessive compaction. *Adv. Soil Sci.* 6: 65-100
- Jones C.A. 1983. Effect of soil texture on critical bulk densities for root growth. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47. 1208-1211.
- Steinbach H.S. y R. Alvarez. 2006. Changes in Soil Organic Carbon Contents and Nitrous Oxide Emissions after Introduction of No Till in Pampean Agroecosystems. *J Environ Qual.* 35:3-13
- Wischmeier W.H. y D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. USDA, *Supersedes Agriculture Handbook 282*, USA, pág 58. 

Suscripción



Si Ud. desea recibir Informaciones Agronómicas del Cono Sur, por favor complete el cupón y envíelo por correo, fax o correo electrónico a:

IPNI Cono Sur, Av. Santa Fe 910, (B1641ABO) Acassuso, Argentina

Tel./Fax: (54) 011-4798-9939 Correo Electrónico: lpisauri@ipni.net

Nombre y Apellido:

Institución o Empresa:

Principal Actividad:

Calle: Nro.: C.Postal:

Localidad: Provincia:

E-mail: Teléfono:

¡MUCHAS GRACIAS!

REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES. ABSORCIÓN Y EXTRACCIÓN DE MACRONUTRIENTES Y NUTRIENTES SECUNDARIOS

I. CEREALES, OLEAGINOSOS E INDUSTRIALES

Ignacio A. Ciampitti y Fernando O. García

IPNI Cono Sur. Av Santa Fe 910, Acassuso, Buenos Aires, Argentina.

iciampitti@ipni.net

El diagnóstico de fertilidad de los cultivos requiere de un conocimiento previo de los niveles de absorción y extracción en el órgano cosechable para el logro de un rendimiento objetivo. Es importante tener siempre presente la diferencia de forma terminológica que existe entre el significado de las palabras, "absorción" y "extracción" de los cultivos. Se entiende por absorción la cantidad total de nutrientes absorbidos por el cultivo durante su ciclo de desarrollo. El término extracción, es la cantidad total de nutrientes en los órganos cosechados: grano, forraje u otros. La diferencia entre los términos es significativa al momento de las recomendaciones de fertilización bajo el criterio de reposición. La reposición utilizando la absorción del cultivo implica la aplicación de todos los nutrientes que fueron tomados por el cultivo y que se encuentran presente en todos sus tejidos y órganos, cosechables y no cosechables. Sin embargo, la práctica de fertilización por los niveles de extracción de los cultivos, generalmente la más utilizada, sólo busca reponer los nutrientes que son absorbidos y depositados en tejidos y órganos cosechables, y que por lo tanto no son reciclados debido a que no vuelven a ingresar al sistema suelo.

Los requerimientos de absorción y extracción se expresan en términos de kg de nutrientes por tonelada de grano u órgano cosechable, siempre en base seca. Es importante destacar la variabilidad de resultados cuando las concentraciones de los nutrientes en granos se expresan con diferentes porcentajes de humedad, sin la corrección necesaria. Para comprender

este concepto, utilizamos un ejemplo sencillo, el caso del cultivo de maíz con la humedad comercial (Hc) de 14.5%, para un rendimiento objetivo de 12.000 kg/ha (Rto). La cantidad de materia seca (MS) en una tonelada (tn) de maíz a 14.5% de humedad es de 0.873 tn, según la siguiente fórmula $MS = MH * (100 / (100 + \% \text{Humedad}))$. Entonces para 12 tn de maíz, con la Hc de 14.5%, la extracción total de nitrógeno (N) sería:

1. Extracción total N (kg/ha) = $Rto \text{ (tn/ha)} * 100 / (100 + \% Hc) * \text{Extracción N grano (kg/tn)}$
2. Extracción total N (kg/ha) = $12 \text{ tn/ha} * 100 / (100 + 14.5) * 15 \text{ kg/tn}$
3. Extracción total N (kg/ha) = 157.2 kg N/ha

Si se considera directamente la concentración de N en grano por el rendimiento, se hubiera estimado una extracción de 180 kg N/ha ($12 \text{ tn/ha} * 15 \text{ kg/tn}$). Por lo tanto, es necesario observar bien los valores de los análisis de laboratorio para conocer si se encuentran expresados en base seca, o si es necesario realizar la corrección mencionada con antelación.

Los requerimientos nutricionales de los cultivos varían con el nivel de producción (fertilización y tecnología de manejo de cultivos), suelo, clima y ambiente, por lo que es necesario aclarar que los valores publicados en este archivo son orientativos. La información reportada fue extraída de variada bibliografía. Para orientación del lector se citan todas las fuentes consultadas.

En el presente Archivo Agronómico (AA), focaliza-

Tabla 1. Cereales: cantidad de nutriente total absorbido y extraído en grano expresado en kg de nutriente por tonelada de grano base seca.

Cultivos	Nombre Científico	Absorción Total (kg/ton)						Extracción en Grano (kg/ton)					Fuente	
		N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg		S
Trigo	<i>Triticum aestivum</i> L.	30	5	19	3	4	5	21	4	4	0.4	3	2	5,10,11 y 14
Maíz	<i>Zea mays</i> L.	22	4	19	3	3	4	15	3	4	0.2	2	1	5,10,11 y 14
Arroz	<i>Oryza sativa</i> L.	22	4	26	3	2	1	15	3	3	0.1	1	0.6	1 y 11
Cebada	<i>Hordeum vulgare</i> L.	26	4	20	-	3	4	15	3	5	-	1	2	1,10,11 y 14
Sorgo granífero	<i>Sorghum bicolor</i> L.	30	4	21	-	5	4	20	4	4	0.9	1	2	10,11 y 14
Centeno	<i>Secale cereale</i> L.	26	4	18	-	-	-	15	3	5	-	-	-	10
Avena	<i>Avena sativa</i> L.	34	5	20	-	6	6	20	3	3	-	1	1.8	1,10,11 y 14

- Datos no disponibles

mos los requerimientos de N, fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S), en los principales cultivos extensivos, abarcando cereales, leguminosas, oleaginosas e industriales. En un próximo AA se presentará la información compilada de absorción y extracción de nutrientes en cultivos forrajeros, hortalizas y frutales.

CEREALES

La información de los cultivos de arroz, avena, cebada, centeno, maíz, sorgo granífero y trigo, se presenta en la Tabla 1, donde se observan los requerimientos de absorción total y su correspondiente extracción en los órganos cosechables.

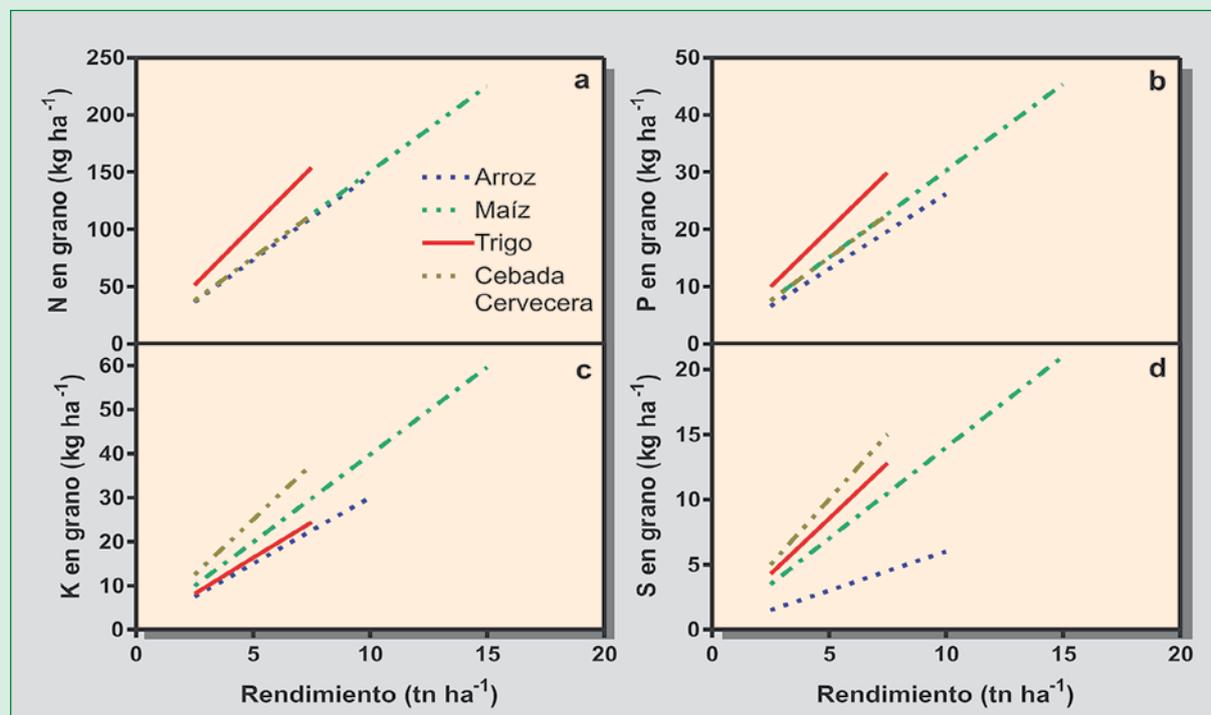


Figura 1. Extracción de nutrientes, N (a), P (b), K (c) y S (d) para distintos niveles de rendimiento de los cereales: arroz, maíz, trigo y cebada cerveza.

Tabla 2. Leguminosas y Oleaginosas: Cantidad de nutriente total absorbido y extraído en los órganos cosechables expresado en kg de nutriente por tonelada de órgano cosechable (grano o fruto, éste último para el caso de maní y olivo) en base seca.

