

CIENCIA DEL SUELO

Revista de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo (AACCS)

Comité Editor

Director: Daniel E. Buschiazzo

Coeditores: Alberto R. Quiroga, Alfredo A. Bono y Graciela G. Hevia

Asesor: Roberto Alvarez

Dirección: Facultad de Agronomía, UNLPam, CC 300, 6300 Santa Rosa, Argentina, TE o Fax: +54 2954 433092/3/4, Correo Electrónico: buschiazzo@agro.unlpam.edu.ar ó EEA INTA Anguil, CC 11, 6326 Anguil, Argentina, TE o Fax + 54 2954 495057, Correo Electrónico: sueang@inta.gov.ar Página web: www.suelos.org.ar

Ciencia del Suelo es una revista científica de aparición semestral que publica resultados de investigaciones de suelos. Acepta artículos originales sobre desarrollos y ajustes de metodologías para evaluar propiedades edáficas físicas, químicas y biológicas, estudios de génesis y clasificación de suelos, de fertilidad y fertilización de cultivos extensivos e intensivos y de manejo de suelos bajo secano o riego, incluyendo los sistemas forestales naturales y artificiales. También son bienvenidos los estudios de contaminación y recuperación de suelos y aquellos relacionados con sostenibilidad.

Costos de Publicación

Por derechos de publicación se abonan u\$s 150 por los TRABAJOS y u\$s 100 por las NOTAS.

Separatas

Opcionalmente los autores pueden requerir cien separatas de sus artículos a un costo adicional de u\$s 50.

Pagos de Suscripciones y Costos de Publicación

Con cheque o giro postal a nombre de Graciela G. Hevia, Facultad de Agronomía, UNLPam, CC 300, 6300 Santa Rosa, Argentina.

CIENCIA DEL SUELO

Revista de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo

Volumen 18 Número 2

Diciembre de 2000

Comisión Directiva de la AACS

Presidente: G Moscatelli, **Vicepresidente:** H del Campo, **Vocales Titulares:** C Chagas, RM Di Giacomo, F García, L Marbán, V Nakama, JC Salazar Lea Plaza, C Vollert, **Vocales Suplentes:** R Alvarez, DE Buschiazzo, A Lutens, JL Panigatti, A Sallies, **Revisores de Cuentas:** A Buján, RS Lavado.

Comité Editor

Director: DE Buschiazzo (INTA Anguil y Facultad de Agronomía, UNLPam)

Editores Asociados: AR Quiroga ((INTA Anguil y Facultad de Agronomía, UNLPam)
AA Bono (INTA Anguil)
GG Hevia (Facultad de Agronomía, UNLPam)

Asesor: R Alvarez (Facultad de Agronomía, UBA)

Editorial: Facultad de Agronomía, UNLPam, CC 300, 6300 Santa Rosa, Argentina.
TE +54 2954 433092/3/4. Email: sueang@inta.gov.ar ó buschiazzo@agro.unlpam.edu.ar

Participaron como consultores en este número:

K Stahr (Hohenheim, Alemania), J Torrent (Univ. Córdoba, España), R Alvarez (UBA), N Peinemann (UNS), F Macías Vázquez (Sgo. de Compostela, España), M Taboada (UBA), H Krüger (INTA Bordenave), CM Rostagno (CENPAT), C Siebe (UNAM, México), PW Unger (USDA), M Díaz Zorita (INTA Gral. Villegas), RS Lavado (UBA), M Conti (UBA), JL Panigatti (INTA), MV Fernández-Canigia (UNLPam), A Pidello (UNR), M Sagardoy (UNS), H Morrás (INTA), PA Imbellone (UNLP), S Pazos (UNCPBA), G Lorenz (UNSE), R Rosell (UNS), MM Ron (UNS), T Loewy (INTA Bordenave)

CIENCIA DEL SUELO consta de un volumen anual de dos números. Precio de suscripción U\$S 40. Queda hecho el depósito que marca la ley 11.723. Registro de la Propiedad Intelectual N° 99.728.

Esta revista es indexada en: Soil and Fertilizers, Chemical Abstract Services, Geo Abstract, Ulrich International Catalog, M+K Medien+Kommunikation GMBH

A la memoria del Dr. René Favaloro
(1923-2000)

CIENCIA DEL SUELO

Revista de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo

Volumen 18 Número 2

Diciembre de 2000

Predicción del agua disponible usando funciones de pedo-transferencia en suelos agrícolas de la región pampeana (Prediction of available soil water using pedo-transfer functions in agricultural soils of the pampean region)

F Damiano, MA Taboada 77

Adsorción de fósforo por suelos ácidos de Misiones (Argentina) (Phosphorus adsorption by acid soils from Misiones, Argentina)

S Vázquez, LA Morales 89

Efecto de diferentes enmiendas sobre algunas propiedades edáficas (Effect of different amendments on some soil properties under horticulture production in the humid pampas)

C Casal, A Andriulo, J Ullé, F Abrego, M Bueno..... 95

Métodos rápidos de análisis de plantas para evaluar la nutrición nitrogenada del cultivo de trigo (Rapid methods of plant analysis to evaluate wheat nitrogen nutrition)

HE Echeverría, RA Strada, GA Studdert 105

Cambios en producción y calidad del forraje otoño-invernal por el agregado de nitrógeno en materiales genéticos de agropiro (Autumn and winter forage production and quality changes by nitrogen applications in tall wheatgrass genetic materials)

SI Alonso, JA Fernandez, CI Borrajo, HE Echeverría 115

Efecto de dos momentos de aplicación de urea sobre la producción de grano de trigo en Drabble (Buenos Aires, Argentina) (Urea fertilization timing effect on wheat grain yields in Drabble, Buenos Aires, Argentina)

M Díaz-Zorita 125

Evaluación de sedimentos marinos afectados por efluentes cloacales como sustrato vegetal (Evaluation of marine sediments with sewage sludge used as plant substratum)

ME Vázquez, A Pellegrini, G Millán, R Carrizo, JW Lanfranco 132

NOTAS

Fijación de nitrógeno en alfalfa y su transferencia al pasto ovillo asociado (Nitrogen fixation in alfalfa and its transfer to orchardgrass in mixed sward)

G Sierra, A Lazzari, A Gargano 140

Caracterización química y biológica de un Hapludol bajo diferentes manejos (Chemical and biological characterization of an Hapludoll under different managements)

F Covacevich, HE Echeverría 144

PREDICCIÓN DEL AGUA DISPONIBLE USANDO FUNCIONES DE PEDO-TRANSFERENCIA EN SUELOS AGRICOLAS DE LA REGIÓN PAMPEANA

F DAMIANO¹, MA TABOADA²

¹ Instituto de Clima y Agua. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). 1712 Castelar, Buenos Aires. E-mail: fdamiano@cni.inta.gov.ar

² Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes. Facultad de Agronomía UBA. Av. San Martín 4453, 1417 Buenos Aires. E-mail: mtaboada@mail.agro.uba.ar

Recibido 28 de agosto de 2000, aceptado 8 de noviembre de 2000.

PREDICTION OF AVAILABLE SOIL WATER USING PEDO-TRANSFER FUNCTIONS IN AGRICULTURAL SOILS OF THE PAMPEAN REGION

The yield of agricultural crops largely depends on soil available water capacity (CAD), which usually is estimated from the amount of water retained at -33.3 and -1500 kPa matric potential. The soil cartographical information of the pampean region seldom have this information, limiting the construction of crop yields simulation models. The objectives of this paper were: a) to predict CAD from different pedo-transfer functions (FPT) in pampean soils, and b) to represent the spatial distribution of the predicted CAD values. The CAD values were arranged as follows: fine textured soil Series (M. Juárez, Oncativo, Monte Buey and Los Cardos) > medium textured soil Series (Balcarce and Udaondo) > coarse textured soil Series (Anguil and San Claudio) = soil Series with mechanical impedances which limit plant rooting depth (Roldán and Ramblones). None of the four studied FPT predicted reasonably soil CAD in the whole pampean region, but each one of them worked properly in the area where originally calibrated. Predicted CAD values of pampean soils varied between 28 and 180 mm. The lower CAD (18 % of soils) corresponded to Entic Haplustolls and Petrocalcic Calciustolls, at the west of the pampean region, while the higher CAD corresponded to Typic Argiudolls (19 % of soils) mainly at the center-east of the region. The combination of the predicted CAD values and the information existing in already published soil maps allowed us to characterise crop water availability on a regional basis. This information was included in a new 1:500.000 scale soil map.

Key words: Available Water Capacity - Pedo-Transfer Functions - Soil Water - Soil Maps - Pampean Region.

INTRODUCCION

La producción de cultivos agrícolas depende, además de los aportes externos de agua (i.e. lluvia o riego), de la capacidad de agua disponible de los suelos (CAD). El cálculo de CAD surge usualmente de conocer previamente la retención de humedad entre dos valores discretos de potencial mátrico (i.e. -33 kPa y -1500 kPa). La determinación de estos valores, tanto a campo como en laboratorio, es costosa en tiempo y recursos, además de demandar un gran número de muestras debido a la variabilidad espacial del suelo (Klute 1986).

La región pampeana es la principal productora de cereales y oleaginosos de nuestro país, contribuyendo con el 65% del Producto Nacional Bruto (i.e. 14%) originado por la agricultura argentina (CEPAL, citado por Hall

et al. 1992). La región pampeana posee diversas subregiones fisiográficas, cada una cubierta con diferente tipo de suelos y funcionamiento hidrológico.

La información cartográfica publicada por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) en las Cartas de Suelos de la República Argentina carecen en general de datos de retención hídrica. Las mediciones de CAD han sido poco numerosas y localizadas en sitios específicos, con la finalidad de determinar las necesidades de agua de los cultivos (Totis de Zeljkovich *et al.* 1996) y el ajuste de funciones de estimación con datos conocidos de un perfil de suelo (Pecorari *et al.* 1988; Travasso, Suero 1994). A estas ecuaciones, que relacionan distintas variables del suelo con el contenido de agua volumétrico

a potenciales de agua seleccionados, se las denominan funciones de pedo-transferencia (FPT). Estas funciones se basan en ecuaciones que tienen como argumento básico atributos que describen al suelo (e.g. distribución de tamaño de partículas, densidad aparente y contenido de carbono orgánico) y producen como resultado la función de retención de agua (Kern 1995). El INTA cuenta con un sistema de información geográfica que, siguiendo la metodología SOTER (van Engelen, Peters 1995), asocia la cartografía de unidades a escala 1:5M con una base de datos con suelos y paisajes. La base SOTER de Argentina carece de datos medidos de retención de agua, información que es imprescindible para conocer la exactitud, fiabilidad y utilidad de los

métodos empíricos que predicen CAD (Pachepsky *et al.* 1999). Previamente, hemos probado la efectividad de FPT en comparaciones con mediciones independientes de suelos de la región pampeana (Damiano *et al.* 1996). La posibilidad de disponer de un patrón de distribución geográfico gradual de propiedades hidráulicas es un factor importante para estudiar la respuesta de los cultivos, la vegetación y los sistemas hidrológicos a escala regional. Los objetivos de este trabajo fueron: a) evaluar funciones predictivas del contenido de agua a potenciales mátricos fijos, -33 kPa y -1500 kPa, para seleccionar la más apropiada para diferentes subregiones pampeanas; b) estimar y representar espacialmente la capacidad de retención de

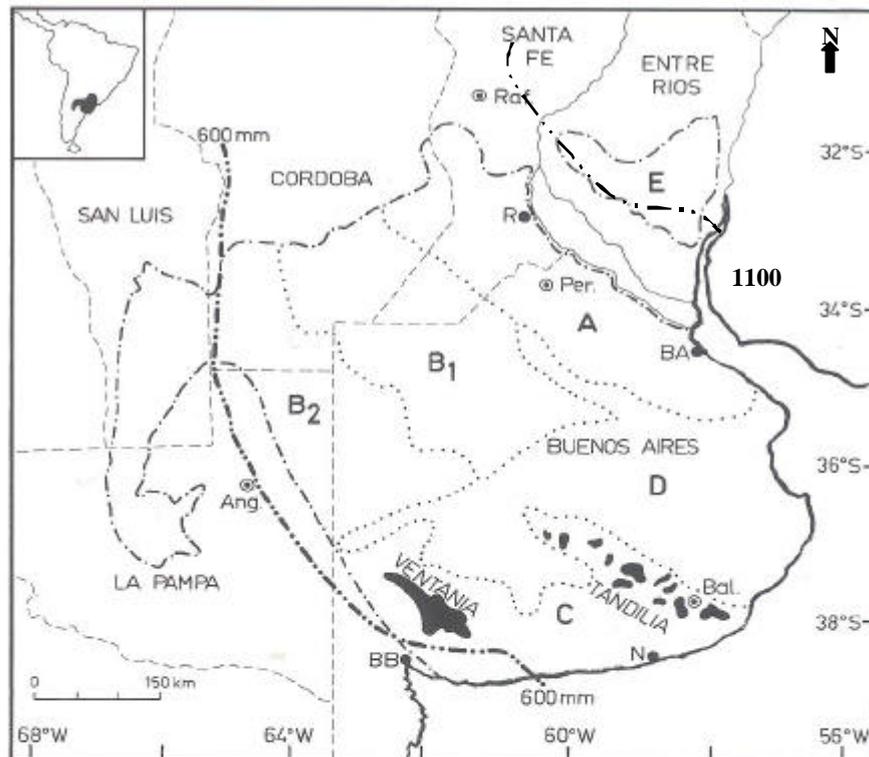


Figura 1. Subdivisión de la Pradera Pampeana. [A. Pampa Ondulada; B. Pampa Interior (B₁. Plana, B₂. Occidental); C. Pampa Austral; D. Pampa Inundable; E. Pampa Mesopotámica]. Límites regional (-.-.-), subregional (. . . .) e interprovincial (- - -). Precipitaciones medias anuales (-.-.-). Localidades (●): Ang, Anguil; BA, Buenos Aires; Bal, Balcarce; BB, Bahía Blanca; N, Necochea; Per, Pergamino; Raf, Rafaela; R, Rosario. Fuente: Hall *et al.* (1992).