Cultivos	Nombre Científico	Absorción Total (kg/ton)						Extracción en Grano o Fruto (kg/ton)						Fuente
		N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S	
Soja	<i>Glycine max L.</i>	75	7	39	16	9	4	55	6	19	3	4	3	1,3,5,6,11 y 14
Girasol	<i>Helianthus annus L.</i>	40	11	29	18	11	5	24	7	6	1	3	2	1,2, 11 y 14
Colza/Canola	<i>Brassica napus L.</i>	60	15	65	33	10	12	38	11	28	-	-	7	5, 10 y 14
Lino	<i>Linum usitatissimum L.</i>	45	12	-	-	-	-	30	6	8	2	0.9	3	9, 10 y 14
Maní	<i>Arachis hypogaea L.</i>	69	7	35	19	-	4	44	4	11	2	-	3	1
Olivo	<i>Olea europaea L.</i>	16	5	17	-	-	-	12	2	7	-	-	-	10
Cartamo	<i>Carthamus tinctorius L.</i>	35	5	23	-	-	-	27	4	5	-	-	-	10 y 13
Poroto	<i>Phaseolus vulgaris L.</i>	-	-	-	-	-	-	35	4	15	3	3	5	10
Haba	<i>Vicia faba L.</i>	62	7	33	-	-	-	37	3	12	-	-	-	10
Garbanzo	<i>Cicer arietinum L.</i>	-	-	-	-	-	-	46	4	33	15	7	6	10
Lenteja	<i>Lens culinaris</i>	65	8	40	-	-	-	53	5	35	-	-	-	1 y 8
Mostaza	<i>Brassica juncea L.</i>	56	-	-	-	-	-	40	-	-	-	-	-	9

- Datos no disponibles

La Figura 1 nos muestra los diversos niveles de extracción de N, P, K y S en grano para rendimientos crecientes de arroz, maíz, trigo y cebada cervecera. En el caso de N y P, el trigo presenta los mayores niveles de extracción por tonelada de grano producida (Fig. 1 a y b), La extracción de K y S en grano es superior en cebada cuando se expresa en kg de nutriente por tonelada producida. Las extracciones totales para los cuatro nutrientes analizados son mayores en maíz, cuando se expresa en kg por hectárea, con respecto a los demás cultivos dada la mayor producción por unidad de superficie (ha).

LEGUMINOSAS Y OLEAGINOSAS

Los cultivos clasificados como leguminosas y oleaginosas: soja, girasol, colza, lino, maní, olivo,

cartamo, poroto, haba, garbanzo, lenteja y mostaza, se presentan en la Tabla 2, donde se observan los requerimientos de absorción total durante todo el ciclo de crecimiento y su correspondiente extracción en los órganos cosechables.

Los niveles de extracción en grano de N, P, K y S, para rendimientos crecientes de soja, girasol, maní y colza/canola, se muestran en la Figura 2. En el caso de N y K, el cultivo de soja presenta los mayores niveles de extracción por tonelada de grano producida, y también en cantidad total que se exporta cuando la extracción la expresamos en términos de kg de nutriente en grano cosechado por hectárea (Fig. 2 a y c). Cabe destacar que los cultivos de soja y maní establecen una simbiosis con bacterias del género *Bradyrhizobium* y *Rhizobium*, que le permite captar N₂ del aire, a través del proceso de fijación biológica

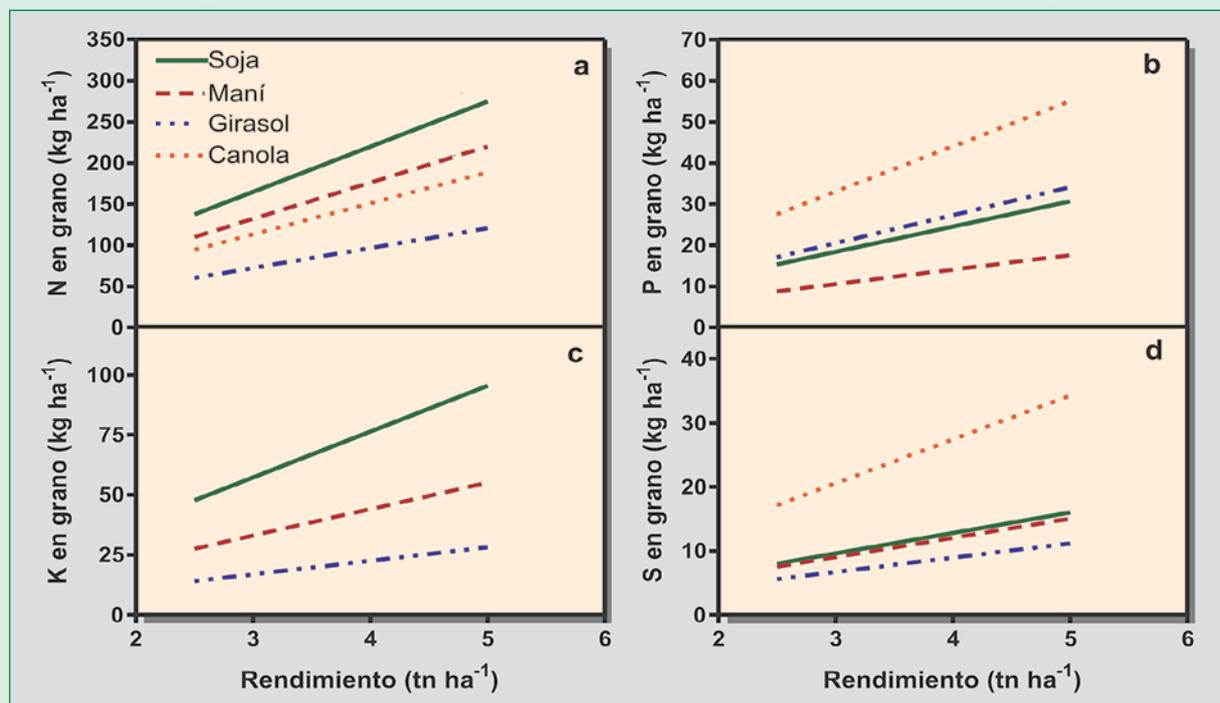


Figura 2. Extracción de nutrientes, N (a), P (b), K (c) y S (d) para distintos niveles de rendimiento de los cultivos oleaginosos: soja, maní, girasol y colza.

Tabla 3. Cultivos Industriales: Cantidad de nutriente total absorbido y extraído expresado en kg de nutriente por tonelada de grano cosechable en base seca

Cultivos	Nombre Científico	Organo Cosechable	Absorción Total (kg/ton)					Extracción Total (kg/ton)					Fuente		
			N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca		Mg	S
Algodón	<i>Gossypium spp.</i>	Fibra	150	25	100	-	24	25	70	13	33	-	-	12	7,8,11 y 15
Caña de azúcar	<i>Saccharum officinarum L.</i>	Caña (Materia Seca)*	5	1.3	6	-	0.9	0.4	3.4	0.6	3	0.5	0.5	0.2	1,14 y 16
Remolacha azucarera	<i>Beta vulgaris L.</i>	Raíz	4	2	10	-	1	0.4	2	2	2	-	0.6	0.2	10
Café	<i>Coffea arabica L.</i>	fruto	24	2	19	2	1	1	5	0.5	6	-	-	-	1 y 10
Te	<i>Camellia L.</i>	hoja seca	21	3	8	5	2	-	9	2	3	1	0.6	-	10
Yerba mate	<i>Ilex paraguayensis</i>	hoja seca	-	-	-	-	-	-	9	0.6	6	1	1	-	12
Tabaco	<i>Nicotiana tabacum L.</i>	hoja seca	65	9	100	36	8	10	32	6	36	30	4	5	10,11 y 14

*En la absorción se considera raíces y partes aéreas, y en la extracción sólo la parte aérea. - Datos no disponibles

de nitrógeno. Para P y S, el cultivo de colza/canola es el que presenta el mayor grado de extracción a nivel de kg por tonelada producida y en su totalidad en producción por unidad de superficie (Fig. 2 b y c).

INDUSTRIALES

Los cultivos clasificados como industriales: algodón, caña de azúcar, remolacha azucarera, café, te, yerba mate y tabaco, se presentan en la Tabla 3, donde se observan los requerimientos de absorción total durante todo el ciclo de crecimiento y su correspondiente extracción en los órganos cosechables.

En la Figura 3 podemos observar los niveles de requerimientos de N, P, K y S expresados en términos de extracción en los órganos cosechables, para rendimientos crecientes de algodón, caña de azúcar, remolacha azucarera y tabaco. La extracción de los cuatro nutrientes por tonelada de órgano cosechable en base seca y como exportación a nivel de producción por unidad de superficie, es superior en los cultivos de tabaco y algodón (Fig. 3). En el caso de los cultivos de remolacha azucarera y caña de azúcar, la extracción es inferior cuando son comparados con respecto al tabaco y algodón, cultivos exigentes en requerimiento de nutrientes.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Bertsch F. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. San José, Costa Rica, ACCS-Universidad de Costa Rica-CIA. pág. 62-105.
- Blamey F.C., R.K. Zollinger y A.A. Schneiter. 1997. Sunflower Production and Culture. En Sunflower Technology and Production, Agronomy Monograph N° 35, 595-670.
- Ferraris GN. 2004. Pautas para el diagnóstico de la fertilidad azufrada en Soja (*Glycine Max (L) Merr.*). Tesis de Maestría (UBA).

- Universidad de Buenos Aires-Facultad de Agronomía.
- Figeroa M.M. 1997. Colza-Canola y Lino. La Fertilización de cultivos y pasturas. En: R. Melgar y M. D. Zorita (eds.) Editorial INTA. Argentina. En: R. Melgar y M. D. Zorita (eds.) La Fertilización de cultivos y pasturas. Editorial INTA. Argentina. pág. 147-160.
- García F.O., M. Boxler, J. Minteguiaga, R. Pozzi, L. Firpo, G. Deza Marin y A. Berardo. 2006. La Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe – Resultados y Conclusiones de los primeros seis años 2000-2005. AACREA 2006.
- Gutiérrez Boem F.H., M. Barraco, H. Echeverría, G. Ferraris, P. Prystupa, A. Quiroga, F. Salvagiotti y H. Vivas. 2006. Identificación de sitios deficientes en azufre mediante el análisis de grano de soja. III Congreso de Soja del Mercosur. Rosario, Argentina. pág. 570-573.
- Halevy J. y M. Bazelet. 1992. Fertilización del Cultivo de Algodón para rendimientos altos. IPI-INPOFOS. pág. 16-30.
- Halevy J., A. Marani y T. Markovitz. 1987. Growth and NPK uptake of high-yielding cotton grown at different nitrogen levels in a permanent-plot experiment. *Plant and soil*. 103: 39-44.
- Hocking P.J., J.A. Kirkegaard, J.F. Angus, A. Bernardi y L.M. Mason. 1993. Comparison of canola, Indian mustard and Linola in two contrasting environments. III Effects of nitrogen fertilizer on nitrogen uptake by plants and on soil nitrogen extraction. *Field Crops Res.* 79:153-172.
- IFA. 1992. World Fertilizer Use Manual. International Fertilizer Industry Association. Paris, France. pág. 37-550.
- INPOFOS. Informaciones agronómicas del cono sur N° 4. Archivo agronómico N°3: Requerimiento nutricionales de los cultivos. Diciembre 1999.
- INTA Cerro Azul - Misiones. <http://www.inta.gov.ar>. Consultada 15/11/06.
- IPI. <http://www.ipipotash.org/>. Consultada el 20/12/06.
- IPI NorthCentral-USA. <http://www.ipni.net/ppiweb/usanc.nsf>. Consultada el 5/01/07.
- IPNI SouthEast-USA. <http://www.ipni.net/ppiweb/usams.nsf>. Consultada el 25/01/07.
- Pérez Zamora F. 2006. Caña de azúcar. Pág. 379-397. En: H.E. Echeverría y F.O. García (eds.). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina.

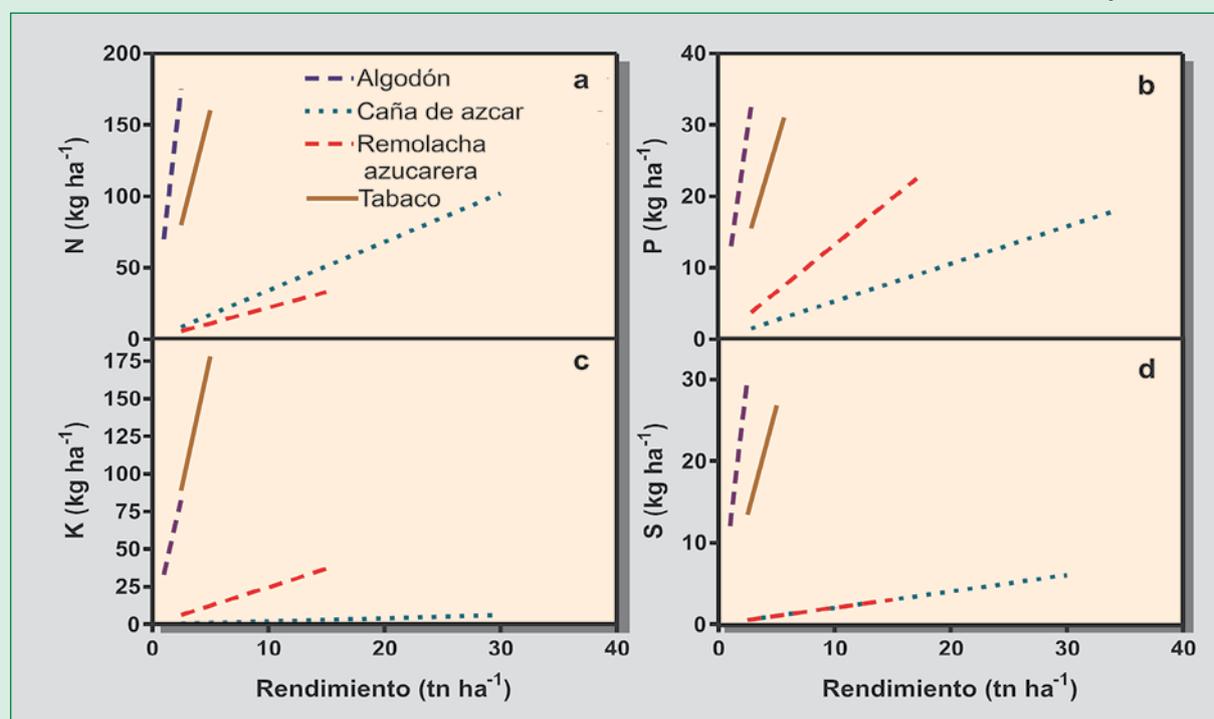


Figura 3. Extracción de nutrientes, N (a), P (b), K (c) y S (d) para distintos niveles de rendimiento de los cultivos industriales: algodón, caña de azúcar, remolacha azucarera y tabaco. Rendimientos expresados en base a materia seca de los órganos cosechables.

RESPUESTA DE MAÍZ A FERTILIZACIONES DEFINIDAS CON DIFERENTES CRITERIOS DE RECOMENDACIÓN

Carlos Perdomo¹ y Guillermo Cardellino²

¹Universidad de la República, Facultad de Agronomía. Garzón 780, Montevideo, Uruguay, CP12900.

²Ing. Agr., Consultor Privado.

chperdom@fagro.ed.uy

INTRODUCCIÓN

La recomendación de dosis de nutrientes no es una ciencia exacta, y tanto en el ambiente académico como productivo existen diferentes visiones sobre los criterios de fertilización. Para los seguidores del criterio de “subir y mantener”, la dosis a aplicar debería ser aquella que permita llegar rápidamente al nivel óptimo de un nutriente en el suelo para un cultivo determinado, y de ahí en adelante, la necesaria para reponer la cantidad del nutriente extraída por el cultivo (Olson *et al.*, 1982). Los seguidores de este criterio asumen, explícita o implícitamente, que la absorción del cultivo sería la principal vía de salida de nutrientes del suelo, y que luego de llegar al nivel óptimo, la capacidad de fijación de nutrientes del suelo va a estar relativamente saturada. Una limitante de este criterio, también conocido como de “fertilización del suelo”, es que la extracción de nutrientes debe estimarse del rendimiento del cultivo, el cual no se conoce hasta la cosecha, y de valores constantes de concentración de nutrientes del grano, los cuales en realidad varían. Además, muchas veces se tiende a sobreestimar este rendimiento meta, ya que la expectativa natural de cualquier productor o técnico es obtener altos rindes. Una ventaja de este criterio es que luego de llegar al nivel óptimo, no sería necesario realizar análisis periódicos de suelo.

Otra corriente de pensamiento considera que la fertilización debe basarse siempre en el análisis del suelo; se debería fertilizar con un nutriente cuando el valor de análisis sea inferior al “crítico”. En este caso, la dosis de aplicación debería ser la que permita elevar el nivel actual hasta ese “nivel crítico” (Olson *et al.*, 1982). Este criterio también se conoce como de “fertilización del cultivo” (Black, 1993), porque la dosis se define en base al análisis de suelo para cada cultivo de la rotación. Una desventaja práctica del mismo es que el tiempo e inversión destinados al muestreo compiten muchas veces con los disponibles para las labores de preparación del suelo y siembra.

Los conceptos de nivel óptimo y crítico de cada uno de estos criterios son similares, aunque los seguidores del primer criterio muchas veces prefieren basarse en umbrales mayores, porque sostiene que aun

cuando el nivel promedio de un sitio sea cercano al crítico, pueden existir en su interior zonas ocultas con deficiencia.

El concepto de “subir y mantener” se adapta mejor para el caso del potasio (K) y del fósforo (P), ambos nutrientes inmóviles. En el caso de un nutriente móvil como el nitrógeno (N), en cambio, este criterio no resulta lógico, ya que “fertilizar el suelo” incrementaría el riesgo de pérdidas. Por consiguiente, se ha propuesto ajustar la fertilización nitrogenada en base al “balance de N”; la dosis se estima de la diferencia entre la demanda del cultivo y la oferta que realiza el suelo para cada cultivo (Standford, 1973). La oferta del suelo se ha estimado de varias maneras, que van desde el otorgamiento de créditos según el cultivo anterior, tipo de suelo, fertilización previa, etc., hasta la

Los criterios de fertilización que recomendaron la aplicación de altas dosis de nutrientes produjeron rendimientos similares de maíz, pero retornos económicos inferiores a otros más “conservadores”, que recomendaron dosis menores.

cuantificación del N mineral inicial presente en la siembra y la estimación del N mineralizado durante la estación de crecimiento (Black, 1993). La demanda de N, como en el caso anterior, se estima del potencial de rendimiento del cultivo. Sin embargo, algunos autores no han encontrado una relación clara entre el nivel de rendimiento y la

dosis óptima de N (Blackmer *et al.*, 1997), ya que frecuentemente los suelos con mayor potencial de rendimiento son también capaces de aportar más N, por lo que han propuesto realizar recomendaciones de N exclusivamente en base a índices de suelo, sin considerar el potencial de rendimiento. Este último criterio resulta equivalente al de “nivel crítico”. Un ejemplo sería el test de $N-NO_3^-$ en el suelo para maíz al estadio de seis hojas (V6), desarrollado para el medio-oeste de EE.UU (Blackmer *et al.*, 1989; Fox *et al.*, 1989; Meisinger *et al.*, 1992; Klausner *et al.*, 1993).

En Uruguay, las recomendaciones de fertilización de maíz para N, P y K de los centros de investigación, como la Facultad de Agronomía (FAGRO) y el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) se han basado mayormente en el concepto de “nivel crítico”. Para N, se ha utilizado el test de NO_3^- de suelo en V6, validado para Argentina (Melchiori *et al.*, 1996; García *et al.*, 1997; Ferrarri *et al.*, 2000; Sainz Rozas *et al.*, 2000) y Uruguay, donde se estableció un rango

crítico de 17 a 19 ppm de N para los primeros 20 cm del suelo (Perdomo *et al.*, 1998).

El ajuste de la fertilización fosfatada se basa en el valor pre-siembra del test Bray-1 (Bray y Kurtz, 1945), habiéndose adoptado el nivel crítico y las recomendaciones de fertilización desarrolladas en Argentina (Echeverría y García, 1998; Ferrari *et al.*, 2000; Berardo *et al.*, 2001). Los niveles críticos de K, que dependen de la textura del suelo, han sido adaptados de los provenientes del medio-oeste de EE.UU. (Cope y Rouse, 1973; Mallarino y Blackmer, 1994). Como la mayoría de los suelos de Uruguay tienen concentraciones de K intercambiable por encima de estos niveles, generalmente no se considera necesaria la fertilización potásica. Sin embargo, Morón y Baetghen (1996) reportaron que la concentración de K de hoja de cultivos de maíz de Uruguay fue generalmente inferior al nivel considerado crítico por algunos autores de otros países, por lo que podrían existir situaciones de deficiencia oculta de este nutriente, no detectadas por el análisis de suelo.

La recomendación de micronutrientes de algunos laboratorios, como el de la Estación Experimental "La Estanzuela" del INIA (Lab.-EELA), se ha basado en la metodología analítica y en los criterios de recomendación del Estado de San Pablo, Brasil (Galvão, 2002). Existen dudas, sin embargo, sobre la confiabilidad de las mismas, debido a las diferencias de suelos entre ambas regiones.

En la realidad productiva, la mayoría de las recomendaciones de fertilización no son efectuadas por los investigadores, sino por consultores privados, técnicos de cooperativas, vendedores de insumos y por los propios productores. Actúan también laboratorios privados de países desarrollados, que generalmente

recomiendan fertilizar con muchos nutrientes y con altas dosis, recomendaciones que frecuentemente no coinciden con los resultados de la investigación local e internacional. Esta situación genera una amplia gama de recomendaciones, lo que no implica que todas ellas sean igualmente válidas. Esta variabilidad de recomendaciones crea una gran confusión entre productores y técnicos acerca de qué criterio de fertilización adoptar. El objetivo de este trabajo fue comparar distintas recomendaciones de fertilización de maíz existentes en forma explícita o implícita en Uruguay y en otros países, utilizando como variables principales de comparación el rendimiento de grano y el retorno económico neto por fertilización. Todas estas evaluaciones se realizaron dentro de cultivos comerciales de maíz, manejados por el productor con una adecuada tecnología

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante las Zafra I (1999-2000), II (2000-2001), y III (2001-2002), se instalaron 12 ensayos de fertilización en plantíos comerciales de maíz ubicados en el litoral oeste de Uruguay. El término sitio se refiere a la combinación de lugar y zafra de cada ensayo. La Tabla 1 incluye información relevante acerca de cada sitio.