Figure 1. Subdivision of the Pampean Region. [A. Pampa Ondulada; B. Pampa Interior (B₁. Plana, B₂. Occidental); C. Pampa Austral; D. Pampa Inundable; E. Pampa Mesopotámica]. Regional (-.-.-), Subregional (. . . .) and Interprovincial borders (- - -). Mean annual precipitation (-.-.-). Populations (●): Ang, Anguil; BA, Buenos Aires; Bal, Balcarce; BB, Bahía Blanca; N, Necochea; Per, Pergamino; Raf, Rafaela; R, Rosario. Extracted from Hall *et al.* (1992).

agua del suelo en la región pampeana a escala 1:500 000, combinando una base de datos de suelos, funciones de pedo-transferencia, y un programa de interpolación lineal de puntos.

MATERIALES Y METODOS

Factores del medio geográfico

El estudio abarcó aproximadamente 58 Mha (33 Mha con aptitud agrícola), entre las latitudes Sur de 31° y 40° y entre las longitudes Oeste de 57° y 65°, comprendiendo así a la Región Pampeana y áreas adyacentes (Figura 1). El clima es templado húmedo sin estación seca y con un verano cálido. La temperatura media anual es de 14 °C en el sur y 18 °C en el norte, el régimen anual de lluvia es de 600 mm en el sur y oeste y 1100 mm en el noreste, y la evapotranspiración media anual, según Thornthwaite, aumenta desde 750 mm en el sur a 1000 mm en el norte.

Las subregiones geomorfológicas Pampa Ondulada (A), P. Austral (C) y P. Mesopotámica (E), presentan un sistema de drenaje exorreico bien desarrollado. En cambio, la exigua pendiente de la Pampa Inundable (D) restringe la evacuación de los excesos hídricos y la red de drenaje natural de la Pampa Interior (B) es endorreica y pobremente desarrollada. Al este de la Pampa Interior se encuentra la Pampa Interior Plana (B1) que tiene extensas áreas con lagunas permanentes y temporarias, mientras que al oeste (B₂, Pampa Interior Occidental) ha sido fuertemente moldeada por el viento.

Los suelos más cultivados pertenecen al Orden de los Molisoles, desarrollados sobre sedimentos eólicos profundos del Pleistoceno, bajo pastizales, en un régimen de humedad údico y en menor proporción ústico en el sector suroeste-noroeste, y régimen térmico de temperatura. Los Sub-Grupos de suelo representativos de la Pampa Ondulada y Austral son los Argiudoles Típico y Ácuico. Un perfil típico de estos suelos presenta un horizonte superior de textura franco a franco arcillo limosa, moderadamente ácido y bien provisto de materia orgánica (mayor de 3 %), seguido de un horizonte B argílico (contenido de arcilla mayor de 35 %). En la Pampa Mesopotámica predominan suelos con propiedades vérticas, de textura franco arcillo limosa a arcillo limosa. En la Pampa Interior, lo hacen los Hapludoles Típicos y Énticos con moderado a bajo contenido de materia orgánica (menor de 2,5 %) y textura franco arenosa. En la Pampa Inundable o Deprimida no más de un 10 % de los suelos posee aptitud agrícola, debido a limitaciones por hidro-halomorfismo. Un quinto de la superficie total (10 Mha) se cultiva anualmente con cereales y oleaginosas. En este

sentido, se destaca la Pampa Ondulada con el 65 % del área cultivada. En las Pampas Austral, Interior y Mesopotámica se cultivan entre 28 y 16 % de sus respectivas superficies.

Base de datos de suelos

Se organizó en soporte magnético una base de datos de perfiles de suelo de acuerdo con los siguientes criterios: i) identificación y descripción taxonómica, ii) representatividad del dominio de la unidad de mapeo, y iii) aptitud agrícola. En primer lugar, se acudió a los Mapas de Suelos de INTA relevados en la década del 70 a escala 1:500 000 en Buenos Aires, Santa Fe, La Pampa, Córdoba y Entre Ríos. Estos mapas básicos no se encuentran correlacionados espacialmente, tomándose como base de integración la distribución geográfica de unidades de mapeo informada por Hall *et al.* (1992) (Figura 2).

En la Tabla 1 se describen las 27 asociaciones de Sub-Grupos de suelo, agrupados según las unidades geomorfológicas descritas en la Figura 1. Del total de unidades de mapeo, se exceptuó el número 5 por su escasa representación areal y la 26 y 29 por no tener uso agrícola, quedando así conformada la base por 61 perfiles de suelo. De esta base de datos se tomó en cuenta la siguiente información: espesor (cm), porcentajes de arena, limo y arcilla, y la textura resultante, contenido de carbono orgánico (C [%]), capacidad de intercambio catiónico (CIC [cmol_c kg⁻¹]) y densidad aparente (Mg m⁻³) de 192 horizontes de los 61 perfiles. Los valores de densidad aparente fueron estimados siguiendo la metodología propuesta por Rawls (1983). A cada suelo se le asignó la proporción del área de la unidad de mapeo que ocupa.

Finalmente, la base de datos se completó con información publicada e inédita de 10 suelos independientes (Tabla 2). Estos suelos cuentan, además de la información edáfica básica, con los contenidos de humedad retenida a -33 kPa y -1500 kPa en los 38 horizontes de los 10 perfiles. Los suelos se distribuyen en la casi totalidad de las unidades geomorfológicas de la región pampeana, y son representativos de los principales Sub-Grupos (7 de un total de 15 casos) y unidades de mapeo (42 % de los 24 casos) (Tabla 1). Esta información fue utilizada en la validación y elección de FPT (objetivo a).

Funciones de pedo-transferencia

Dado el carácter empírico de FPT, su elección se basó en: i) atributos edáficos disponibles o estimados de la cartografía de suelo, ii) representatividad de una unidad geomorfológica, e iii) calibración local. En la Tabla 3 se presentan los métodos seleccionados y el dominio de suelos donde se aplican. A los fines de contar con un mar-

co de referencia, se incluyó en la validación el modelo de Rawls *et al.* (1982) (método 4). Además de haber sido desarrollado a partir de una gran base de datos de suelos de EE.UU, este método resultó el mejor modelo de estimación entre las seis FPT más difundidas (Kern 1995). Los cuatro métodos empleados tienen en común ser modelos de regresión lineal múltiple de la forma:

$$\Theta_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_n X_{ni} \quad [1]$$

donde Θ es el contenido de agua volumétrico ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) del horizonte i , $\beta_{0,1,2,n}$ los coeficientes lineales de la FPT y X_i las variables edáficas o la misma variable transformada. Los modelos difieren en los coeficientes y variables, producto de los datos experimentales empleados. Todos los métodos emplean el espesor de cada horizonte y la textura como variables independientes. Los métodos de Pecorari *et al.* (1988) y Rawls *et al.* (1982) emplean tam-

bién la materia orgánica, el de Travasso y Suero (1994) el $\Theta_{-33 \text{ kPa}}$ estimado, y el de Damiano *et al.* (1996) la actividad de la arcilla estimada por la capacidad de intercambio catiónico. Los algoritmos básicos de los cuatro modelos de retención de agua del suelo son presentados en la Tabla 4.

Estimación de capacidad de agua disponible para la planta con FPT

Con los valores de Θ a los potenciales de -33 kPa y -1500 kPa por horizonte i del suelo k se calculó la capacidad de agua disponible para la planta (CADP):

$$CADPk = \sum_{i=1}^n s_i * (\Theta_{33} - \Theta_{1500})_i \quad [2]$$

siendo s el espesor y n la cantidad de horizontes. La suma de todos los horizontes resultó en la lámina de agua disponible (mm). Si bien las raíces de los principales cultivos pueden superar los dos

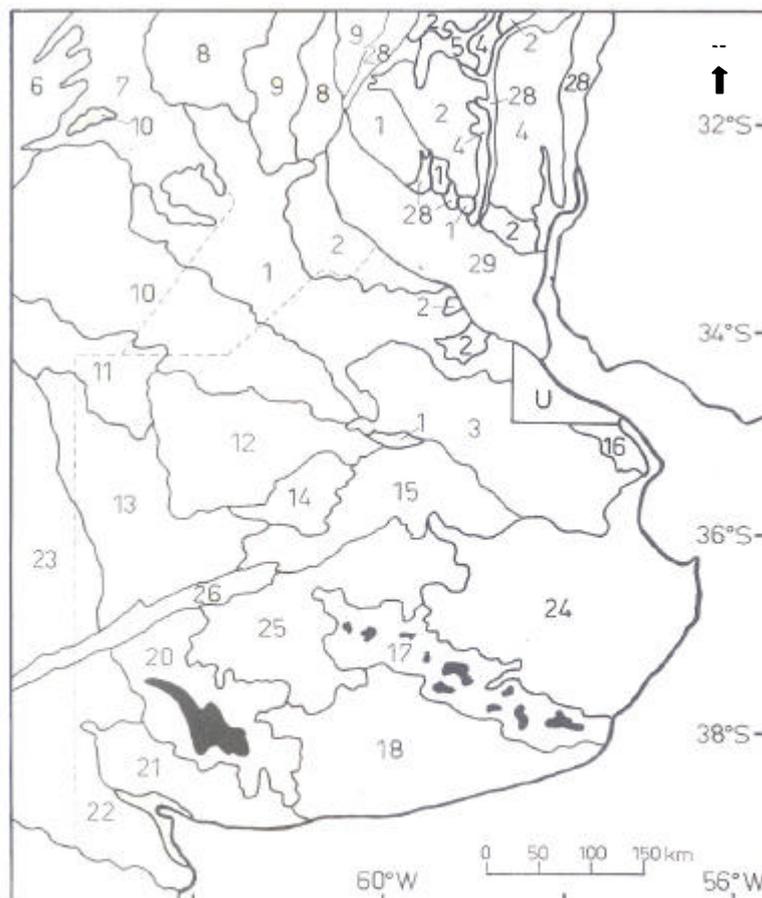


Figura 2. Principales asociaciones de suelo de la región pampeana y áreas adyacentes. Las asociaciones de suelo se identifican en la Tabla 1. Fuente: Hall *et al.* (1992).

Figure 2. Main soil associations of the pampean region and adjacent areas. Soil associations are identified in Table 1. Extracted from Hall *et al.* (1992).

Tabla 1. Principales asociaciones de suelo de la región pampeana y áreas adyacentes agrupadas por unidad geomorfológica. Para ubicación en subregiones y distribución geográfica ver Figuras 1 y 2, respectivamente.
 Table 1. Main soil associations of the pampean region and adjacent areas as grouped by geomorphological units. Their location in subregions and their geographical distribution can be found in Fig. 1 and 2, respectively.

Unidad Geomorfológica	Asociaciones de Suelo
<i>Región Pampeana</i>	<i>SubGrupos en orden de dominancia</i>
A. Pampa Ondulada	1. Argiudoles Típicos 2. Argiudoles Vérticos 3. Argiudoles Ácuicos, Argiudoles Típicos, Hapludoles Tpto Árgicos 16. Cromudertes Típicos
B1. Pampa Interior Plana	10. Hapludoles Énticos, Hapludoles Típicos, Haplustoles Énticos 11. Hapludoles Tpto Árgicos, Hapludoles Típicos, Haplustoles Udorténticos. 12. Hapludoles Énticos, Hapludoles Tpto Árgicos, Hapludoles Típicos 14. Hapludoles Tpto Árgicos, Hapludoles Énticos 15. Hapludoles Énticos, Hapludoles Tpto Árgicos, Hapludoles Tpto Nátricos 26. Sistema de lagunas encadenadas
B2. Pampa Interior Occidental	13. Hapludoles Énticos, Hapludoles Típicos 23. Haplustoles Énticos, Haplustoles Típicos, Hapludoles Énticos
C. Pampa Austral	17. Argiudoles Típicos, Argiudoles Ácuicos, Hapludoles Petrocálcicos 18. Argiudoles Típicos Someros, Argiudoles Típicos 20. Argiudoles Típicos, Argiudoles Típicos Somero, Hapludoles Petrocálcicos
D. Pampa Inundable	24. Hapludoles Tpto nátricos, Hapludoles Tpto Argicos 25. Hapludoles Tpto Nátricos, Argiudoles Típicos Someros
E. Pampa Mesopotámica	4. Peludertes Argiudólicos 5. Ocracualfes Típicos 28. Udifluventes Óxicos, Argiudoles Ácuicos, Haplumbreptes Fluvénticos
<i>Area Adyacente</i>	
Pampa Loéssica Alta (Cba.)	6. Haplustoles Énticos
Pampa Loéssica Plana	7. Argiudoles Típicos
Pampa Llana Santafesina (S. Fe)	8. Argiudoles Típicos, Argiudoles Ácuicos
Bajos Submeridionales	9. Argiudoles Ácuicos, Argiudoles Típicos
Pampa Semiárida Bonaerense (Bs. As.)	21. Haplustoles Típicos, Argiustoles Típicos 22. Haplustoles Énticos, Calciustoles Petrocálcicos, Haplustoles Arídicos.
Depósitos aluviales U: Area Urbana	29. Complejo aluvial

Tabla adaptada de Hall *et al.* (1992).

metros en suelos sin limitantes (Fagioli 1973), en general, se acepta una profundidad efectiva de almacenaje y consumo por el vegetal de un metro (Batjes 1996). En los perfiles de suelo con limitantes al sistema radical, como ser: mecánica (tosca o roca), textural (horizontes B argílicos muy arcillosos y propiedades vérticas), química (sodio de intercambio) y/o hídrica (hidromorfismo o per-

meabilidad) se restringió la profundidad a valores acordes con la profundidad de la limitante en cuestión. Los suelos de la Pampa Ondulada con horizontes Bt con elevados porcentajes de arcilla pueden afectar la velocidad de elongación de las raíces de cultivos de maíz, limitando el desarrollo y consecuentemente el aporte de agua y nutrientes en períodos críticos como la floración (Otegui *et*

Tabla 2. Unidades taxonómicas de suelo empleadas en la validación y selección de funciones de pedo-transferencia de aplicación en la región pampeana y áreas adyacentes

Table 2. Soil taxonomical units used to validate and select pedo-transfer functions suitable to the pampean region and adjacent areas.