De cada sitio, se recolectaron muestras en pre-siembra y V6, a una profundidad de 20 cm. para cada uno de los tratamientos analizados, a los cuales se les realizaron las determinaciones que figuran en la Tabla 2. Las muestras en pre-siembra fueron compuestas, enviándose una submuestra al Laboratorio de la Estación Experimental INIA La Estanzuela (EELA) para su análisis químico y otra submuestra a un labo-

Tabla 1. Información sobre fechas de siembra y cosecha, población de plantas, manejo anterior, y textura del suelo de los distintos sitios.

Zafra	Sitio	Fecha de siembra	Fecha de cosecha	Población (miles de plantas ha ⁻¹)	Cultivo y laboreo previo†	Textura del suelo‡
I	1-I	13/10/00	19/04/01	SD§	SSD	FAr
	2-I	30/09/00	03/04/01	SD	MLab	FAC
	3-I	06/11/00	10/04/01	SD	MLab	FL
	4-I	15/11/00	28/04/01	SD	MLab	FL
II	1-II	25/10/01	30/04/02	75	MLab	FACAr
	2-II	02/11/01	09/04/02	65	SSD	FAC
	3-II	11/12/01	15/07/02	60	MLab	FL
	4-II	05/01/02	09/09/02	55	MLab	FL
III	1-III	30/09/02	15/03/03	60	MLab	FAr
	2-III	28/09/02	15/04/03	65	SSD	FAC
	3-III	17/10/02	09/04/03	60	MLab	FL
	4-III	10/12/02	06/08/03	50	MLab	FL

† SSD = Soja en siembra directa, MLab = maíz con laboreo.

‡ FAr = Franco arenoso, FAC = Franco arcilloso, FL = Franco limoso, FACAr = Franco arcillo arenoso.

§ SD = sin datos.

ratorio comercial de EE.UU. con representación local. Una tercer submuestra fue enviada al laboratorio de Fertilidad de Suelos de FAGRO (Lab. FSFA), para el análisis de NO_3^- . En V6 se recolectaron muestras de suelo por tratamiento de la profundidad de 0-20 cm, las que también fueron enviadas a este último laboratorio para análisis de NO_3^- . En todos los casos, las muestras fueron identificadas con el nombre del productor y no se explicitó que eran parte de un experimento.

Descripción de los tratamientos de fertilización

Los resultados analíticos de las muestras de suelo (Tabla 2) fueron utilizados para realizar cuatro recomendaciones de fertilización (RDF) con N, P, K, S y micronutrientes. Dos de estas RDF se originaron en información local o regional, por lo que fueron denominadas URU1 y URU2. Las otras dos se originaron en EE.UU. y se denominaron USA1 y USA2. Estas cuatro recomendaciones fueron consideradas como tratamientos. Se incluyó también un tratamiento Testigo, el cual no se fertilizó con ningún nutriente. El tratamiento URU1 corresponde a la RDF realizada por los autores de este trabajo. Está basada en el concepto del "nivel de suficiencia"; solamente se realizan recomendaciones para N, P y K en base a indicadores de suelo sin corregir por potencial de rendimiento del cultivo. El ajuste de N se hace en función de características del sitio y de la concentración de NO_3^- a V6 (Perdomo, 2000). La recomendación de P se basa en una modificación de la calibración el método de Bray-1 realizada en Argentina por Echeverría y García (1998), en la cual se considera un nivel crítico de 15 ppm de P. La fertilización con K se ajustó en base a una calibración no publicada (Zamalvide y Hernández, com. pers.) de K intercambiable del suelo, cuyo nivel crítico es de 0,30 meq. 100 g^{-1} de suelo para texturas más finas que franco-arenosa y de 0,25 meq. 100 g^{-1} para texturas franco-arenosa ó más gruesa. Esta RDF tiene el objetivo de recomendar dosis cercanas pero inferiores a las asociadas al rendimiento máximo, evitando deseconomías y problemas de contaminación ambiental por sobrefertilización. El tratamiento URU2 es igual a URU1 para N y P, pero incluye también recomendaciones para Mg y micronutrientes (Zn, Fe) según Galvão (2002). Además, el nivel crítico de K en el suelo de URU2 es superior al de URU1 (0,50 versus 0,25 ó 0,30 meq. 100 g^{-1}), tal como parecen sugerir los resultados de Morón y Baetghen (1996). El tratamiento USA1 se refiere a las RDF que realiza un laboratorio privado de EE.UU. con presencia local, en base a un criterio no explicitado, pero basado probablemente en el de "mantenimiento". El tratamiento USA2 es el sistema de recomendación de la Universidad de Minnesota (Rhem et al., 2001). Para P y K,

USA2 combina los conceptos de "nivel de suficiencia" y de "subir y mantener", mientras que para N utiliza el de "balance". Los dos tratamientos "USA" requieren de la especificación de un rendimiento meta, que en este experimento fue de 12000 kg/ha.

La recomendación de N de los tratamientos "USA" se basó solamente en información analítica de suelos previo a la siembra, mientras que en caso de los "URU" la misma se definió con los datos de V6, y se aplicó en ese momento, aunque a la siembra se aplicó una dosis starter menor o igual a 30 kg/ha. En el caso de los tratamientos "USA", un tercio de la dosis total de N se aplicó a la siembra y el resto a V6; la razón de este fraccionamiento fue evitar pérdidas de N en momentos de poca demanda por el cultivo.

Las RDF de los dos tratamientos "URU" y de USA2 fueron realizadas por los autores de este trabajo utilizando las pautas respectivas. La RDF de USA1, en cambio, fue realizada directamente por el propio laboratorio comercial en base a los resultados de las muestras de suelo enviadas al mismo. Esto crea una diferencia metodológica con otros trabajos similares, como los de Olson *et al.* (1982) en EE.UU. y de Ewanek en Canadá (citado por Black, 1993), ya que en estos casos la mayoría de las recomendaciones habían sido realizadas por laboratorios privados.

Siembra, fertilización y cosecha

Las tareas de siembra, fertilización y cosecha se realizaron con maquinaria comercial rentada a distintos productores. A la siembra, el fertilizante fue incorporado al suelo al costado y debajo de la hilera de semillas, excepto cuando se fertilizó con dosis altas de K donde el fertilizante fue aplicado presiembra al voleo e incorporado con disquera. Los micronutrientes y el Mg también se aplicaron presiembra mediante aspersión al suelo, previa disolución de los productos que los contenían en agua. En la Zafra III no se aplicaron micronutrientes. En V6, el N se aplicó al voleo sin incorporar. Las parcelas fueron de un área considerablemente superior a la de los ensayos tradicionales; el área fertilizada de cada tratamiento fue de 24 filas de ancho por 200 m de largo, aunque existieron variaciones menores en algunos sitios. El área de cosecha fue de 12 filas por 100 m de largo. El grano cosechado de cada parcela fue depositado en un contenedor de peso conocido, estimándose el rendimiento de la diferencia de peso del contenedor con y sin grano, ajustándose luego el rendimiento obtenido a 14,5% de humedad. Las fuentes de fertilizantes usadas para aplicar N, P, K y S fueron seleccionadas de las disponibles en el país, utilizándose principalmente fosfato diamónico, cloruro de potasio, superfosfato común, superfosfato triple y urea.

Estimación de índices de resultado económico

Los precios de fertilizantes utilizados en los cálculos económicos de fertilización fueron los vigentes en fechas cercanas a su aplicación. Los precios de los productos con micronutrientes fueron obtenidos de droguerías, pero como fueron demasiado elevados no se consideraron para calcular el costo de la fertilización. El precio del maíz fue cercano al vigente en cada zafra, 100 USD/ton para la primer zafra y 90 USD/ton para las otras dos.

El incremento de rendimiento por fertilización se calculó de la diferencia entre el rendimiento de cada tratamiento y el rendimiento del Testigo, mientras que el ingreso neto por fertilización se obtuvo multiplicando el incremento de rendimiento por el precio del maíz. El costo de fertilización con cada nutriente se estimó multiplicando el precio por la dosis, y el costo total de fertilización se obtuvo sumando los costos de todos los fertilizantes aplicados dentro de

una combinación de sitio y tratamiento. Finalmente, el retorno neto por fertilización (RNPF) se calculó de la diferencia entre el ingreso neto por fertilización y el costo total de la misma. Este índice económico permite detectar situaciones en que el incremento del valor del cultivo obtenido por fertilización es inferior a los gastos incurridos en fertilizante (Mallarino y Blackmer, 1992).

Análisis estadístico

El rendimiento y el RNPF fueron analizados por ANOVA usando un diseño de bloques completos al azar, en el cual cada sitio fue considerado como un bloque, y cada parcela de fertilización (y el Testigo para el rendimiento) fue asignada como tratamiento. El efecto de la zafra no fue considerado en este análisis. La suma de cuadrados de los tratamientos se dividió en contrastes ortogonales, y se realizó además un contraste no ortogonal entre URU1 y USA2

Tabla 2. Concentraciones de bases intercambiables (Ca, Mg, K), S-SO₄⁻, materia orgánica (MO), pH, micronutrientes (B,Fe,Mn,Zn), y P en muestras de suelo tomadas pre-siembra, así como concentraciones de N en forma de nitrato (N-NO₃⁻) a la siembra (S) y V6 en los tratamientos Testigo (Test), URU1 y URU2, para los distintos sitios experimentales.