Unidad	Suelo		Unidad de Mapeo	Ubicación	
	SubGrupo			Latitud Sur	Longitud Oeste
M. Juárez	Argiudol	Típico	1	32° 35'	62° 05'
Roldán	Argiudol	Vértico	2	32° 43'	60° 55'
San Claudio	Hapludol	Típico	12	35° 27'	61° 14'
Anguil	Haplustol	Árido	23	36° 30'	63° 49'
Balcarce	Argiudol	Típico	17	37° 45'	58° 18'
Udaondo	Hapludol	Tapto Árgico	24	35° 26'	57° 55'
Ramblones	Peluderte	Argiudólico	4	30° 31'	59° 16'
Oncativo	Haplustol	Éntico	6	31° 57'	63° 44'
Monte Buey	Argiudol	Típico	7	32° 56'	62° 22'
Los Cardos	Argiudol	Típico	9	32° 20'	61° 40'

al. 1995). Esta limitación se manifiesta particularmente cuando el suelo se encuentra húmedo, y no cuando está seco y con grietas (Prystupa, Lemcoff 1998). Pecorari, Balcaza (1988) informaron que el 93% de las raíces de un cultivo de maíz se halla entre 0 y 60 cm. A resultados similares llegaron Wilson, Valenzuela (1998) en un suelo Argiudol Vértico de Entre Ríos, cultivado con trigo.

La CADP por unidad de mapeo u se obtuvo como:

$$CADPu = \sum_{k=1}^m p_k * CADPk \quad [3]$$

donde p es la proporción entre el área del suelo k y el total de la unidad u ; m es el número de suelos de la unidad.

Las unidades de suelo no pueden ser delineadas a la escala 1:500 000, por lo que se las agrupó, entonces, en unidades de mapeo diferenciando la lámina de agua en el perfil y en la

capa arable (horizontes Ap y A). La presentación espacial (mapa temático) de los valores de CADPu (objetivo b) fue construida mediante la confección de una grilla con variograma lineal (procedimiento *Krigging*), sobre unidades de mapeo del área de influencia de 35 estaciones meteorológicas de la región pampeana (INTA, Servicio Meteorológico Nacional) y dos localidades de la provincia de Entre Ríos. El mapa, definido por un conjunto de líneas de igual valor, fue finalmente impreso con el programa Surfer v. 5.0 (Surface Mapping System 1993).

RESULTADOS Y DISCUSION

Validación y selección de modelos de regresión lineal múltiple

Los valores de CADP estimados por todos los métodos y los observados por los diferentes autores variaron, en línea general,

Tabla 3. Modelos de retención hídrica calibrados para suelos agrícolas de la región pampeana

Table 3. Water retention models calibrated for agricultural soils of the pampean region.

Método	Unidad Geomorfológica de Aplicación	GranGrupo de Aplicación	Calibración R^2	n
1. Pecorari <i>et al.</i> (1988)	Pampa Ondulada	Argiudoles y Hapludoles	0,38-0,86	45
2. Travasso, Suero (1994)	Pampa Austral	Argiudoles	0,70-0,74	151
3. Damiano <i>et al.</i> (1996)	Pampa Ondulada y Pampa Interior Plana	Argiudoles y Hapludoles	0,88-0,90	36

n, cantidad de horizontes

Tabla 4. Coeficientes y variables de los algoritmos básicos de cuatro modelos de retención de agua del suelo.
Table 4. Coefficients and basic algorithms of four soil water retention models.

Modelo	Potencial mátrico kPa	Ecuaciones paramétricas
1. Pecorari <i>et al.</i> (1988)	-33 (a) -33 (b) -1500 (c) -1500 (d)	$\Theta = 6,85 + 0,360 * (C + LF)$ $\Theta = 4,36 + 0,430 * (C + LF)$ $\Theta = 5,89 + 0,341 * C + 0,036 * LF + 0,235 * MO$ $\Theta = 4,04 + 0,252 * C + 0,206 * LF$
2. Travasso, Suero (1994)	-33 [33-1500]	$\Theta = 5,5868 + 0,61 * C + 0,203 * LF$ [1] $\Theta = -0,0686 + 0,476 * [1]$
3. Damiano <i>et al.</i> (1996)	-33 -1500	$\Theta = 0,3718 - 0,0029 * A + 1,1836 * (1/A)$ $\Theta = 0,0233 + 0,0042 * C - 0,9636 * (1/C) + 0,1318 * AA$
4. Rawls <i>et al.</i> (1982)	-33 -1500	$\Theta = 0,2576 - 0,002 * A + 0,0036 * C + 0,0299 * MO$ $\Theta = 0,026 + 0,005 * C + 0,0158 * MO$

Θ : contenido de agua, % en peso (método 1: a y c, horizonte superficial; b y d, horizonte subyacente), % en volumen (método 2), cm³/cm³ (métodos 3 y 4); C: arcilla, < 2 μm (%); LF: limo fino, 2-20 μm (%); A: arena, 50-2000 μm (%); MO: materia orgánica, % [CO * 1,73]; AA: actividad de la arcilla; método 1: % en volumen [% en peso * densidad aparente en Mg m⁻³].

según la textura y la profundidad del perfil (Tabla 5). Los suelos de textura fina (M. Juárez, Oncativo, Monte Buey y Los Cardos) tuvieron mayor disponibilidad de agua que (i) los suelos de textura gruesa (Anguil, San Claudio) y (ii) los suelos de textura fina con limitantes en la zona radical (Roldán, Ramblones). En situación intermedia se ubicaron los suelos de textura media (Balcarce, Udaondo).

El grado de precisión, medido a través

de error relativo (ER) constituye el paso previo en la elección de FPT. El ER absoluto para el conjunto de suelos osciló entre 16 y 28 % (rango 1 a 49 %), con excepción del método 3 (Damiano *et al.* 1996), cuyo error fue 56 % (rango 5 a 224 %). Como ningún método fue superior en todos los casos, el agrupamiento de los suelos según su clase textural mejoró el nivel de precisión. Los métodos 1 (Pecorari *et al.* 1988) y 4 (Rawls *et al.* 1982) fueron más

Tabla 5. Estimación de la capacidad de almacenaje de agua disponible en series de suelo de la región pampeana y áreas adyacentes

Table 5. Estimation of available soil water in Soil Series of the pampean region and adjacent areas.

Unidad	Capacidad de agua disponible para la planta estimada por					
	Pecorari	Travasso	Damiano	Rawls	Observado	Profundidad
	mm				cm	
M. Juárez	183	142	310	193	159	100
Oncativo	159	99	291	195	166	100
Monte Buey	159	128	194	177	204	100
Los Cardos ⁽¹⁾	281	181	221	225	280	100
Roldán	77	56	269	89	83	40
Ramblones	55	56	100	86	83	39
Balcarce	109	129	82	139	174	100
Udaondo	64	94	123	118	91	70
San Claudio ⁽²⁾	348	262	272	309	292	100
Anguil	60	43	62	61	84	62

Lámina de agua retenida a -1500 kPa (1) y -33 kPa (2)

Tabla 6. Estimación de la capacidad de agua disponible (lámina en mm) en el perfil y en la capa arable para las principales asociaciones de suelo agrícola que conforman las distintas unidades geomorfológica de la región pampeana y áreas adyacentes

Table 6. Estimation of available soil water [water depth in mm] in soil profile and the plow layer, in the main Soil Associations of geomorphological units of the pampean region and adjacent areas.

Unidad de Mapeo	Capacidad de agua disponible		Profundidad del Perfil cm
	Perfil	Capa arable	
	mm		
1. Pampa Ondulada	169	32	95
2.	58	37	33
3.	90	27	73
16	49	26	40
10. Pampa Interior Plana	69	32	66
11.	82	33	85
12.	81	31	79
14	92	32	89
15.	78	32	66
13. Pampa Interior Occidental	82	32	71
23.	43	23	43
17. Pampa Austral	109	35	76
18.	111	27	88
20.	78	27	57
24. Pampa Inundable	67	32	61
25	69	24	56
4. Pampa Mesopotámica	55	29	39
28.	72	21	67
6. Pampa Loésica Alta	158	41	100
7. Pampa Loésica Plana	159	35	100
8. Pampa Llana Santafesina	165	40	78
9. Bajos Submeridionales	102	39	52
21. Pampa Semiárida Bonaerense	77	27	53
22.	36	14	68

precisos (error = 13 %) en suelos de textura franco limosa a arcillo limosa (valores sombreados en la Tabla 5). En el extremo opuesto a este grupo textural se ubicó el método 3 (Damiano *et al.* 1996), cuyo error fue 73 %. Este método sobrestimó el contenido de humedad retenido a -33 kPa en la Serie Roldán (arena < 3 %), y subestimó el retenido a -1500 kPa en la Serie Oncativo (arcilla < 16 % y limo > 65 %). En cambio, el modelo 3 (Damiano *et al.* 1996) estimó adecuadamente en las Series Monte Buey y Los Cardos, las cuales estuvieron dentro de su rango de calibración (Damiano *et al.* 1996). En suelos franco a franco arcillosos, el método 2

(Travasso, Suero 1994) superó claramente (error = 14 %) a los otros tres modelos. Lo propio hicieron los métodos 3 (Damiano *et al.* 1996) y 4 (Rawls *et al.* 1982) en suelos de textura franco arenosa a arena franca (ER= 16 %). Estos grados de precisión encuadran con los valores comúnmente aceptados con fines de modelización (Pachepsky *et al.* 1999), máxime si consideramos que los datos entre autores no son homogéneos debido a que aplicaron diferentes técnicas de medición. En síntesis, los métodos presentados respondieron mejor dentro del área del país donde fueron generados (Tabla 3). Por ello, este procedimiento textura - dependiente de

selección de FPT puede ser utilizado con cierto grado de confiabilidad para estimar la CADP en suelos pampeanos.

Estimación y caracterización espacial de la capacidad de agua disponible para la planta

Las unidades taxonómicas de suelos de la región pampeana y áreas adyacentes (Tabla 1) presentaron CADP entre 28 y 180 mm. El 31 % de los suelos (19 casos de un total de 61) tuvieron CADP entre 80 y 140 mm. Los valores inferiores a 50 mm (18 %) estuvieron asociados con perfiles poco evolucionados y contenido de arena mayor a 65 % (Haplustoles Enticos, Calciustoles Petrocálculos), o con espesores menores que 50 cm (Hapludoles Petrocálculos, Peludertes Argiudólicos, Hapludoles Tpto-Nátricos). Los valores mayores que 140 mm (19 %) se ubicaron en suelos bien desarrollados y sin restricciones al desarrollo del sistema radical (i.e. Argiudoles

Típicos).

Según surge de la Tabla 6, existe un gradiente hídrico vectorial de dirección SO-NE, que se corresponde con el material originario (grueso a fino) y las condiciones climáticas (semiárido a subhúmedo). Este contraste también se manifiesta al relacionar la lámina de agua de la capa arable con la del perfil, cuya relación fue 53 % en la Pampa Interior Occidental (unidad 23) y sólo 19 % en la Pampa Ondulada (unidad 1). Esta diferencia pone de manifiesto la influencia de la materia orgánica para aumentar la capacidad de retención de los suelos arenosos (Kern 1995; Villamil *et al.* 1997). En general, las CADP de las subregiones hídricas pampeanas y áreas adyacentes respondieron a: (i) la clasificación taxonómica en Sub-Grupos de suelo, (ii) la composición granulométrica en clases texturales, y (iii) las restricciones mecánicas en la zona radical. Estos resultados sugieren que la sensibilidad del procedimiento

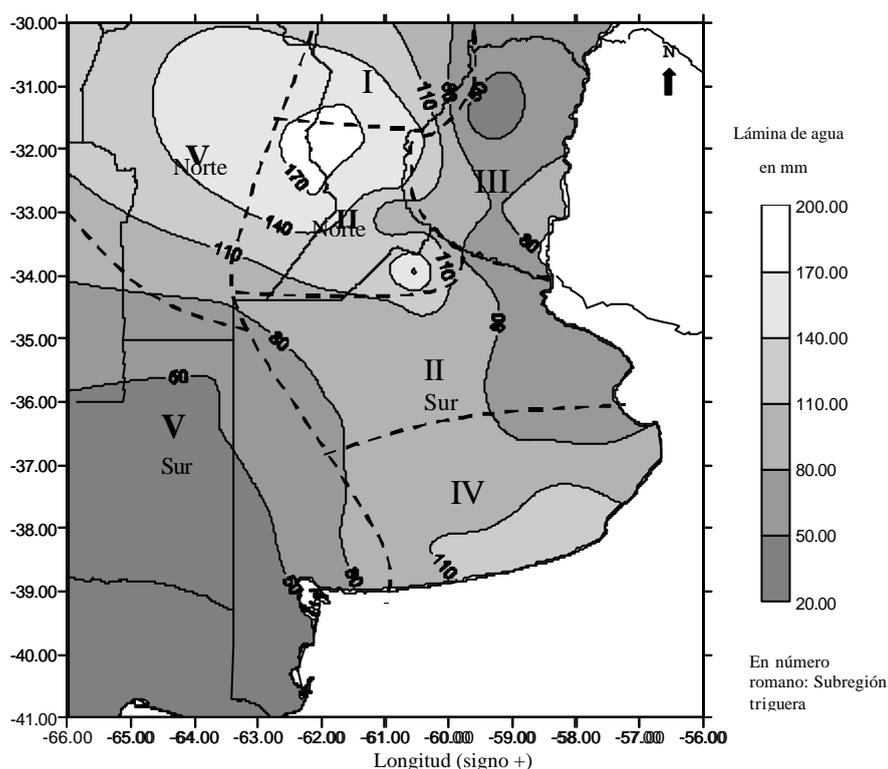


Figura 3. Distribución geográfica de la capacidad de agua disponible de suelos agrícolas en la región pampeana y áreas adyacentes. Límites de las regiones trigueras establecidas por la SAGPyA (- - -).