Za- fra	Si- tio	Ca	Mg	K	MO	pH H ₂ O	S- SO ₄ ⁻	P Bray1	B	Fe	Mn	Zn	N-NO ₃ ⁻			
													S- Test	V6- Test	V6- URU1	V6- URU2
		meq 100 g ⁻¹			%		----- ppm -----									
I	1-I	9,66	1,59	0,21	2,2	5,5	7,5	18	0,41	119,6	19,4	2,1	11	13	27	24
	2-I	35,81	3,10	1,05	5,2	6,7	6,0	8	0,93	66,8	11,1	1,2	5	12	13	14
	3-I	9,10	2,38	0,61	3,9	5,9	3,2	9	0,72	278,5	34,5	3,2	9	SD	11	13
	4-I	9,20	2,43	0,38	2,8	6,2	4,1	11	0,91	172,7	24,8	2,7	7	SD	11	9
II	1-II	17,51	2,30	0,48	4,7	6,2	7,4	17	2,83	115,6	19,4	0,8	7	4	6	4
	2-II	19,93	2,81	0,84	6,8	5,8	12,2	7	2,93	85,5	11,1	1,2	17	8	10	9
	3-II	12,83	2,54	0,40	4,5	6,1	5,2	5	0,52	167,7	34,5	3,0	9	5	7	7
	4-II	9,35	2,38	0,19	2,3	6,0	15,9	19	0,90	180,7	24,8	2,3	4	4	6	6
III	1-III	8,01	2,03	0,42	2,5	5,9	6,1	3	0,51	241,1	44,5	1,9	25	18	23	24
	2-III	28,22	2,32	1,08	5,5	7,1	8,2	6	0,56	55,9	23,4	2,1	31	15	18	19
	3-III	13,81	2,53	0,73	3,6	6,1	11,5	7	0,52	167,7	34,5	3,0	21	15	19	22
	4-III	12,32	2,43	0,29	2,5	6,0	14,2	9	1,92	180,7	34,8	2,3	28	12	18	19

SD = sin datos.

Tabla 3. Dosis promedio de varios nutrientes aplicadas por cuatro tratamientos de fertilización. Los promedios corresponden a 12 sitios-año, producto de la combinación de 4 sitios y 3 zafras.

Tratamiento	Nutrientes						
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	Mg	B	Zn
----- kg/ha -----							
URU1	84	61	10	0	0	0	0
URU2	81	68	29	15	0	0	1
USA1	151	109	70	17	2	1	1
USA2	147	51	17	1	1	0	0

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dosis de nutrientes recomendadas

Existieron importantes diferencias de fertilización entre tratamientos para el promedio de las tres zafras. En el caso de N y P, las dosis promedio de URU1 y URU2 fueron similares, pero las de K y S fueron diferentes (Tabla 3). A su vez, la dosis promedio de P de USA2 fue levemente inferior a las de URU1 y URU2, pero la de N fue superior, y la de K intermedia. Debido a que en USA2 no se fertilizó con S, este tratamiento fue más similar a URU1 que a URU2. El tratamiento USA1 recomendó las mayores dosis de todos los nutrientes, por lo que según la terminología de Olson *et al.* (1982), sería el menos “conservador” de todos. Resulta importante señalar que las diferencias de fertilización entre URU1, URU2 y USA2 se debieron exclusivamente a diferencias de interpretación de los mismos datos analíticos, ya que los análisis de suelo fueron procesados en el mismo laboratorio. En el caso de USA1, en cambio, estos datos fueron diferentes, ya que los análisis de suelo fueron realizados por la misma empresa que realizó las recomendaciones. Sin embargo, las diferencias analíticas entre estos dos laboratorios no fueron importantes, por lo que las diferencias de recomendación se debieron mayormente a diferentes filosofías de recomendación.

Rendimiento y respuesta a la fertilización

En el promedio de las tres zafras existió un importante incremento de rendimiento por fertilización, el que fue superior a 2000 kg/ha (Fig. 1) y estadísticamente significativo (datos no mostrados). Las diferencias entre los tratamientos fertilizados fueron, en cambio, relativamente pequeñas (cercasas a 500 kg/ha), aunque el promedio de los tratamientos “USA” fue significativamente mayor que el de los “URU”. Sin embargo, el tratamiento que produjo el mayor rendimiento (USA2) no difirió significativamente de URU1. A su vez, la diferencia entre el tratamiento que recomendó las mayores dosis (USA1) y el que recomendó las menores (URU 1) fue de 478 kg/ha. Por lo tanto, las recomendaciones de algunos de estos tratamientos podrían haber sido excesivas, ya que con fertilizaciones menores se obtuvieron rendimientos similares. Estos resultados son comparables a los obtenidos por Olson *et al.* (1982) en EE.UU. y por Ewanek en Canadá (citado por Black, 1993).

Existieron, sin embargo, importantes diferencias entre zafras (Tabla 4). Los mayores incrementos de rendimiento por el agregado de fertilizante se obtuvieron en la Zafra I (4113 kg/ha), en la cual el rendimiento promedio de los tratamientos fertilizados fue 18% superior al promedio de las tres zafras, y el rendimiento del Testigo fue 5% inferior al correspondiente promedio. En las otras dos zafras estos incrementos fueron menores a 2000 kg/ha. En la segunda zafra esto se debió por un menor rendimiento general, ya que los tratamientos fertilizados rindieron solo el 72% del rinde promedio de estos tratamientos en las tres zafras. En la tercer zafra, el rendimiento de los tratamientos fertilizados fue similar al de la primer zafra (110% con respecto al promedio de las tres zafras), pero el rendimiento del Testigo fue también elevado (136% del promedio correspondiente), lo que determinó una baja respuesta a la fertilización. El bajo rendimiento de la segunda zafra puede ser atribuido en parte a que no se pudo aplicar N en V6 en dos de los sitios, debido a condiciones de exceso hídrico de los suelos, lo que impidió entrar con la maquinaria. Cabe señalar que el rendimiento no estuvo fuertemente limitado por las lluvias en ninguna zafra, ya que en los tres ciclos estas fueron superiores al promedio histórico.

Las diferencias entre los tratamientos fertilizados fueron mínimas en la Zafra II, cercanas al promedio de las tres zafras en la Zafra I, y mayores al promedio en la Zafra III. En esta zafra, el rendimiento asociado a USA1, el tratamiento que recomendó las mayores dosis de fertilización de todos los tratamientos, fue superior en 770 kg/ha a URU1, el que recomendó las menores. A su vez, el rendimiento de USA2 fue superior en 1105 kg/ha al de URU1. Además, a diferencia de las zafras anteriores, en todos los sitios de esta zafra el rendimiento de USA2 fue superior al de URU1. Este resultado pudo haber sido en parte consecuencia del agregado de dosis subóptimas de N en V6 en URU1 y URU2 en los cuatro sitios de la Zafra III, aunque algo similar pudo haber ocurrido en el Sitio 1 de la Zafra I. Estas bajas dosis fueron inducidas por las altas concentraciones de NO_3^- en V6 en URU1 y URU2, muy superiores a las del Testigo (Tabla 2). Una posible interpretación de este error de recomendación es que estas altas concentraciones fueron resultado de la residualidad del N aplicado a la siembra y no de un alto aporte de N del suelo. Esta interpretación parece confirmarse, ya que a

Tabla 4. Rendimiento promedio de grano de maíz por tratamiento y zafra.

Zafra	Test	URU1	URU2	USA1	USA2
----- kg/ha -----					
I	5554	9570	8988	10032	10078
II	4073	5964	5514	5965	6210
III	7959	8451	8896	9423	9359

través de todos los sitios, la diferencia de concentración de NO_3^- entre URU1 y el Testigo se relacionó positivamente con la diferencia de rendimiento entre USA2 y URU1 (Fig. 2). Si no hubiera existido residualidad del N aplicado a la siembra, sería de esperar que URU1 y el Testigo presentaran concentraciones similares de NO_3^- . Es posible que este error pudiera haberse evitado si se hubiera realizado el muestreo de V6 tomando las muestras de suelo de la entrefila, lo más lejos posible del lugar de aplicación del fertilizante a la siembra.

Retorno neto por fertilización

En el promedio de las tres zafras, los tratamientos afectaron significativamente el RNPF, la única diferencia estadísticamente significativa (datos no mostrados) fue el mayor RNPF de USA2 con respecto a USA1 (Fig. 3). Este último tratamiento fue el que recibió las mayores dosis de fertilización y presentó el menor resultado económico. No existieron diferencias significativas entre URU1 y USA2, los dos tratamientos que recomendaron las fertilizaciones más conservadoras. Este resultado señala la importancia de considerar el incremento de rendimiento y los costos de fertilización para evaluar los resultados de la fertilización, y no solamente el rendimiento.

En la Zafra I, el RNPF promedio de todos los tratamientos fue de 306 USD/ha, luego descendió a 71 USD/ha en la Zafra II y a 47 USD/ha en la Zafra III. La principal causa del mejor resultado económico de la primera zafra fue el alto incremento de rendimiento por fertilización. El menor resultado económico de la segunda zafra se debe principalmente a que el rendimiento de todos los tratamientos fue menor, mientras que en la tercer zafra el rendimiento fue alto, pero fue bajo el incremento de rendimiento por fertilización. El menor resultado económico de

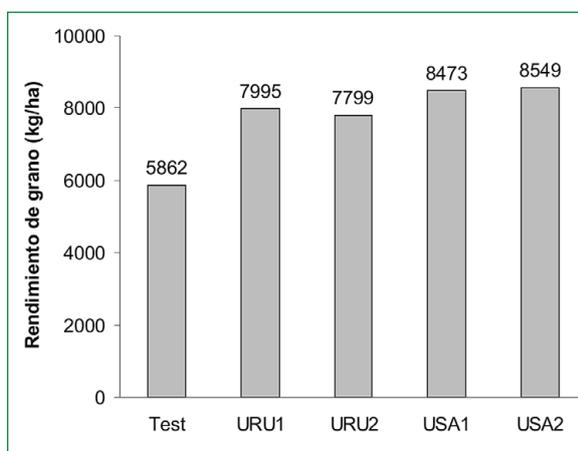


Figura 1. Rendimiento de grano de maíz de cinco tratamientos de fertilización. Cada valor es el promedio de 12 sitios experimentales, producto de la combinación de 4 sitios y tres zafras.

la segunda y tercer zafra también fue afectado por el menor precio del maíz, y el de la tercera por el mayor costo de los fertilizantes.

Resulta importante destacar que las recomendaciones más conservadoras (URU1 y USA2) fueron más eficientes en términos económicos (Fig. 3) pero no limitaron los rendimientos, ya que estos fueron similares o mayores al de los de los tratamientos URU2 y USA1, que recomendaron las dosis mayores de nutrientes. La excesiva recomendación de fertilización de USA1 estuvo determinada en parte por el hecho de que solo se alcanzó el 70% del rendimiento meta utilizado; es indudable que si se hubiera utilizado un rendimiento meta menor las dosis de fertilizantes recomendadas habrían sido menores. De todas maneras, esta alta recomendación de fertilización de USA1 también se debe a las propias características del modelo, ya que en el caso de USA2 se utilizó el mismo rendimiento meta pero las recomendaciones fueron menores.

Como ya se señaló, el costo de los micronutrientes no fue considerado dentro del costo de la fertilización, pero su consideración habría afectado favorablemente el resultado económico de URU1, ya que éste fue el único tratamiento que no incluyó estas recomendaciones, y habría perjudicado especialmente el de USA1. Además, en este estudio no fue considerado el costo ambiental de la fertilización, el cual obviamente es de difícil valoración, aunque su inclusión también hubiera favorecido el resultado económico de las recomendaciones más conservadoras.

Balance entre el aporte y la extracción de nutrientes

Se ha señalado que los análisis económicos basados en RNPF pueden ocultar el costo de reposición de los nutrientes extraídos por el cultivo (Flores y Sarandón,

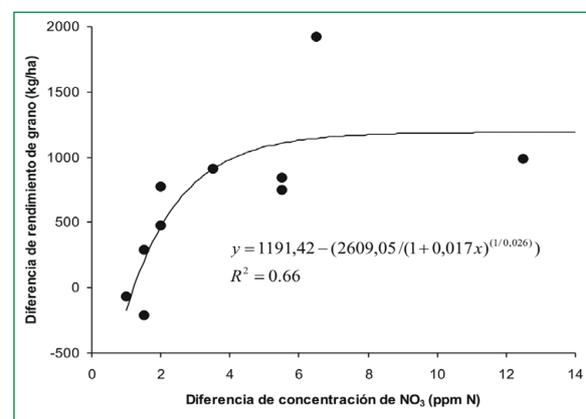


Figura 2. Relación entre la diferencia de rendimiento de grano entre los tratamientos URU1 y USA2 y la diferencia de concentración de NO_3^- entre el tratamiento URU1 y el Testigo. La concentración de NO_3^- fue determinada en V6 a la profundidad de 0-20 cm del suelo.

2002). Por lo tanto, aunque en el corto plazo las fertilizaciones bajas sean más rentables podrían llevar en el largo plazo a una disminución de la fertilidad de los suelos. Aunque este trabajo no tuvo el objetivo de estudiar estos efectos de largo plazo, igualmente se utilizó el rendimiento promedio de los 12 sitios para estimar la extracción esperada de N, P y K de cada tratamiento, utilizando los parámetros de extracción propuestos por INPOFOS (1999). Se estimó luego para cada tratamiento el balance aporte-extracción, es decir la diferencia entre la dosis de N, P y K aplicada y los correspondientes valores de extracción.

Se observó que para N, el balance de los dos tratamientos "URU" fue negativo en aproximadamente 30 kg/ha, mientras que el de los "USA" fue positivo en una cantidad similar. El balance de P, en cambio, fue positivo en 3, 6 y 22 kg/ha para URU1, URU2 y USA1, respectivamente, mientras que en USA2 fue deficitario pero solo en 3 kg/ha. En el caso de K, todos los tratamientos tuvieron un balance negativo (-24, -7 y -20 kg/ha para URU1, URU2 y USA2, respectivamente), excepto USA1, donde fue positivo (24 kg/ha). Con respecto a estos resultados, cabe señalar que no se justificaría fertilizar con dosis mayores de N para reponer lo extraído, debido al inherente riesgo de pérdida de este nutriente. En Uruguay, la rotación de cultivos y pasturas parece ser un modo más sustentable de mantener el contenido de N orgánico del suelo en un nivel adecuado. Por otra parte, la existencia de un balance negativo de K no debería preocupar aún, ya que los contenidos de este nutriente en la mayoría de los suelos agrícolas del Uruguay están todavía muy por encima del nivel crítico, y de acuerdo a Mallarino (2005), en estas situaciones no debería emplearse el concepto de mantenimiento. El balance de P, en cambio, fue mayormente positivo, pero eventuales caídas tampoco debería alarmar, ya que éstas se podrían fácilmente detectar y corregir a través del análisis de suelo y la fertilización. Una política similar se podría emplear cuando la concentración de K del suelo descendiera a un nivel cercano al crítico.

CONCLUSIONES

Los criterios de fertilización que recomendaron la aplicación de altas dosis de nutrientes produjeron rendimientos similares de maíz, pero retornos económicos inferiores a otros más "conservadores", que recomendaron dosis menores. La aplicación de estos criterios más conservadores, basados en conceptos de mantenimiento y/o suficiencia, tampoco ocasionaron desbalances importantes de nutrientes en los suelos, y los mismos posiblemente tengan un menor riesgo de contaminación del agua y del aire. De todas maneras, es necesario considerar que la aplicación continua de estos criterios más conservadores de

fertilización puede ocasionar en el largo plazo extracciones importantes de algunos nutrientes como K, los que eventualmente tendrían ser repuestos al suelo por fertilización.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por los Servicios Agropecuarios del Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca de Uruguay, dentro del llamado a Proyectos de Validación Tecnológica. Se agradece a la Empresa Agrotierra S.A. y a los productores Carlos Chambón, Miguel Carballedo, José Pedro Cristina y Walter y Arturo Brhem, en cuyos predios se realizaron estos ensayos. Se agradece además a los Ing. Agrs. Verónica Ciganda (Ph.D.) y Claudio Pons, que colaboraron al comienzo de este proyecto.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Berardo A., S. Ehrh, F. Grattone y F. García.** 2001. Corn yield response to phosphorus fertilization in the Southeastern Pampas. *Better Crops International* 15 (1):3-5.
- Black, C.A.** 1993. Soil fertility evaluation and control. Lewis Publisher. Boca Raton, FL, USA.
- Blackmer A.M., D. Pottker, M.E. Cerrato y J. Webb.** 1989. Correlations between soil nitrate concentrations in late spring and corn yields in Iowa. *J. Prod. Agric.* 2:103-109.
- Blackmer A.M., Voss, R.D. y A.P. Mallarino.** 1997. Nitrogen fertilizer recommendations for Corn in Iowa. Pm-1714. Iowa State University, University Extension, Ames, Iowa. [Online] Disponible en <http://www.extension.iastate.edu/Publications/PM1714.pdf> (verificado 8 de setiembre de 2005).
- Bray R.H., y L.T Kurtz.** 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59:39-45.
- Cope J.T. y R.D. Rouse.** 1973. Interpretation of soil test results. p. 35-54. En L.M. Walsh and J.D. Beaton (eds.) *Soil Testing and Plant Analysis*. SSSA, Madison, WI.

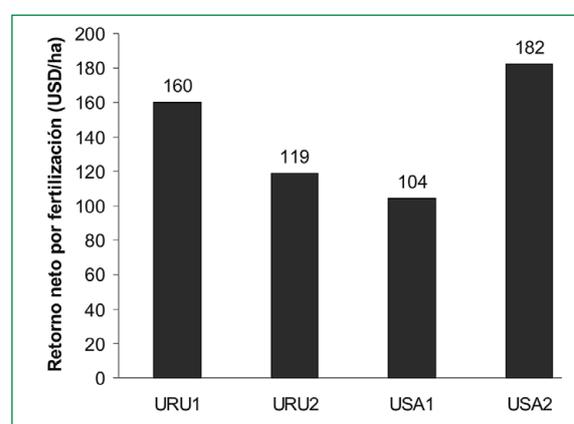


Figura 3. Retorno neto por fertilización (RNPF) de maíz de cuatro tratamientos de fertilización. Cada valor corresponde al promedio de 12 sitios experimentales, producto de la combinación de 4 sitios y tres zafras.

- Echeverría H. y F. García.** 1998. Guía para la fertilización fosfatada de trigo, maíz, girasol y soja. Boletín Técnico No. 149. EEA INTA Balcarce.
- Ferrari M., J. Ostojic, L. Ventimiglia, H. Carta, G. Ferraris, S. Rillo, M. Galetto y F. Rimatori.** 2000. Fertilización de maíz: Buscando una mayor eficiencia en el manejo de nitrógeno y fósforo. Actas Jornadas de Actualización Técnica para Profesionales "Fertilidad 2000". Rosario, 28 de abril de 2000. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires.
- Flores C.C. y S.J. Sarandón.** 2002. ¿Racionalidad económica versus sustentabilidad ecológica? El ejemplo del costo oculto de la pérdida de fertilidad del suelo durante el proceso de agriculturización en la región pampeana Argentina. Rev. Fac. Agron. La Plata. 105(1):52-67.
- Fox R.H., G.W. Roth, K.V. Iversen y W. Piekielek.** 1989. Soil and tissue nitrate tests compared for predicting soil nitrogen availability to corn. Agron. J. 81:971-974.
- Galvão E.Z.** 2002. Micronutrientes. p. 185-226. En D.M.G. Souza & E. Lobato (eds.). Cerrado: correção do solo e adubação. Planaltina-DF EMBRAPA Cerrados.
- García F., K. Fabrizzi, M. Ruffo y P. Scarabicchi.** 1997. Fertilización nitrogenada y fosfatada de maíz en el sudeste de Buenos Aires. Actas VI Congreso Nacional de Maíz. ALANBA. Pergamino, Buenos Aires, Argentina.
- INPOFOS Cono Sur** (Oficina Regional para el Cono Sur del Potash y Phosphate Institute y el Potash and Phosphate Institute of Canada). 1999. Planilla de cálculo para estimar requerimientos nutricionales de cultivos de grano y forrajeros. [Online] Disponible en: [http://www.ppi-pic.org/ppiweb/ltams.nsf/\\$webindex/573A3BBA6EF828E903256960006DCF C7?opendocument&navigator=home+page](http://www.ppi-pic.org/ppiweb/ltams.nsf/$webindex/573A3BBA6EF828E903256960006DCF C7?opendocument&navigator=home+page). Verificado el 22 de febrero de 2006.
- Klausner S.D., W.S. Reid y D.R. Bouldin.** 1993. Relationships between late spring soil nitrate concentrations and corn yields in New York. J. Prod. Agric. 6:350-3354.
- Mallarino A.P. y A.M.Blackmer.** 1992. Comparison of methods for determining critical concentrations of soil test phosphorus for corn. Agron. J. 84:850-856.
- Mallarino A.P. y A.M.Blackmer.** 1994. Profit-maximizing critical values of soil test potassium for corn. J.Prod. Agric. 7:261-268.
- Mallarino A.P.** 2005. Criterios de fertilización fosfatada en sistemas de agricultura continua con maíz y soja en el cinturón del maíz. Inpofos Informaciones Agronómicas. 28:9-15.
- Meisinger J.J., V.A. Bandel, J.S. Angle, B.E. O'Keefe y C.M. Reynolds.** 1992. Presidedress soil nitrate test evaluation in Maryland. Soil. Sci. Soc. Am. J. 56:1527-1532.
- Melchiori R., O. Papparotti y W. Paul.** 1996. Diagnóstico de la fertilización nitrogenada de maíz: Nitratos en prees-cardillada. Serie de Extensión No. 11. EEA INTA Paraná. Entre Ríos.
- Morón A. y W. Baetghen.** 1996. Relevamiento de la fertilidad de los suelos bajo producción lechera en Uruguay. Serie Técnica 73. INIA. Uruguay.
- Olson R.A., K. D. Frank, P.H. Grabouski y G. W. Rhem.** 1982. Economic and agronomic impacts of varied philosophies of soil testing. Agron. J. 74:492-499.
- Perdomo C. H., V. S Ciganda, E. Borghi y G.Wornicov.** 1998. Evaluación del test de nitrato en suelo para las condiciones de maíz en Uruguay. p. 337. En XXIII Reunao Brasileira Fertilidade de Solo e Nutricao de Plantas. FertBio 98. Resumos. Caxambu (MG). Brasil.
- Perdomo C. H.** 2000. Recomendaciones de fertilización nitrogenada de maíz. Universidad de la República, Facultad de Agronomía. [Online] Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/fert/web/investiga/investigacion.html> (verificado el 8 de setiembre de 2005).
- Rhem G. M., J. L. Schmitt y R. Eliason.** 2001. Fertilizer recommendations for agronomic crops in Minnesota: fertilizer suggestions for corn. University of Minnesota Extension Service. [Online] Disponible en <http://www.extension.umn.edu/distribution/cropystems/components/6240f.html> (verificado el 8 de setiembre de 2005).
- Sainz Rozas H., H. Echeverría, G. Studdert y G. Domínguez.** 2000. Evaluation of the presidedress soil nitrogen test for no-tillage maize fertilized at planting. Agron. J. 92:1176-1183.
- Standford G.** 1973. Rationale for optimum nitrogen fertilization in corn production. J. Environ. Qual. 2:159-166.