Figure 3. Geographical distribution of the available water in agricultural soils of the pampean region and adjacent areas. Limits of the wheat production regions were established by SAGPyA (- - -).

fue adecuada.

Mapa de capacidad de agua disponible para las plantas de suelos pampeanos

La presentación de un mapa temático de CADP en función de la distribución geográfica de unidades de mapeo plantea cierta discontinuidad entre límites (e.g. unidad 1 y 10). Este inconveniente se subsanó mediante la interpolación de 37 sitios que cubren la región pampeana en su totalidad. Las subregiones hídricas fueron sistematizadas en seis niveles con intervalos de 30 mm, para un rango que osciló entre 28 y 175 mm. Sin embargo, las variaciones temporales relacionadas con cambios en la vegetación y el manejo podrían causar variaciones en las propiedades hidráulicas comparables con las variaciones a escala regional (Pachepsky *et al.* 1999). El mapa de CADP de los suelos pampeanos se presenta en la Figura 3.

El tercio inferior (menor a 80 mm) se correspondió con la «subregión triguera V sur» (51 mm de promedio), que ocupa un 9 % de la superficie pampeana (5,2 Mha). El tercio superior (mayor a 140 mm) ocupa un 10 % de la superficie pampeana (5,8 Mha), y coincidió en casi su totalidad con la denominada «región núcleo maicera y II norte triguera» (129 mm), de reconocida productividad y marcada trascendencia en el contexto de la economía agrícola nacional. En la franja intermedia (80 a 110 mm) se ubicó la «subregión triguera IV» con una media de 102 mm, y un 18 % de la superficie pampeana (10,4 Mha). En la «subregión triguera III» (Entre Ríos) el gradiente hídrico entre las costas del río Paraná (Molisoles) y río Uruguay (Entisoles e Inceptisoles) fue de 80 mm (154 a 74 mm, respectivamente), pasando por los Vertisoles (28 a 55 mm). Anteriormente, en esta misma región, Falasca *et al.* (1997) no hallaron marcadas diferencias en el contenido de agua útil estimada por la FPT de Ritchie *et al.* (1987). Esta diferencia de estimaciones es un claro ejemplo de la mejor sensibilidad del procedimiento «Suelo-FPT-CADP» empleado en este trabajo. Recientemente, hemos comprobado que el método de Ritchie fue el peor entre cinco FPT validadas con suelos arenoso franco a arcillosos representativos de la cuenca del río Arrecifes (provincia de Bs. As.)

(Damiano, Taboada 2000).

Los CADP de la capa arable mantuvieron el gradiente hídrico entre subregiones extremas (35 a 23 mm), pero las diferencias no fueron tan acentuadas como a nivel del perfil. Probablemente, ello se relaciona con las buenas propiedades físicas, químicas y biológicas del horizonte superficial de los Molisoles de la Pradera Pampeana. Sin embargo, debe considerarse que estas propiedades edáficas fueron relevadas hace casi tres décadas, cuando el uso y manejo de los suelos era menos intenso que el actual. Estudios recientes indican que hay sectores de las provincias de Buenos Aires, Córdoba, Santa Fe y Entre Ríos que están afectados por distintos procesos de erosión hídrica y eólica, y deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Ello afecta negativamente a propiedades edáficas determinantes de CADP. Por ejemplo, Barbosa *et al.* (1997) determinaron descensos de hasta 23 % en el contenido hídrico retenido a -33 kPa por el horizonte A de suelos limosos a causa de la degradación. Del mismo modo, en parcelas experimentales del área de influencia de la EEA Marcos Juárez de INTA, bajo diferentes sistemas de labranzas y cultivos por más de 20 años, se midieron láminas de agua al final del ciclo tan disímiles como 10 y 40 mm m⁻¹ (Thomas 1994). En la región semiárida, el exceso de laboreo y el sobrepastoreo afectan también negativamente a variables edáficas (e.g. densidad aparente, estabilidad estructural, porosidad total, resistencia mecánica), que inciden directamente en procesos (e.g. infiltración básica, escurrimiento, absorción de agua) relacionados con CADP (Villamil *et al.* 1997).

CONCLUSIONES

- a) Las ecuaciones de regresión lineal múltiple estimaron aceptablemente los límites de retención de agua, a partir de un mínimo de información disponible en la cartografía de suelo.
- b) Los valores estimados de capacidad de agua disponible en el perfil variaron con la textura y la profundidad de enraizamiento: (i) textura fina > (ii) textura media > (iii) textura gruesa = (iv) textura fina con limitantes en la zona radical.

- c) La capa arable es responsable de hasta un 50 % de la capacidad de agua disponible en suelos del oeste pampeano, y de sólo un 20 % en suelos de la Pampa Ondulada.
- d) Se construyó un mapa temático de capacidad de agua disponible para los cultivos en suelos pampeanos (escala 1:500 000), cuya información puede ser utilizada de ahora en más con fines de modelización del balance de agua.

REFERENCIAS

- Barbosa O A, Taboada M A, Rodríguez M B, Cosentino D J. 1997. Regeneración de la estructura en diferentes fases de degradación de un suelo franco limoso de la Pampa Ondulada (Argentina). *Ciencia del Suelo* 15: 81-86.
- Batjes N H. 1996. Development of a world data set of soil water retention properties using pedotransfer rules. *Geoderma* 71: 31-52.
- Damiano F, Díaz R A, Grondona M O. 1996. Evaluación de una función uni-parámetrica para la estimación de la curva de retención de agua en suelos agrícolas. *Actas del XVI Congreso Nacional del Agua*. San Martín de los Andes, Argentina. Trabajo N° 148.
- Damiano F, Taboada M A. 2000. Capacidad de agua disponible en suelos agrícolas de la Pampa Ondulada usando funciones de pedo-transferencia. *Actas XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Mar del Plata, Argentina. Comisión I- N° 29.
- Fagioli M. 1973. Desarrollo de los aparatos radicales en cultivos de maíz y trigo en la región de Pergamino (Prov. de Buenos Aires). *Revista de Investigaciones Agropecuarias (INTA)*. Serie 2, *Biología y Producción Vegetal* 10: 111-135.
- Falasca S, Zabala S M, Bernabe M A, Ulberich A. 1997. Una metodología complementaria para el cálculo del balance hídrico en la provincia de Entre Ríos. *Revista Facultad de Agronomía* 17: 107-110.
- Hall A J, Rebella C M, Ghersa C M, Culot J Ph. 1992. Field-crop systems of the Pampas. p. 413-450. En: C.J. Pearson (Ed.). *Ecosystems of the Worlds*. Field Crop Ecosystems., Elsevier, Amsterdam.
- Kern J S. 1995. Evaluation of soil water retention models based on basic soil physical properties. *Soil Science Society of America Journal* 59: 1134-1141.
- Klute A. 1986. Water Retention: Laboratory Methods. p: 635-662. En: A. Klute (ed.) *Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods*, 2nd Ed. Agronomy N° 9, Madison, Wisconsin, USA.
- Otegui M E, Andrade E H, Suero E E. 1995. Growth, water use, and kernel absorption of maize subjected to drought at silking. *Field Crops Research* 40: 87 - 94.
- Pachepsky Y A, Rawls W J, Timlin D J. 1999. The current status of pedotransfer functions: Their accuracy, reliability, and utility in field- and regional- scale modeling. En *American Geophysical Union, Assessment of non-point source pollution in the vadose zone*. Geophysical Monograph 108, 223-234.
- Pecorari C, Balcaza L F. 1988. Influencia de los horizontes B2 sobre el consumo de la reserva de agua útil en suelos del área maicera típica. Informe técnico N° 215. EEA Pergamino. 28 p.
- Pecorari C, Balcaza L F, Frutos E. 1988. Relaciones empíricas entre contenido de agua, textura y materia orgánica en suelos representativos de la Pampa Ondulada. Informe Técnico N° 212. EEA Pergamino. 32 p.
- Prystupa P, Lemcoff J H. 1998. Increased root density of maize crops under drought in a Typic Argiudoll. *Maydica* 43, 271 - 276.
- Rawls W J. 1983. Estimating soil bulk density from particle size analysis and organic matter content. *Soil Science* 135: 123-125.
- Rawls W L, Brakensiek D L, Saxton K E. 1982. Estimation of soil water properties. *Transactions of the ASAE* 25: 1316-1320.
- Ritchie J T, Ratliff L F, Cassel D K. 1987. Soil laboratory data, field descriptions and field measured soil water limits for some soils of the United States. *ARS Technical Bulletin*. USDA. 276 p.
- Surface Mapping System. 1993. *Surfer v. 5.0*. Golden Software, Inc. Golden, Colorado.
- Thomas G. 1994. Informe del estudio sobre humedad en parcelas de ensayos en la EEA Marcos Juárez. *Información para Extensión* N° 9 EEA M. Juárez. 21 p.
- Totis de Zeljkovich L E, Zeljkovich V J, Pérez O G. 1996. Manejo del agua de riego en el cultivo de maíz en la zona norte de la provincia de Buenos Aires. *Actas del 7º Congreso Argentino de Agrometeorología*. Buenos Aires. p.27-28.
- Travasso M I, Suero E E. 1994. Estimación de la capacidad de almacenaje de agua en suelos del sudeste bonaerense. *Boletín Técnico* N° 125. EEA Balcarce. 9 p.
- van Engelen V W P, Peters W L. 1995. Soils and terrain digital database for six countries in Latin America at scale 1:5 000 000 (SOTER-LA). I.S.R.I.C. Final Report. 22 p.
- Villamil M B, Amiotti N M, Peinemann N. 1997. Pérdida de fertilidad física en suelos del sur

del caldenal (Argentina) por sobrepastoreo.
Ciencia del Suelo 15: 102-104.
Wilson M G, Valenzuela O R. 1998. Evaluación

del sistema radical del cultivo de trigo mediante
dos métodos de medición. Revista Científica
Agropecuaria 2: 29-35.

ADSORCION DE FOSFORO POR SUELOS ACIDOS DE MISIONES (ARGENTINA)

S VAZQUEZ, LA MORALES

Cátedra de Edafología F. C. A. UNNE, Sargento Cabral 2131 3400 Corrientes Argentina. E-mail: lam@agr.unne.edu.ar

Recibido 3 de octubre de 1999, aceptado 25 de octubre de 2000.

PHOSPHORUS ADSORPTION BY ACID SOILS FROM MISIONES (ARGENTINA)

Phosphorus deficiency in acid soils is related to soil ability to fix this element through adsorption and precipitation reactions. In order to select the best mathematical model for phosphorus adsorption in soils from Misiones (Argentina), A horizons samples from seventeen different soils were analyzed. Adsorption isotherms were determined by Fox and Kamprath method. Data were performed by Langmuir and Freundlich equations, and by a combined model of Langmuir - Freundlich, that resulted the best one. According to the Langmuir - Freundlich the different soils could be grouped into very high, high, medium and low phosphorus adsorption capacity. The K_{ds} coefficient of combined model Langmuir - Freundlich were negatively related with loam, Ca, Sums of bases, and total P, and positively with aluminum-oxalate.

Key words: phosphorus-adsorption-acid soil.