Nueva publicación



La Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe Resultados y conclusiones de los primeros seis años 2000-2005

La Región Sur de Santa Fe del movimiento CREA, con la colaboración de IPNI Cono Sur y el auspicio de Agroservicios Pampeanos (ASP), implantó en la campaña 2000/01 una red de ensayos a largo plazo con un protocolo común. Los objetivos generales de la Red son:

- Determinar respuestas (directas y residuales) de los cultivos dentro de la rotación (maíz, trigo, soja de primera y soja de segunda) a la aplicación de N, P y S en diferentes ambientes de la región
- Evaluar metodologías de diagnóstico de la fertilización nitrogenada, fosfatada y azufrada

- Costo de la publicación: \$10 (diez pesos argentinos)
- Costo de envío: \$4 (cuatro pesos argentinos)
- La publicación puede ser adquirida contactando a: IPNI Cono Sur At. Sra. Laura Pisauri. Tel/Fax (54) 011 4798 9939 lpisauri@ipni.net

ESTIMACIÓN DE NITRATOS EN PROFUNDIDAD EN SUELOS DE LA REGIÓN SEMIÁRIDA Y SUBHÚMEDA PAMPEANA

Alfredo Bono¹ y Roberto Alvarez²

¹ EEA Anguil INTA, CC 11 (6326) Anguil La Pampa, Argentina.

² Facultad de Agronomía, UBA. Av. San Martín 4453 (1417) Buenos Aires, Argentina.

abono@anguil.inta.gov.ar

INTRODUCCIÓN

Los nitratos son la forma de nitrógeno (N) más importante que absorben las plantas. El contenido de nitratos del suelo es variable y depende de factores como temperatura, humedad, estado vegetativo del cultivo, manejo del suelo, etc. Se han desarrollado muchos métodos de diagnóstico y recomendación para distintos cultivos donde la principal variable predictiva es el nivel de nitratos del suelo (Alvarez, 2005). Estas metodologías usan el N de nitratos en el estrato 0-60 cm de profundidad para estimar los requerimientos de fertilizante. Sin embargo, en la práctica el muestreo hasta esa profundidad no suele realizarse por limitaciones de tiempo, esfuerzo y económicas. Nuestro objetivo fue probar la posibilidad de estimar el nivel de nitratos hasta los 60 cm de profundidad del perfil usando como variable predictiva el contenido en el estrato 0-20 cm en suelos de la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Desde 1996 hasta el 2005 se realizaron ensayos de fertilización en los cultivos de trigo y girasol en la Región Semiárida y Subhúmeda pampeana (Tabla 1, Fig. 1). Se usaron dos sistemas de labranza, convencional de la zona (rastras y discos) y siembra directa en los distintos ensayos. Se utilizaron distintos antecesoires, longitudes de barbecho, cultivares y fecha de siembra para cada cultivo. Entre otras variables se midió nitratos en capas de 20 cm hasta los 60 cm. Se determinó nitratos en los tratamientos Testigo (sin fertilizar), en la mayoría de los ensayos a la siembra y en forma postergada (macollaje en trigo y 4-6 pares de hojas en girasol). En cada uno de los

ensayos se determinó la densidad aparente (0-20, 20-40 y 40-60 cm de profundidad) y se transformó los valores de N de nitratos a kg ha^{-1} .

La relación entre los contenidos de N de nitratos en los distintos estratos de los suelos se realizó por regresión y correlación testeando la significancia por la F ($P=0.05$). La comparación del efecto antecesor, momento de muestreo y sistema de labranza se realizó contrastando las ordenadas al origen y las pendientes de las correlaciones de N de nitratos 0-20 cm versus el N de nitratos 0-60 cm por el test de t ($P=0.05$).

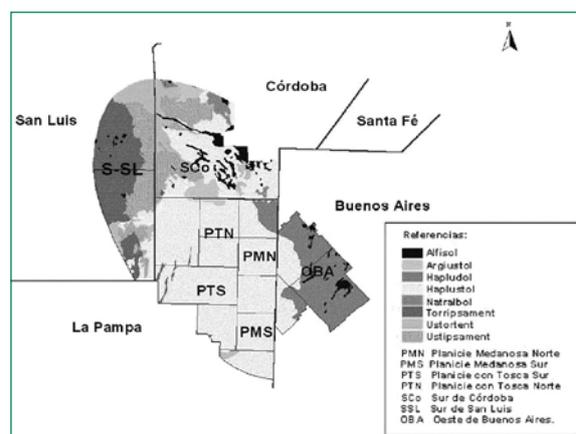


Figura 1. Localización y tipo de suelos donde se realizaron los ensayos de fertilización en trigo y girasol (1996-2005). S-SL: sur de San Luis, S-Co: sur de Córdoba, PMN: planicie medanosa norte y (PMS) sur, PTN: planicie con tosca norte y (PTS) sur en el este de La Pampa y OBA: oeste de Buenos Aires.

Tabla 1. Ensayos de trigo y girasol, clasificación y textura de los suelos y las subregiones donde se realizaron las determinaciones de nitratos.

Cultivo	Número de Ensayos	Tipo de Suelo			Sub regiones					Textura	
		Haplustoles	Hapludoles	Ustipsamente/ Torripsamente	S-SL	S-Co	PM	PT	OBA	Arenoso/ Arenoso franco	Franco
Trigo	85	66	14	5	0	4	18	50	13	33	52
Girasol	160	84	23	53	37	37	25	33	28	67	93
Total	245	150	37	58	37	41	43	83	41	100	145

S-SL: sur de San Luis, S-Co: sur de Córdoba, PM: planicie medanosa, PT: planicie con tosca en el este de La Pampa y OBA: oeste de Buenos Aires.

RESULTADOS

De las 404 determinaciones, el 87 % de las mismas corresponden a un rango de valores de 0 a 40 kg ha⁻¹ de N de nitratos en los primeros 20 cm del suelo. Las relaciones entre N de nitratos 0-20 cm y N de nitratos 0-60 cm presentaron en todos los casos ordenadas no diferentes de 0 y pendientes distintas de 1. Comparando las pendientes de esos ajustes entre antecesores, sistemas de labranza y momentos de muestreo no se detectaron diferencias entre las pendientes de las poblaciones trigo vs. girasol, labrados vs. siembra directa o muestreo a la siembra vs. muestreo diferido. Por otro lado, no hubo diferencias en la pendiente entre suelos franco y franco arenosos. Los modelos obtenidos lograron explicar entre el 66-79% de la variabilidad en los niveles de nitratos 0-60 cm usando como variable predictiva el nivel en la capa 0-20 cm. Integrando toda la información en un único modelo de estimación se pudo explicar el 73% de la variabilidad para todas las condiciones muestreadas (Fig. 2). El contenido de N de nitratos es en promedio 2.35 veces mayor de 0-60 cm que el del estrato 0-20 cm.

En la Pampa Ondulada, en suelos mas finos que los de la región de este estudio, también se ha observado una estrecha relación entre los contenidos de nitratos en superficie y en profundidad (Alvarez *et al.*, 2001), decreciendo la concentración al 60% del valor del estrato superior cada 20 cm. En nuestro caso la estratificación es menos marcada decreciendo la concentración al 80% del valor superior cada 20 cm

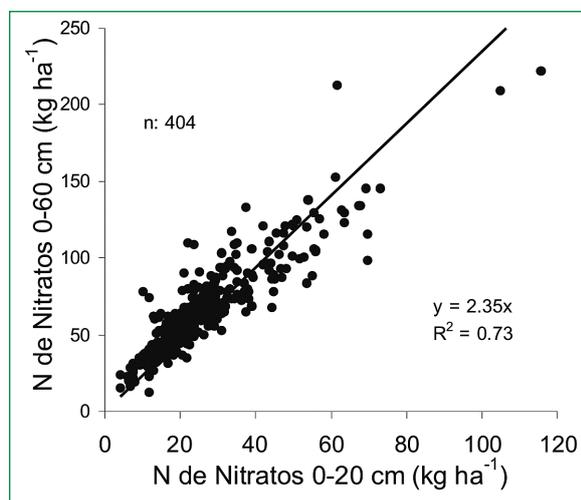


Figura 2. Contenido de N de nitratos en 0-20 cm y 0-60 cm de profundidad de suelo incluyendo la totalidad de las muestras analizadas (n = 404).

de profundidad (Fig. 3).

El modelo ajustado puede usarse como una herramienta en la estimación del contenido de N en profundidad de los suelos de la Región Semiárida y Suhúmeda Pampeana, contando solo con el dato de nitratos de 0 a 20 cm. A modo de ejemplo se puede observar en la Figura 4 como, usando el dato de nitratos de 0-20 cm que suministra el laboratorio, podemos calcular el N de nitratos a 0-60 cm de profundidad. Se debe tomar la precaución de no utilizar esta metodología inmediatamente luego de lluvias de 40-50 mm o mayores y esperar varios días para hacerlo. En estas situaciones los nitratos pueden lixiviarse debajo de los 0-20 cm y afectar la estimación para 0-60 cm.

- 1) Valor suministrado por laboratorio de concentración de nitratos en el estrato 0-20 cm.
- 2) Pasaje de concentración de nitratos a concentración de N de nitratos (mg kg⁻¹) en estrato 0-20 cm.
- 3) Pasaje de concentración de N de nitratos a masa de N de nitratos (kg N ha⁻¹) en estrato 0-20 cm, asumiendo una densidad aparente del suelo de 1.3 Mg m⁻³
- 4) Pasaje de masa de N de nitratos en estrato a 0-20 cm a masa de N de nitratos en estrato 0-60 cm (kg N ha⁻¹) usando la ecuación del modelo de regresión de la Figura 2.

BIBLIOGRAFÍA

Alvarez C.R., R. Alvarez y H. Steinbach. 2001. Predictions of available nitrogen content in soil profile depth using available nitrogen concentration in surface layer. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32: 759-769.

Alvarez R. 2005 (Ed.). Fertilización de cultivos de granos y pasturas: diagnóstico y recomendación para la Región Pampeana. Editorial Facultad de Agronomía-UBA. pág. 174.

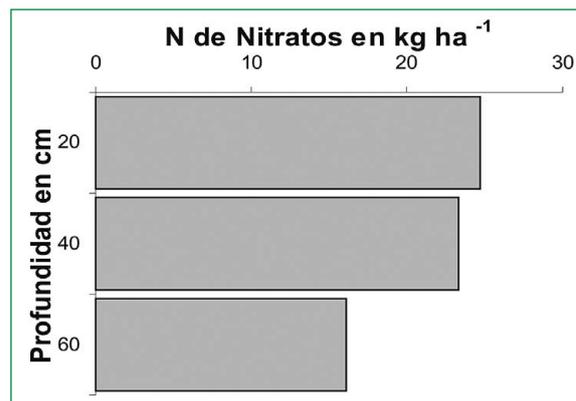


Figura 3. Promedio de las 404 determinaciones para cada capa de 20 cm de profundidad de

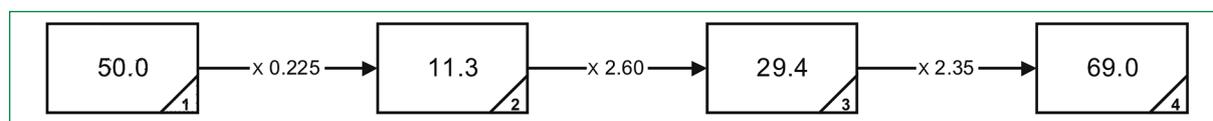


Figura 4. Transformación del dato suministrado por un laboratorio de concentración de nitratos en el estrato superficial del suelo a masa de N de nitratos en el estrato 0-60 cm de profundidad.

PUBLICACIONES DE IPNI

Las siguientes publicaciones se encuentran disponibles con un costo nominal



Titulo de la Publicación (Vea el catalogo completo de publicaciones de IPNI en www.ipni.net/lasc)	Costo U\$S	Costo \$ argentinos
NUEVO La Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe: Resultados y conclusiones de los primeros seis años 2000-2005. Resumen y discusión de los principales resultados obtenidos en la Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe (Argentina).	3.5	10
Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Este libro, editado por INTA (Argentina) con la colaboración de INPOFOS, contiene los principios y conceptos fundamentales de la fertilidad de suelos y del manejo de la fertilización para numerosos cultivos.	14	40
Nutrición y fertilización potásica en frutales y vides. Publicación de INIA La Platina (Chile) que discute los principales aspectos del manejo de potasio en frutales y vides, con énfasis en la situación del centro de Chile.	20	60
Fertilización de forrajes en la región pampeana. Una revisión de los avances en el manejo de la fertilización de pasturas, pastizales y verdeos en la región pampeana argentina. (Nueva edición en CD).	4	12
Simposio Fertilidad 2005. Nutrición, Producción y Ambiente. Actas del Simposio organizado por INPOFOS y Fertilizar en Rosario en Abril de 2005.	10	30
Síntomas de deficiencias nutricionales de trigo, maíz y soja. Set de tres posters que muestran y describen los síntomas de deficiencia de nutrientes en los tres cultivos.	5	15
Como se desarrolla una planta de soja. Edición en español de la guía fenológica y de manejo publicada por Iowa State University.	5	15
Como se desarrolla una planta de maíz. Edición en español de la guía fenológica y de manejo publicada por Iowa State University.	5	15
Simposio Fertilidad 2004. Fertilidad de Suelos para una Agricultura Sustentable. Actas del Simposio organizado por INPOFOS y Fertilizar en Rosario en Abril de 2004.	8	25
Simposio El Fósforo en la Agricultura Argentina. Actas del Simposio efectuado en Rosario en Mayo de 2003 (98 pág.)	5	15
Fertilidad 2002. Trabajos presentados en la Cuarta Jornada de Actualización Técnica para Profesionales realizada en Rosario (Argentina) en Mayo de 2002.	2.5	7.5
Fertilidad 2001. Trabajos presentados en la Tercera Jornada de Actualización Técnica para Profesionales realizada en Julio de 2001.	2.5	7.5
Fertilidad 2000. Trabajos presentados en la Jornada de Actualización Técnica para Profesionales realizada en Abril de 2000.	2.5	7.5
Manual de Fertilidad de Suelos. Publicación didáctica sobre uso y manejo de suelos y fertilizantes.	15	45
Estadística en la investigación del uso de fertilizantes. Recopilación de conferencias presentadas en cursos de la especialidad por el Dr. Larry Nelson, publicada por la oficina de INPOFOS del Norte de Latinoamérica.	6	18
Fertilización del Algodón para Rendimientos Altos. Cubre en forma detallada los requerimientos nutricionales, análisis foliar y de suelos y fertilización del cultivo.	5	15
Nutrición de la Caña de Azúcar. Guía completa para la identificación y corrección de desórdenes y desbalances nutricionales de la caña de azúcar.	8	24
Manual de Nutrición y Fertilización del Café. Este manual presenta conceptos modernos del manejo de la nutrición y fertilización del café como herramienta para lograr rendimientos altos sostenidos.	20	60
Balance para el éxito. Trifolios con información de un manejo nutricional de cultivos. Disponibles: Alfalfa, Trigo, Maíz, Soja, Sorgo granífero, Algodón.	0.50 c/u	1.5 c/u
Nutri-Verdades. Trifolios que describen las necesidades de nutrientes y el manejo de la fertilización de cultivos. Disponibles: Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Azufre, Magnesio, Calcio/pH, Boro, Zinc, Manganeseo, Cobre, Hierro, Otros micronutrientes.	0.50 c/u	1.5 c/u

Para adquirir las publicaciones de IPNI Cono Sur, por favor enviar mail a: lpisauri@ipni.net o llamar al (54 - 011) 4798 9939

CONGRESOS, CURSOS Y SIMPOSIOS

Esta sección presenta eventos futuros en el ámbito regional e internacional que pueden ser de interés de los lectores



V Reunión de Producción Vegetal y III Reunión de Producción Animal del NOA

Lugar y fecha: Facultad de Agronomía y Zootecnia (UNT). San Miguel de Tucumán, Argentina.

26 y 27 Abril 2007

Información: www.faz.unt.edu.ar - producvegetal@hotmail.com

Zinc Crops 2007

Lugar y fecha: Natalia, Turquía. Mayo 2007.

Información: mcook@iza.com; cakmak@sabanciuniv.edu

InfoAg 2007: Agricultura de Precisión - Manejo de Información - Sensores Remotos - Tecnologías de Comunicación

Lugar y fecha: Hotel Crowne Plaza, Springfield, Illinois, EE.UU. 10-12 Julio 2007.

Información: www.infoag.org

XV Congreso Nacional de AAPRESID

Lugar y fecha: Rosario, Santa Fe. 14-17 Agosto 2007.

Información: AAPRESID. www.aapresid.org.ar

Rhizosphere 2 – Segunda Conferencia Internacional de la Rizósfera

Lugar y fecha: Montpellier, Francia. 26-31 Agosto 2007.

Información: P. Hinsinger, Tel.: +33 (0)4 99 61 22 49 / Fax: +33 (0)4 67 63 26 14 philippe.hinsinger@ensam.inra.fr - www.montpellier.inra.fr/rhizosphere-2/



Simposio "Fertilidad 2007"

Bases para el Manejo de la Nutrición de los Cultivos y los Suelos

10 y 11 de Mayo de 2007

Salón Auditorio de la Bolsa de Comercio de Rosario
Paraguay 777, (2000) Rosario

Organización: IPNI Cono Sur y Fertilizar Asociación Civil

Colaboración especial: AACCS, INTA, AAPRESID, Bolsa de Comercio de Rosario, CREA Sur de Santa Fe, Facultad de Ciencias Agrarias (UNR), Fundación Producir Conservando

Objetivo: Presentar y discutir información actualizada en el manejo de la fertilidad de suelos y fertilización de cultivos en el país y el exterior. Las presentaciones estarán a cargo de distinguidos profesionales nacionales y extranjeros.

Programa:

- Ciclo del nitrógeno. M. Cabrera (University of Georgia, EE.UU.) y D. Franklin (USDA-ARS Watkinsville, EE.UU.)
- Fertilizantes: Calidad y aplicación. S. Gambaudo (INTA Rafaela), M. Torres Duggan (Tecnoagro) y R. Martinez Peck (Consultor Privado).
- Avances en experimentación en fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. O. Ernst (UdelaR, Paysandú, Uruguay); A. Bianchini (AAPRESID); F. García (IPNI Cono Sur); A. Bono (INTA Anguil); V. Gudelj (INTA M. Juarez); P. Prystupa (FAUBA); R. Bergh (CEI Barrow INTA-MAA).
- Nitrógeno en maíz. F. Below (University of Illinois, EE.UU.); R. Melchiori (INTA Parana); M. Ruffo (University of Illinois, EE.UU.)
- Nutrición de pasturas. E. Cástino (Fertilizar AC); M. Bermúdez (Consultor privado)
- ¿Cómo decido la fertilización de mis cultivos? S. Murrell (IPNI EE.UU.); F. García (IPNI Cono Sur)

Vea el programa completo en www.ipni.net

Audiencia: Profesionales de actividad oficial y privada. Estudiantes avanzados de Agronomía.

Costo: \$250 antes del 6 de Abril; \$350 luego del 6 de Abril (Incluye publicación y café).

Estudiantes de grado: \$150 con presentación de libreta universitaria hasta el 15 de Marzo (cupos limitados).



CUPOS LIMITADOS
Por favor, inscribese con tiempo
Por mail a lpisauri@ipni.net
Por teléfono o fax al (011) 4798-9939/4798-9988