INTRODUCCION

Una de las principales limitantes en la producción de cultivos en Misiones es la baja disponibilidad de fósforo (P) en Oxisoles, Ultisoles y Alfisoles predominantes, a pesar del alto contenido de P total (Vazquez *et al.* 1998). En suelos ácidos como los de Misiones la adsorción de P está generalmente atribuida a los óxidos e hidróxidos de Fe y Al y a otras propiedades del suelo. Este fenómeno ha sido estudiado a través de isotermas de adsorción ajustadas a modelos matemáticos como los de Langmuir o Freundlich, ya sea para comprender la dinámica del P en distintos sistemas como para utilizarlas como diagnóstico para el requerimiento de fertilizantes. Varios autores encontraron mejor ajuste con la ecuación de Freundlich que con la de Langmuir (Yuan Lucas 1982, Sanyal *et al.* 1993, Zhou *et al.* 1997), especialmente a altas concentraciones de P en solución de equilibrio. Mendoza (1986) trabajando con Oxisoles de Misiones determinó que la ecuación de Freundlich fue superior a las de Langmuir y Temkin, ya que estas subestimaban la adsorción en concentraciones bajas y altas y sobrestimaban en valores medios. En nuestro país se han usado distintas ecuaciones para las diferentes regiones (Giuffrè de López Camelo *et al.* 1984, Mendoza 1986, Buschiazzo *et al.* 1990

Quinteros *et al.* 1996) pero, para algunos suelos de Misiones los modelos propuestos no permiten una descripción adecuada de la adsorción de P. El fracaso de los modelos de simple reacción para describir adecuadamente la retención y particularmente la lenta liberación de solutos originó el desarrollo de modelos de múltiples sitios de reacción, siendo uno de ellos el modelo de dos superficies de Langmuir desarrollado por Sposito (1982). Shen *et al.* (1997) propusieron, para las isotermas de adsorción total de $\text{NH}_4^+ - \text{K}^+$, un modelo similar al de Langmuir de dos superficies combinando las ecuaciones de Langmuir-Freundlich. En esta combinación la parte correspondiente a la ecuación de Langmuir explicaría los primeros estados de la adsorción mientras que, la correspondiente a Freundlich, los estados avanzados después que la de Langmuir ha alcanzado el máximo estado de equilibrio.

Borggaard *et al.* (1990) encontraron que la máxima adsorción de P fue correlacionada significativamente con óxidos de Fe y Al poco cristalizados. Sanyal *et al.* (1993) obtuvieron una relación positiva de la adsorción máxima de Langmuir con el Fe-Al extraído en oxalato, el Al reactivo, la arcilla y el contenido de materia orgánica y, una correlación negativa, con el pH y el P-Bray 2. Un comportamiento

similar tuvo el parámetro K de la ecuación de Freundlich. Yuan, Savkulich (1994) no observaron correlación entre los parámetros de sorción y el Fe-ditionita, Fe-oxalato y el total de carbono orgánico. Freese *et al.* (1992) propusieron que el P orgánico, que representa el P originalmente adsorbido por los óxidos e hidróxidos amorfos de Fe y Al, debería ser tomado en cuenta en los modelos de adsorción. Sanyin *et al.* (1990) trabajando con suelos arcillosos, llegaron a la conclusión que la mayor sorción de P por la fracción limo se debería a la presencia en ese tamaño de partículas de Fe amorfo o ligeramente cristalino.

El objetivo del presente trabajo fue seleccionar el modelo matemático que mejor ajuste la adsorción de P en suelos de Misiones (Argentina) y establecer si existen relaciones entre las variables edáficas que la determinan y los parámetros de adsorción, que se obtienen de los modelos matemáticos aplicados.

MATERIALES Y METODOS

En Misiones se tomaron diecisiete muestras de suelo del horizonte A de pedones de distintos orígenes y bajo diferentes condiciones de manejo. La clasificación y propiedades de los mismos se detallan en la Tabla 1. Se determinó el contenido de arcilla, limo y arena por el método densimétrico de Bouyoucos. El pH fue medido en suspensión suelo agua 1:2.5; el carbono orgánico (CO) fue analizado por el método de Walkley-Black, Fe y Al (Fe_{ox} , Al_{ox}) fueron extractados con solución de oxalato de amonio (pH = 3) por 2 hs. (Loeppert *et*

al. 1996) y los contenidos de Fe y Al fueron determinados por espectrofotometría de absorción atómica. El Al, acidez y bases intercambiables (Al_{int} , Ac_{int} y S_{int}) fueron desplazados con solución acuosa 1 mol dm^{-3} de NaCl. Se determinaron los contenidos de Al_{int} y Ac_{int} por titulación. Los contenidos de P total (PT) y el P orgánico (PO) se obtuvieron empleando la metodología de Bowman (1989). El P disponible fue extractado con Bray 2 y Olsen (Kuo 1996).

Las isothermas de adsorción se determinaron de acuerdo al método de Fox y Kamprath (1970): se equilibraron 5 g de muestra pasada por tamiz de 2 mm (por triplicado) en 50 mL de $CaCl_2$ 0,01M, conteniendo 0, 40, 80, 160, 240, 320, 400, 480, 560 y 640 $mg P kg^{-1}$ de KH_2PO_4 durante 6 días y se almacenaron en cámara climática a 25°C. Cada muestra recibió tres gotas de tolueno para inhibir el crecimiento de microorganismos. Las muestras fueron agitadas durante 30 minutos, dos veces por día, en un agitador horizontal a 180 rpm. El P se determinó colorimétricamente por el método de Murphy y Riley (Kuo 1996). La diferencia entre las concentraciones de P agregado y P remanente en la solución de equilibrio fue considerada como el P adsorbido. Los datos del P adsorbido por unidad de peso (X, $mg kg^{-1}$) y las concentraciones de P en la solución de equilibrio (C, $mg L^{-1}$) se ajustaron con las siguientes ecuaciones:

Ecuación de Langmuir:

$$X = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot C}{1 + k_1 \cdot C}$$

donde k_1 ($mg L^{-1}$) es la constante de afinidad y k_2 ($mg kg^{-1}$) máxima adsorción.

Tabla 1. Características físicas y químicas de los suelos estudiados.
Table 1. Physical and chemical characteristics of the soils under study.

Suelo	pH	CO	g kg^{-1}				mg kg^{-1}				cmol $c kg^{-1}$				
			Arena	Limo	Arcilla	Fe_{ox}	Al_{ox}	P-Olsen	P-Bray 2	PT	PO	Ca	Ac_{int}	Al_{int}	
Kandiudalf Ródico	4.42	15.5	295	156	549	0.62	2.51	1.47	1.50	371	78	5.64	2.60	7.6	1.82
Kandiudalf Ródico	4.78	11.6	228	100	672	0.68	2.75	1.52	0.62	404	60	3.51	5.80	5.0	4.16
Kandiudalf Ródico	4.80	11.0	222	126	652	0.65	2.92	1.55	0.48	369	98	3.34	5.00	5.1	3.81
Kandiudalf Mólico	5.00	6.8	137	225	638	0.55	1.01	3.45	2.80	704	99	6.19	1.35	12.0	0.67
Kandihumult Típico	4.86	23.7	135	262	603	0.52	2.15	3.01	4.83	996	179	8.42	1.01	11.4	0.56
Eutrudox Ródico	5.17	11.7	122	194	684	0.51	1.61	2.15	1.50	675	179	5.98	1.30	7.2	0.83
Eutrudox Ródico	4.98	12.1	136	152	712	0.53	2.09	2.05	1.34	652	144	5.03	2.60	6.4	1.81
Eutrudox Ródico	5.14	10.5	136	134	730	0.54	2.14	1.91	1.35	564	99	5.53	1.03	7.8	0.58
Hapludalf Ródico	5.30	16.0	130	204	666	0.99	2.21	2.25	0.86	502	162	8.29	0.54	11.0	0.30
Hapludalf Ródico	5.16	16.4	119	127	754	1.10	2.15	2.43	1.76	493	133	7.58	0.95	9.8	0.59
Hapludalf Ródico	5.20	15.1	87	225	688	1.18	2.32	2.29	1.57	510	107	8.24	0.79	10.3	0.52
Hapludox Típico	4.51	15.5	96	196	708	0.57	3.04	2.74	4.16	626	158	3.01	7.93	4.2	6.26
Hapludox Típico	4.48	16.6	94	196	710	0.46	3.46	3.84	4.61	613	169	3.02	8.38	4.1	8.37
Kandihumult Típico	4.45	16.5	133	197	670	0.50	2.91	3.20	2.88	702	137	3.26	7.67	4.3	6.32
Kandihumult Típico	4.48	16.6	134	203	663	0.51	2.87	2.23	3.59	691	166	3.22	7.47	4.4	5.84
Hapludox Húmico	4.41	14.5	105	130	765	0.43	2.75	2.26	2.90	608	161	2.86	7.97	3.8	6.45
Hapludox Húmico	4.41	14.6	42	177	781	0.45	2.21	3.10	3.12	602	168	3.55	8.39	4.4	6.87

Tabla 2. Parámetros de equilibrio de los tres modelos de adsorción de P.
Table 2. Equilibrium parameters determined for the three models of P adsorption.

Tipo de adsorción	Suelo	Freundlich		Langmuir		Dos Superficies					
		K mg ^{1-1/n} L ^{1/n} kg ⁻¹	n	k ₁ ngL ⁻¹	k ₂ ngPkg ⁻¹	†	is	2 ds	†	†	
Muy Alta	Kandiudalf Ródico	761	0.28	77.1	582	574	142.2	422	280	0.60	699
	Kandiudalf Ródico	782	0.30	40.3	600	585	79.4	412	318	0.66	725
Alta	Kandiudalf Ródico	468	0.28	12.4	528	489	232.0	200	255	0.55	455
	Hapludox Típico	407	0.34	3.8	581	460	35.5	176	233	0.52	404
	Hapludox Típico	418	0.33	4.1	584	468	59.1	133	284	0.45	416
	Kandihumult Típico	399	0.32	3.5	580	452	53.7	221	174	0.62	391
	Kandihumult Típico	378	0.32	3.3	568	436	67.5	159	216	0.51	372
	Hapludox Húmico	449	0.36	3.0	645	485	59.7	180	264	0.57	441
	Hapludox Húmico	454	0.33	5.7	585	498	25.1	250	216	0.55	456
	Kandihumult Típico	230	0.42	0.6	637	227	0.4	473	102	0.28	225
	Eutrudox Ródico	278	0.29	1.5	521	311	56.2	62	219	0.34	281
	Eutrudox Ródico	308	0.30	1.6	560	346	35.4	80	235	0.36	313
Media	Eutrudox Ródico	291	0.30	1.6	536	328	130.4	73	218	0.37	291
	Hapludalf Ródico	235	0.34	0.7	559	223	77.9	91	144	0.47	234
	Hapludalf Ródico	288	0.32	1.4	552	320	52.6	62	229	0.37	290
	Hapludalf Ródico	267	0.34	1.0	563	288	22.1	84	190	0.43	270
Baja	Kandiudalf Mólico	164	0.36	0.5	472	148	3.1	107	93	0.46	174

† P adsorbido, estimado a una concentración de 1 mg L⁻¹ en la solución de equilibrio.

Ecuación de Freundlich:

$$X = K \cdot C^n$$

donde K (mg^{1-1/n} L^{1/n} kg⁻¹) y n son constantes. La constante K puede ser considerada como un índice del P adsorbido de una solución que tiene una concentración unitaria de P en el equilibrio e indica la capacidad relativa de adsorción P por distintos suelos.

Ecuación combinada Langmuir - Freundlich:

$$X = \frac{k_{1ds} \cdot k_{2ds} \cdot C}{1 + k_{1ds} \cdot C} + K_{ds} \cdot C^{n_{ds}}$$

donde k_{1ds}, k_{2ds}, K_{ds} y n_{ds} son constantes de las ecuaciones simples.

Se utilizó el procedimiento no lineal para la estimación de las constantes (SAS Inst. 1986). Se analizaron por regresión lineal simple las relaciones entre los coeficientes de la ecuación de mejor ajuste con las variables del suelo.

RESULTADOS Y DISCUSION

En general la ecuación de Freundlich produjo los mejores ajustes del P adsorbido, menor suma de cuadrados residuales que la de Langmuir, especialmente a altas concentraciones de P en la solución de equilibrio, concordando con lo encontrado por varios autores (Giuffré de López Camelo *et al.* 1984, Polyzopoulos *et al.* 1985, Mendoza 1986, Ratkowsky 1986, Sanyal *et al.* 1993). Esto se debería a que la ecuación de Freundlich tiene

en cuenta la disminución de la afinidad a medida que aumenta la saturación en la superficie, por lo que presenta mejor ajuste. En la mayoría de los suelos estudiados, a bajas concentraciones, el modelo de Langmuir presentó un mejor comportamiento, no así para las concentraciones medias y altas en forma similar a lo encontrado por Mendoza (1986). El modelo combinado presenta la ventaja de un mejor ajuste de los valores experimentales comparado con los de las ecuaciones de Freundlich y Langmuir, para todo el rango de concentraciones. En la Tabla 2 se muestran los valores de la constante de afinidad (k₁) y de máxima adsorción (k₂) de Langmuir y la capacidad relativa de adsorción de P (K) de Freundlich. Se puede observar una amplia variación para k₁ y K. El coeficiente k₂ presentó valores más uniformes, alcanzando 645 mg P kg⁻¹ de máxima adsorción. Esta cantidad sobrepasa el rango de concentraciones experimentales. Teniendo en cuenta los valores K de la ecuación de Freundlich y las curvas de sorción de cada uno de los suelos estudiados, se pueden agrupar los mismos en cuatro tipos: muy alta, alta, media y baja adsorción, coincidiendo las primeras categorías con curvas del tipo H y las dos últimas con las del tipo L (Sposito 1984). Al estimarse el P sorbido con el modelo de Langmuir y el de Langmuir - Freundlich, a una concentración

Tabla 3. Coeficientes de regresión no lineal, R² y suma de cuadrados residuales (SCR) de los modelos estudiados
Table 3. Regression coefficients no linear, R² and residual sums of square (RSS) of studied models.

Tipo de adsorción	Langmuir				Freundlich				Langmuir y Freundlich					
	k ₂	k ₁	R ²	SCR	K	1	R ²	SCR	ζ _{2 ds}	1 ds	K _{ds}	n _{ds}	R ²	SCR
Muy Alta	586.2	56.6	0.987	9895	768.8	0.282	0.995	25377	399.4	112.0	316.1	0.591	0.995	1534
Alta	579.4	4.356	0.975	24101	421.8	0.316	0.990	4365	141.4	49.2	284.2	0.418	0.992	1282
Media	549.2	1.149	0.979	13487	272.4	0.318	0.992	1553	37.1	60.6	236.9	0.351	0.992	1540
Baja	471.8	0.456	0.989	8102	164.1	0.357	0.998	900	106.8	3.1	93.3	0.459	0.999	183

en la solución de equilibrio de 1 mg L⁻¹, se obtuvo un agrupamiento de los suelos semejante a los obtenidos con la K de Freundlich (Tabla 2) ya que la misma representa la cantidad adsorbida cuando la concentración de equilibrio es unitaria. Con los datos experimentales de los suelos comprendidos en cada clase se estimaron nuevamente los coeficientes para los tres modelos. Tomando como criterio de selección la menor suma de cuadrados residuales, se seleccionó el modelo de dos superficies como el de mejor ajuste (Tabla 3). Las curvas de adsorción, calculadas con la ecuación combinada de Langmuir - Freundlich, con los valores promedios de cada punto experimental de cada grupo de suelo se presentan en la Figura 1.

Habiéndose seleccionado el modelo combinado, se correlacionaron sus coeficientes con

las variables de suelo. El coeficiente k_{2ds}, que representaría la capacidad máxima de adsorción no correlacionó con ninguno de los parámetros de los suelos analizados. Esta falta de correlación indicaría que ninguno de ellos por sí solo podría explicar esta propiedad. El coeficiente K_{ds} que mide el grado de saturación de los sitios de adsorción, se correlacionó negativamente al nivel de probabilidad a £ 0.01 n = 17 con el limo (0.76), Ca (0.62), suma de bases (0.72) y PT (0.65) y positivamente con Al_{ox} (0.63). La correlación negativa con el limo se contrapone a lo encontrado por Sayin *et al.* (1990). Sin embargo Fox, Kamprath (1970) sugirieron un más fácil acceso a las superficies activas de adsorción cuando estas se encuentran dispersas en un medio con partículas mayores, por lo que éstas actuarían como pantalla,

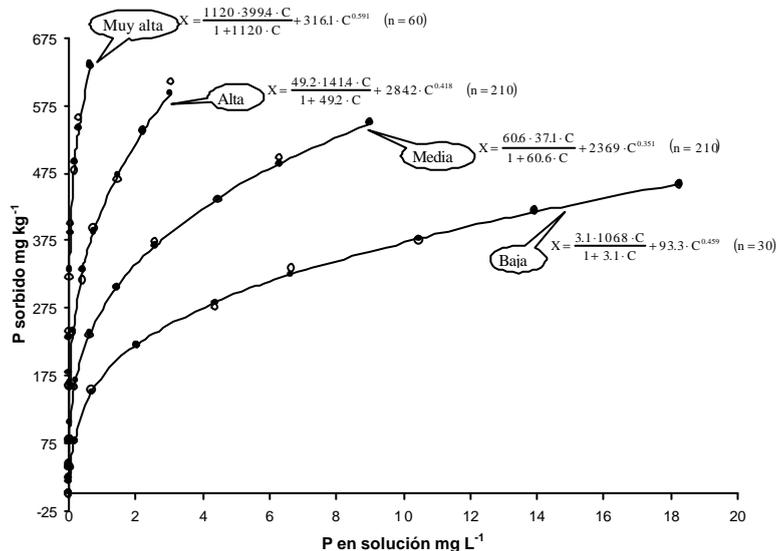


Figura 1. Clases de adsorción de P por suelos ácidos de Misiones, datos promedios de cada clase (○) y estimados (●) por la ecuación combinada de Langmuir - Freundlich.

Figure 1. P adsorption classes of acid soils of Misiones, data averages of each class (○) and estimated (●) by Langmuir - Freundlich combined equation.

impidiendo el contacto entre el sorbato y aquellas de mayor capacidad de adsorción, tales como arcillas y sesquióxidos de Fe y Al, por lo que al aumentar el contenido de limo disminuiría la sorción.

Las correlaciones del Ca y bases intercambiables podrían ser explicadas por las interacciones del H_2PO_4^- con los cationes intercambiables que forman superficies complejas estables, especialmente dentro de la capa de Stern (Smille *et al.* 1987; Agbenin, Tiessen 1995). La adsorción de P esta influenciada por el pH y la presencia de Ca intercambiable a través de cambios en la accesibilidad de los sitios de adsorción e interacciones electrostáticas (Frossard *et al.* 1995). El incremento del PT provoca una mayor cantidad de sitios ocupados por lo que se observa una disminución significativa del coeficiente k_{ds} . En cuanto a la correlación de k_{ds} con el Al_{ox} se debe a que a mayores contenidos de Al amorfo aumentó los sitios disponibles para la adsorción de P.

CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo indican que el modelo combinado Langmuir-Freundlich es el más adecuado para describir la adsorción de fósforo de los suelos ácidos de Misiones (Argentina), logrando un mejor ajuste a bajas, medias y altas concentraciones. La adsorción de P estimada por este modelo a una concentración de 1 mg L^{-1} varió de 174 a 725 mg P kg^{-1} , permitiendo el agrupamiento de los suelos en cuatro clases de adsorción, los cuales no presentaron asociación con la taxonomía de los mismos, debido a que se trabajó con los horizontes superficiales donde no se manifiestan las características de estos órdenes.

REFERENCIAS

- Agbenin J O, Tiessen H. 1995. Phosphorus sorption at field capacity and soil ionic strength: kinetics and transformation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 998-1005.
- Borggaard O K, Jorgensen S S, Moberg J P, Raben-Lange B. 1990. Influence of organic matter on phosphate adsorption by aluminium and iron oxides in sandy soils. *J. Soil Sci.* 41: 443-449.
- Bowman R A. 1989. A sequential extraction procedure with concentrate sulfuric acid and dilute base for soil organic phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 362-366.
- Buschiazzo D E, Hevia G F, Hepper E N. 1990. Variaciones de la adsorción de fósforo y parámetros edáficos en una climosecuencia de los suelos de la región semiárida pampeana central. *Ciencia del Suelo* 8: 119-126.
- Fox R L, Kamprath E J. 1970. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34: 902-907.
- Freese D, van der Zee SEATM, Riemsdijk W H. 1992. Comparison of different models for phosphate sorption as a function of the iron and aluminum oxides of soils. *J. Soil Sci.* 43: 729-738.
- Frossard F M, Brossard M J, Hedley M J, Metherell A. 1995. Reactions controlling the cycling of P in soils. 107-137. In: Tiessen H. (ed.) *Phosphorus in the global environment: Transfers, cycles and management.* John Wiley & Sons, New York.
- Giuffrè de López Camelo L; Heredia O; Nervi A, Massani de Sese Z. 1984. Adsorción de P en algunos suelos argentinos. Condiciones experimentales e isothermas de adsorción. *Rev. Fac. Agronomía* 5: 165-174.
- Kuo S. 1996. Phosphorus 908-909. In: D L Sparks et al. (ed). *Methods of Soils Analysis. Part 3. 5th, SSSA, Madison, Wisc.*
- Lin C, Busscher W J, Douglas L A. 1983. Multifactor kinetics of phosphate reactions with minerals in acidic soils. I. Modeling and simulation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47: 1097-1103.
- Loeppert R L, Inskeep W P. 1996. Iron 639-664. In: D L Sparks et al. (ed). *Methods of Soils Analysis. Part 3. 5th, SSSA, Madison, Wisc.*
- Mendoza R E, 1986. Isothermas de adsorción de fósforo en suelos Argentinos: I. Métodos de ajuste y comparación entre ecuaciones. *Ciencia del Suelo* 4: 107-116.
- Polyzopoulos N A, Karamidas V A, Kiosse H. 1985. Phosphate sorption by some Alfisols of Greece as described by commonly used isotherms. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 81-84.
- Quinteros C E, Boschetti N G, Benavidez R A. 1996. Estimación de la capacidad máxima de adsorción de fosfatos en suelos de Entre Ríos (Argentina). *Ciencia del Suelo* 14: 79-82.
- Ratkowsky D S. 1986. A statistical study of seven curves for describing the sorption phosphate by soils. *J. Soil Sci.* 37: 183-189.
- Sanyal S K, De Datta S K, Chan P Y. 1993. Phosphate sorption-desorption behavior of some acidic soils of south and southeast Asia. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 937-945.
- Sanyin M, Mermut A R, Tiessen H. 1990. Phosphate sorption-desorption characteristics by magnetically separated soil fractions. *Soil Sci.*

- Soc. Am. J. 54: 1298-1304.
- SAS Institute. 1985. SAS user's guide: Statistics. 5th ed. SAS Inst., Cary, NC.
- Shen S, Tu S I, Kemper W D. 1997. Equilibrium and kinetic study of ammonium adsorption and fixation in sodium – treated vermiculite. Soil Sci. Soc. Am. J. 61: 1611-1618.
- Smille G W, Curtin D, Syers J K. 1987. Influence of exchangeable calcium on phosphate retention by weakly acid soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 51: 1169-1172.
- Sposito G. 1982. On the use of the Langmuir equation in the interpretation of “adsorption” phenomena. II. The “two surface” Langmuir equation. Soil Sci. Soc. Am. J. 46: 1147-1152.
- Sposito G. 1984. The surface chemistry of soils. p 113 – 153. Oxford University Press. New York.
- Vazquez S, Dalurzo H, Lifschitz A P de, Morales L A. 1998. Fósforo total, orgánico e inorgánico en Ultisoles, Alfisoles y Oxisoles del sur de Misiones (Argentina). Ciencia del Suelo 16: 47-49.
- Yuan G, Savkulich L M. 1994. Phosphate sorption in relation to extractable iron and aluminium in Spodosols. Soil Sci. Soc. Am. J. 58: 343-346.
- Yuan T L, Lucas D E. 1982. Retention of phosphorus by sand soils as evaluated by adsorption isotherms. Proc. Soil Crop Sc. Soc. Fla. 41: 195-201.
- Zhou M, Rhue R D, Harris W G. 1997. Phosphorus sorption characteristics of Bh and Bt horizons from sandy coastal plain soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 61: 1364-1369.

EFFECTO DE DIFERENTES ENMIENDAS SOBRE ALGUNAS PROPIEDADES EDAFICAS EN SISTEMAS DE PRODUCCION HORTICOLA DEL CENTRO NORTE DE LA REGION PAMPEANA HUMEDA

C SASAL¹, A ANDRIULO¹, J ULLE², F ABREGO¹, M BUENO¹

¹INTA. EEA Pergamino. Ruta 32, km 4.5, C.C. 31- (2700) Pergamino, e-mail: persuel@pergamino.inta.gov.ar

²INTA. EEA San Pedro. Ruta 9, km 170, C.C.43- (2930) San Pedro, e-mail: julle@inta.gov.ar

Recibido 5 de septiembre de 1999, aceptado 15 de noviembre de 2000.

EFFECT OF DIFFERENT AMENDMENTS ON SOME SOIL PROPERTIES UNDER HORTICULTURE PRODUCTION IN THE HUMID PAMPAS

The effect of different amendments on some soil properties was studied in the humid Pampas. Soil conditioners (mature farmyard manure, fresh oat, fresh farmyard manure plus fresh oat and calcitic-dolomitic limestone) were applied to a well-structured fertile soil under horticulture production. The following properties were studied after two years of experiment start: bulk density, volumetric moisture (at 0, 1, 5, 10, 20 kPa of water suction), textural bulk density, maximal bulk density, compactation susceptibility, infiltration rate (at 0 and 10 mm of water suction), structure stability index, organic matter content, pH and electrical conductivity and earthworm density. Results showed that organic amendments improved permeability and water retention capability by enhancing the stability of soil aggregates. Limestone treatment maintained the values of the chemical, physical and biological properties in the initial situation. For organic amendments, there was an increase of soil carbon content related to the annual amount of carbon added. An increase of a Mg ha^{-1} of carbon decreased bulk density by about $0,0065 \text{ Mg m}^{-3}$. Fresh treatments (fresh oat, fresh farmyard manure plus fresh oat), with high contents of fibre, decreased the average values of maximal bulk density in 5 and 7% respectively, increasing the corresponding moisture levels in 4 and 5%.

Key words: Amendments, Soil Properties, Horticulture Production, Humid Pampas.

INTRODUCCION

La reciente intensificación de los sistemas de producción agrícolas, pecuarios, agroindustriales o industriales, genera cantidades de residuos en aumento. Estos residuos constituyen un problema de contaminación potencial para la población si la gestión de los mismos no está correctamente planificada. Una posibilidad de valorización es utilizarlos como enmiendas en el suelo.

La utilización de residuos como enmiendas es una práctica muy antigua y se halla ampliamente extendida en diversos lugares del mundo. Las enmiendas pueden tener un impacto positivo como fertilizantes y como mejoradoras de la estructura y del contenido de materia orgánica edáficas (Wallace 1994 a y b).

Los sistemas de producción hortícolas de la región se han caracterizado por la extracción continua de nutrientes del suelo,

la disminución del contenido de materia orgánica y del pH y la degradación de la estructura superficial. La adición de nutrientes mediante la utilización de fertilizantes minerales, además de resultar una práctica poco rentable, no puede resolver el problema de degradación de la estructura de los suelos (Premuzic *et al* 1998).

La producción hortícola orgánica, reemplaza el uso de fertilizantes minerales sintéticos por materiales biodegradables (IFOAM 1998). El uso de estas enmiendas puede constituir un factor clave en el proceso de intensificación productiva sostenible regional. En efecto, González *et al* (1989) demostraron la acción positiva de los estiércoles de aves de postura y de la corteza de salicáceas sobre la producción de hortalizas después de 11 años de experimento en un Argiudol Vértico de la serie Ramallo.

Por otro lado, la utilización de material

calcáreo-dolomítico provoca efectos benéficos sobre las propiedades físicas del suelo debidos a la acción del ión calcio sobre el aumento de la fuerza iónica en la solución del suelo y al dominio del calcio intercambiable sobre los otros iones del complejo de intercambio catiónico. Estos dos efectos actúan floculando los coloides, favoreciendo la agregación y la estabilidad de la estructura. Estos resultados están ampliamente documentados en la bibliografía especializada. Una síntesis de la misma puede encontrarse en Norton *et al* (1993).

Para implementar de forma sustentable el uso de enmiendas en los sistemas de producción hortícolas intensivos, es necesario conocer, entre otros, el grado de modificación de las propiedades edáficas producido, según la naturaleza y la cantidad de la enmienda aplicada, así como también la duración del efecto modificador. Estos aspectos no han sido suficientemente estudiados en la región.

El objetivo del presente trabajo fue estudiar el impacto de diferentes enmiendas sobre algunas propiedades de un suelo productivo en un sistema de producción hortícola del centro-norte de la región pampeana húmeda.

MATERIALES Y METODOS

El experimento se implementó en un suelo Arguidol Vértico de la serie Ramallo. Es un suelo oscuro, pesado, muy profundo y moderadamente bien drenado, que domina los planos altos próximos a la rivera del Paraná en el partido de San Pedro. La pendiente general no supera el 0.5%. El horizonte superficial, medianamente ácido, se extiende hasta 0,25-0,30 m, es de textura franco arcillo-limosa y está bien provisto de materia orgánica (MO). La transición hacia el horizonte arcilloso B_{21} , es gradual y suave. Este horizonte es de textura arcillosa (58% de arcilla) y de gran espesor, con estructura prismática fuerte (INTA 1978).

La experiencia se conformó de 5 parcelas de una superficie de 130 m² cada una. Cada parcela recibió uno de los siguientes tratamientos (ULLÉ 1998):

1) 1,5 t de estiércol bovino proveniente de un sistema de producción de invernada en confinamiento (feed-lot), "madurado" en condiciones de intemperie durante un año. La humedad promedio del estiércol fue del 40% y el contenido de MO del 20%.

2) 1,5 t estiércol fresco de bovino + 1,5 t de

plantas de avena triturada agregada inmediatamente después de la cosecha. La humedad promedio fue del 85% y 70% para el estiércol y la avena, respectivamente. El contenido de MO del estiércol fue del 70%.

3) 40 kg de producto comercial de un material calcáreo dolomítico.

4) 1,5 t de plantas de avena triturada. Se aplicó el material recién cortado, poco antes de la floración. La humedad promedio fue del 70%.

Testigo) Area sin agregado de enmiendas, con vegetación predominante de gramíneas, característica de una situación de parque. Se considera la situación de partida de todos los tratamientos debido a que en los últimos años se mantuvo como tal. Toda el área recibió una enmienda calcárea antes de la situación de parque.

Las enmiendas fueron distribuidas e incorporadas superficialmente con rotobator, antes del trasplante, en mayo de 1997 y en octubre de 1998, aplicando la mitad en cada fecha. El aporte de C contenido en las enmiendas orgánicas se calculó considerando que el porcentaje de C de los estiércoles es 50% de la materia orgánica y 40% de la materia seca para la avena. Las masas de C aportadas anualmente se expresaron en base seca y se estimaron en 6,9, 13,9 y 19,9 Mg C ha⁻¹ para los tratamientos 1, 4 y 2, respectivamente. En el tratamiento 3 se aplicaron 3 Mg ha⁻¹ de producto comercial.

Las labranzas de preparación del sitio para el trasplante, consistieron en triturado de gramíneas, laboreo primario con cincel y dos operaciones de rastra excéntrica dos meses antes del trasplante. El número de ciclos de cultivo recibidos en todo el período fue 3, 2, 1 y 1, para los tratamientos 1, 2, 3 y 4, respectivamente. Los cultivos implementados fueron lechuga, espinaca, acelga y repollo en el período de mayo a diciembre y en verano con tomate y cucurbitáceas. Todas las parcelas recibieron riego con aguas bicarbonatadas sódicas (RAS=10; CE=0.75 dS m⁻¹; carbonato de sodio residual=6.6 me l⁻¹).

En mayo de 1999 las propiedades edáficas estudiadas en el espesor de 0-0,12 m fueron las siguientes:

- densidad aparente (DA), en Mg.m⁻³, por el método del cilindro (Page 1982 a),
- humedad volumétrica (θ_v) a las tensiones de 0, 1, 5, 10 y 20 kPa, por el método de la mesa de tensión (Bezerra de Oliveira 1968),
- densidad aparente textural (DAT), en Mg.m⁻³, por el método de Monnier *et al* (1973),
- compactación dinámica, con las determinaciones de densidad aparente máxima (DAmax) en Mg cm⁻³ y susceptibilidad a la compactación (SC) (Proctor 1933),
- infiltración básica a 0 (Ib) y 10 mm (Ib10) de

tensión, en mm h^{-1} , por el método tensioinfiltrométrico (Ankeny 1992)
 - índice de estabilidad de agregados (IEA), en porcentaje, por tamizado en agua por el método de Douglas y Goss (1982),
 - MO, en porcentaje, por combustión húmeda por el método de Walkley-Black (Page, 1982 b),
 - pH actual y conductividad eléctrica, en dS m^{-1} , por el método potenciométrico (relación suelo:agua 1:2.5),
 - densidad de lombrices, en número m^{-2} , por conteo directo.

Se realizaron 5 repeticiones de cada variable y para cada tratamiento, excepto para la prueba de compactación dinámica, en la que se tomó una muestra compuesta de 15 repeticiones por tratamiento.

Los datos de DA y DAt se transformaron en porosidad total (PT) y en porosidad textural (Pt) utilizando un valor de la densidad de la fase sólida de $2,6 \text{ Mg m}^{-3}$ para todos los tratamientos. La porosidad estructural (PE) fue obtenida por diferencia entre los valores de PT y Pt. Los valores de PT fueron considerados coincidentes con los de θ_v a saturación. Con los valores medios de θ_v obtenidos para cada tensión se construyeron las curvas características de humedad del suelo. Luego se calculó la distribución del tamaño de los poros utilizando la relación entre la tensión h (en m) y el diámetro de los poros ϕ (en μm) siguiente (Hillel 1980):

$$h(m) = 30 / f(mm)$$

A la porosidad de diámetro superior a $20 \mu\text{m}$ se la llamó macroporosidad (MAP) y a la comprendida entre $0,2$ y $20 \mu\text{m}$ microporosidad (MIP).

Para la construcción de la curva de compactación dinámica se trabajó con muestras tamizadas a 2 mm , utilizándose 6 humedades en el rango de humedad gravimétrica de 5-40%. La SC se calculó como la pendiente de la recta establecida entre el punto de inflexión de la curva de densidad aparente y la densidad aparente máxima alcanzada (..).

La infiltración básica se obtuvo en condiciones de flujo estacionario, el cual fue alcanzado en un tiempo de $20'$, según:

$$Ib = \frac{\Delta l \times f}{\Delta t \times A}$$

donde :

Ib = Infiltración básica (mm h^{-1}),
 Δl = diferencia de altura (cm) en el tiempo Δt ,
 f = factor de calibración del reservorio (34,98),
 A = área del disco de diámetro de $0,20 \text{ m}$.

El contenido de C del suelo se transformó en stock de C ha^{-1} de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$C(\text{Stock}) = C(\%) \times DA \times \text{espesor}$$

donde:

$C(\text{Stock})$ = $\text{Mg C ha}^{-1} \text{ año}$,
 DA = densidad aparente en Mg m^{-3} ,
 espesor = profundidad del suelo en cm.

Los resultados se analizaron estadísticamente mediante el test "t" de Student ($0,10 \leq P \leq 0,01$). Se utilizó regresión lineal simple para estudiar la relación entre las variables de interés.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los valores medios de las propiedades físicas estudiados en el espesor $0-0,12 \text{ m}$ para los diferentes tratamientos se presentan en la Tabla 1. Los valores medios de las DA y DAt resultaron bajos en todos los tratamientos; los rangos de variación fueron $1,03-1,15$ y $1,27-1,44 \text{ Mg.m}^{-3}$, respectivamente. Como consecuencia, los de porosidad estructural resultaron elevados (rango 17-21%). También la microporosidad fue elevada (rango 34-39%). Las DAmáx y las SC alcanzadas en condiciones de laboratorio fueron bajas en todos los tratamientos (rango $1,29-1,39 \text{ Mg.m}^{-3}$ y $0,75-1,37$, respectivamente). Los valores medios de IEA indicaron la presencia de una estructura estable en todos los tratamientos (rango 37- 67%). Las tasas de infiltración básica a 0 y -10 mm de tensión resultaron elevadas en todos los tratamientos (rango a tensión 0 : $45-74 \text{ mm h}^{-1}$, a tensión 10 mm : $21-35 \text{ mm h}^{-1}$). Estos resultados expresan claramente la existencia de un sistema estructural estable, cuyo número y distribución de poros resultan adecuados para el ingreso, la conducción y el almacenamiento de agua en todos los tratamientos (Topp et al. 1997).

La DA del tratamiento 2 resultó significativamente mas baja que los tratamientos restantes y la del tratamiento 4 fue inferior a la del tratamiento Testigo, no existiendo diferencias entre la DA de los tratamientos restantes. La DAt del tratamiento 2 resultó estadísticamente mas baja que la de los tratamientos restantes. Los tratamientos 1 y 4 no difirieron entre sí pero resultaron inferiores a las DAt de los tratamientos 3 y testigo,

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas y densidad de lombrices de los primeros 12 cm de un Argiudol Vértico luego del agregado de diferentes enmiendas.

Table 1. Physical and chemical properties, and worm's density in the first 12 cm of a Vertic Argiudoll with different organic amendments.

ata- ento	DA (Mg m ⁻³)	DAt	PE	MAP	Pt	MIP	SC	DAmáx (Mg m ⁻³)	IEA (%)	Ib (mm h ⁻¹)	Ib10	MO (Mg ha ⁻¹)	pH	CE (dS m ⁻¹)	Lombrices (N ^m m ⁻²)
1	1,11 bc	1,34 b	17,0 a	22,0 b	40,2	35,3 a	1,37	1,38	37,2 a	73,8 a	34,9 b	55,8 b	6,8 a	0,27 b	586 a
2	1,03 a	1,27a	18,9 a	21,5 b	41,5	38,8 b	0,82	1,29	52,1 b	48,9 b	29,8 a	74,7 d	7,2 bc	0,54 d	382 b
3	1,2 bc	1,42c	21,0 a	22,5 b	35,7	34,3 a	1,37	1,39	66,6 c	49,6 b	20,9 a	53,8 a	7,2 bcd	0,20 a	382 b
4	1,09 b	1,36 b	19,6 a	20,1 b	38,3	37,8 b	0,75	1,32	51,9 b	44,5 b	24,2 a	59,7 c	7,1 bcd	0,32 c	331 b
testigo	1,15 c	1,44c	19,8 a	16,5 a	35,9	39,2 b	1,17	1,37	61,7 d	48,5 b	22,3 a	54,1 a	7,1 d	0,19 a	286 b

1: suelo+estiércol de bovino; 2: suelo+estiércol fresco de bovino+plantas de avena triturada; 3: material calcáreo dolomítico; 4: plantas de avena triturada. DA: densidad aparente; DAt: densidad aparente textural; PE: porosidad estructural; MAP: macroporosidad; Pt: porosidad textural; MIP: microporosidad; SC: susceptibilidad a la compactación; Damáx: densidad aparente máxima; IEA: índice de estabilidad de agregados; Ib: infiltración básica; Ib10: infiltración básica a 10 mm de tensión; MO: stock de materia orgánica, CE: conductividad eléctrica.

no existiendo diferencias entre la de estos dos últimos. La PE no difirió entre tratamientos. La MAP del tratamiento testigo resultó estadísticamente mas baja que en los restantes, sin existir diferencias entre los demás tratamientos. Los IEA de los tratamientos 1 y 3 resultaron estadísticamente el mas bajo y el mas alto, respectivamente, en relación a los tratamientos restantes. Los tratamientos 2 y 4 no difirieron entre sí y tuvieron valores intermedios. Las Ib e Ib10 del tratamiento 1 fueron estadísticamente superiores a las de los tratamientos restantes, sin existir diferencias entre estos últimos.

El contenido de MO resultó elevado en todos los tratamientos (de 3,9 a 6,0%) Tabla 1. El pH presentó valores próximos a la neutralidad y la CE resultó característica de suelos enmendados (de 0,19 a 0,54 dS m⁻¹). La densidad de lombrices (DL) resultó muy elevada en todos los tratamientos (de 286 a 586 m⁻²). Estos resultados expresan claramente la existencia de un contenido orgánico del suelo favorable para la nutrición de las plantas, los microorganismos y la mesofauna en todos los tratamientos (Heil y Sposito, 1997).

Los contenidos y stocks de MO en los tratamientos 1, 2 y 4 resultaron diferentes entre sí y todos ellos fueron estadísticamente mas altos que los de los tratamientos 3 y testigo. El orden de disminución fue el siguiente: 2>4>1>3=Testigo. Los valores de pH del tratamiento 1 fueron los mas bajos. Los tratamientos 2, 3 y 4 no difirieron entre sí. El Testigo no difirió del 4. La CE del tratamiento

2 resultó estadísticamente mas elevada que la de los tratamientos restantes. Los valores medios de CE de los tratamientos Testigo y 3 fueron los mas bajos y no tuvieron diferencias entre sí. Los tratamientos 1 y 4 tuvieron valores intermedios y resultaron diferentes a los tratamientos restantes. La DL fue superior en el tratamiento 1, sin existir diferencias entre los restantes.

Los efectos producidos por la enmienda calcárea se observaron después de dos años de experiencias. El encalado mantuvo las propiedades físicas, químicas y biológicas de la situación de partida. Sin embargo, la DAmáx se alcanza con un contenido de humedad mas bajo que en cualquier otro tratamiento.

Los efectos producidos por las enmiendas orgánicas fueron los siguientes:

La DAt fue más sensible que la de microporosidad (MIP) para detectar diferencias entre tratamientos. El aumento de porosidad textural (disminución de DAt) del orden del 2 al 5%, se correspondió con el aumento del contenido de MO del suelo producido por las enmiendas orgánicas y estuvo de acuerdo con los resultados obtenidos por Pagliai *et al* (1983) para suelos de textura similar. Seguramente, este aumento se debió a un incremento en la microagregación y trajo como consecuencia un aumento en la capacidad de retención de agua del suelo. Similares resultados están sintetizados por Larson y Clapp (1984) y Sommers (1977).

La MAP fue más sensible que la de PE

para detectar diferencias entre tratamientos. Las enmiendas orgánicas produjeron un aumento de la MAP del orden del 4-6%. Este aumento se debió a probablemente un incremento de la macroagregación (bioporos), probablemente producido por la actividad de las raíces y de la fauna y trajo como consecuencia un aumento en el número de poros encargados de la transmisión de agua (Figura 1). Los resultados estuvieron de acuerdo con los obtenidos por Pagliai y Vittori Antisari (1993).

Si bien los tratamientos que recibieron enmiendas orgánicas fueron, en general, estables frente a la acción dispersante del agua (la estructura se considera estable a partir de un valor de IEA de 40), resultaron menos estables que la situación de partida y el tratamiento que recibió enmienda cálcica. Esto puede explicarse porque la situación de partida había sido enalada antes de comenzar el ensayo y porque el tratamiento 3 recibió adicionalmente 3 t de producto comercial ha^{-1} . Esto hizo que este último tratamiento presentara un valor medio de IEA superior al del Testigo. El orden decreciente del valor medio de IEA de los tratamientos que recibieron enmiendas orgánicas (tratamiento 2 = tratamiento 4 > tratamiento 1) puede explicarse porque disminuyó la masa de C aportada, aumentó el número de operaciones de laboreo y aumentó la cantidad total de agua

de riego bicarbonatada sódica aplicada.

Algunos autores (Guerif, Faure 1979; Guerif 1979, Andriulo, Pecorari 1989) utilizaron con éxito la prueba de Proctor (Proctor 1933) para evaluar el papel de la MO en el comportamiento de los suelos a la compactación. El uso de la prueba de Proctor en este estudio mostró que la adición de estiércol bovino y de avena no maduros (tratamientos 2 y 4, respectivamente), produjeron una disminución marcada en la densidad máxima alcanzada y en la susceptibilidad a la compactación del horizonte superficial: la D_{max} pasó de 1,38 a 1,29-1,32 Mg m^{-3} y la SC de 1,17-1,37 a 0,8 (Figura 2).

Sin ninguna duda, la adición de heces frescas o de vegetal recientemente cosechado y trozado, con un gran porcentaje de fibras, actuaron de manera pseudo elástica, confiriéndole al suelo una mayor resistencia ante presiones mecánicas de naturaleza diversa. Además, en estos dos tratamientos, se necesitó mayor humedad para alcanzar la compactación máxima, hecho que puede ser atribuido a un aumento en la capacidad de hidratación. La adición de estiércol maduro prácticamente no produjo efecto ni sobre la D_{max} ni sobre la SC con respecto a la situación de partida. Probablemente, el aumento de MO del suelo con esta enmienda no fue suficiente. Por otro lado, la adición de

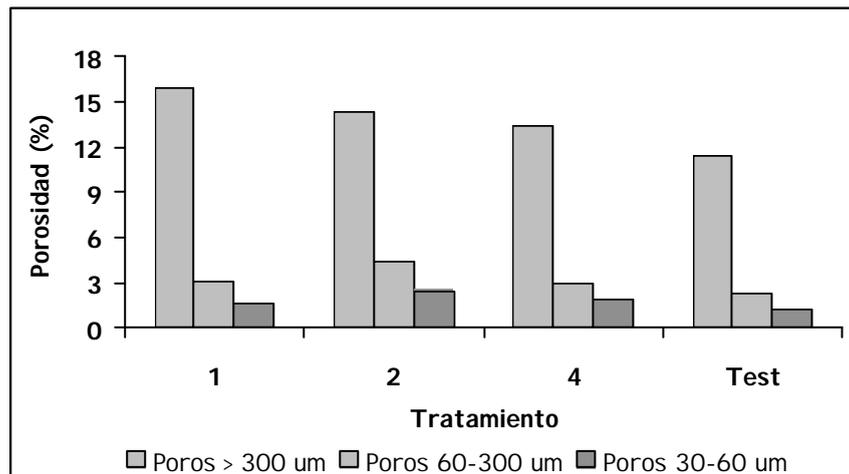


Figura 1. Distribución de los macroporos en los primeros 12 cm de un Argiudol Vértico con el agregado de diferentes enmiendas orgánicas.

Figure 1. Macropore distribution in the first 12 cm of a Vertic Argiudoll with different organic amendments.

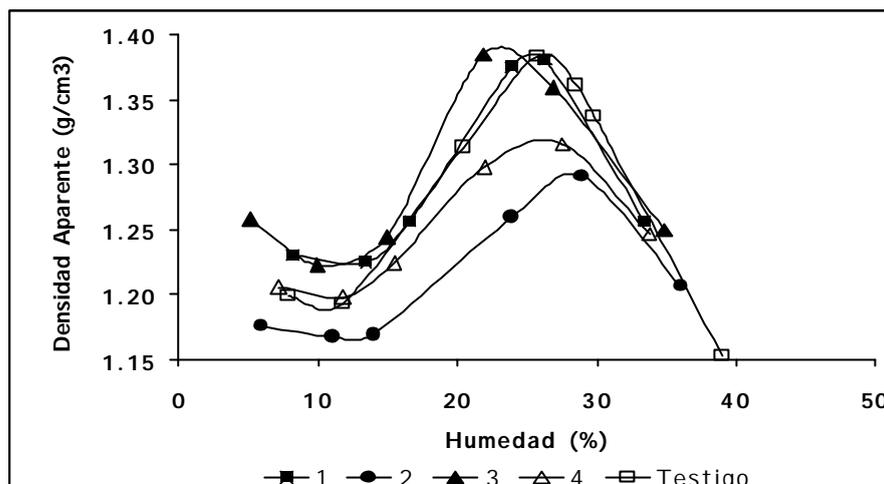


Figura 2. Curva de compactación dinámica en los primeros 12 cm de un Argiudol Vértico con el agregado de diferentes enmiendas.

Figure 2. Curve of dynamic compaction in the first 12 cm of a Vertic Argiudoll with different organic amendments.

enmienda calcárea produjo dos efectos diferenciales con respecto a los tratamientos restantes: a) el límite máximo de compactación se alcanzó con menor humedad y b) en la primera parte de la curva, la interacción entre la cohesión de los agregados y el hinchamiento de la arcilla amplificó el efecto del hinchamiento. Estos resultados estuvieron de acuerdo con los obtenidos por Mettaufer *et al* (1983).

Una consecuencia agronómica es que los suelos enmendados orgánicamente, a diferencia de los enmendados con material calcáreo, pueden ser laboreados en un rango mayor de humedad con menor riesgo de compactación severa.

La adición de estiércol maduro condujo a un aumento marcado de las Ib e Ib10 del suelo, hecho que puede ser explicado por el número más elevado de lombrices (Zachmann *et al* 1987, Trojan, Linden 1998) y de macroporos mayores de 300 μm en este tratamiento con respecto a los restantes. La determinación de la infiltración básica a una tensión de -10 mm determina la tasa de ingreso de agua al suelo a través de poros de diámetro menor de 3 mm. Esta determinación se realizó con el objeto de eliminar posibles flujos preferenciales en los tratamientos (existencia de grietas y cuevas) que podrían actuar aumentando la variabilidad espacial y enmascarando los efectos debidos a los

tratamientos. El hecho de haberse encontrado mayor Ib10 en el tratamiento 1 confirma que la adición de estiércol maduro produjo un incremento en el ingreso de agua al perfil de suelo.

La mayor densidad de lombrices encontrada bajo estiércol maduro se corresponde con los resultados obtenidos por Hamilton y Dindal (1989). Sin embargo, en este estudio se desconoce la causa para explicar el mayor número de lombrices en este tratamiento.

En coincidencia con otros autores (Larson, Allmaras 1971, Clapp *et al* 1986, Bolinder *et al* 1998), los cambios en las propiedades del suelo anteriormente mencionados parecen ser el resultado del incremento del contenido de C del suelo como consecuencia del aporte de C contenido en las enmiendas (Tabla 2).

La adición de 3,5 veces más C como estiércol maduro, 4,6 veces más como avena fresca y de 6,6 veces más como mezcla estiércol no maduro y avena con respecto al tratamiento testigo, produjeron un aumento del orden de 0,24, 0,37 y 1,23% en el contenido de C del suelo. En efecto, como reportaron Campbell *et al* (1991) y Rassmussen y Parton (1994), el incremento en el stock de C del suelo es proporcional al aporte anual de C para un sistema suelo/clima dado. La acumulación del C proveniente de las enmiendas es una función de la masa de C añadido cada año y la

Tabla 2. Correlaciones entre el contenido y las reservas de C del suelo y algunas propiedades del suelo.
Table 2. Correlation between C content and reserves and some soil properties.

Correlación	Coefficiente de correlación	Significación estadística	Tamaño de la muestra
C (%) vs DA	r = 0,67	p < 0,01	n = 25
C (stock) vs DA	r = 0,44	p < 0,05	n = 25
C (stock) vs PE	r = 0,35	p < 0,10	n = 25
C(%) vs Pt	r = 0,65	p < 0,01	n = 25
C(%) vs MIP	r = 0,39	p < 0,05	n = 25

respuesta es inmediata (Figura 3). Para las condiciones edafo-climáticas de la región, el aporte anual de C en el tratamiento testigo, estimado en 3 t C ha⁻¹ año⁻¹ (Andriulo 1995), está en equilibrio con 30 t C ha⁻¹ de suelo en la capa 0-0.12 m.

En la Figura 4 se observa el cambio de DA en función del aporte de C orgánico por parte del empleo de biosólidos en el suelo: por cada tonelada de C ha⁻¹ anualmente añadida es posible disminuir aproximadamente en 0,006 Mg m³ la DA del suelo después de 2 años de tratamiento. La estabilidad de este último valor necesita ser corroborada a través del seguimiento de los tratamientos.

Es sabido que la aplicación continuada de enmiendas orgánicas puede conducir a una mayor concentración de la solución del suelo (aumento de CE). A partir de los resultados

obtenidos puede deducirse que uno de los factores de mayor importancia en la salinización del suelo es la cantidad de MO aplicada como enmienda (Figura 5). Los valores de CE alcanzados reflejan que a pesar de las buenas condiciones edafoclimáticas de la región para el lavado, existen riesgos de salinización para algunas hortalizas. De acuerdo con la ecuación de la Figura 5, en las mismas condiciones de esta experiencia sería suficiente aplicar 45 Mg ha⁻¹ año⁻¹ para considerar al suelo salino (CE= 1 dS m⁻¹, considerando que la CE de la relación suelo:solución 1:2.5 es la cuarta parte de la CE del extracto de saturación). Se necesitan mas años de experimento para confirmar o no la ocurrencia del proceso de salinización edáfico siguiendo la aplicación continua de dichas enmiendas.

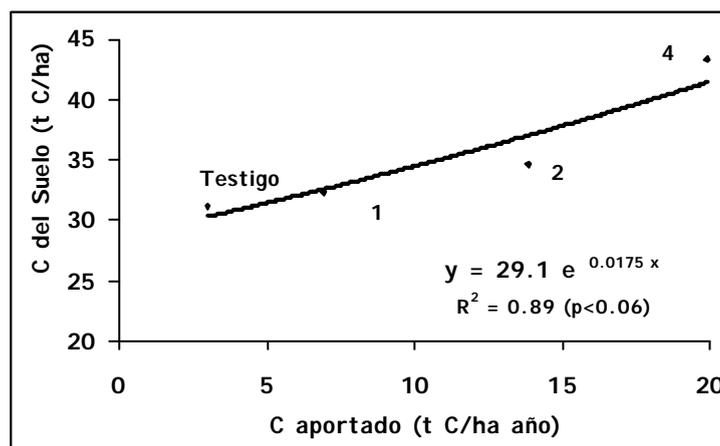


Figura 3. Efecto del C aportado por diferentes enmiendas orgánicas sobre el contenido de C en los primeros 12 cm de un Argiudol Vértico.

Figure 3. Effect of added C as different organic amendments on the amount of C in the first 12 cm of a Vertic Argiudoll.

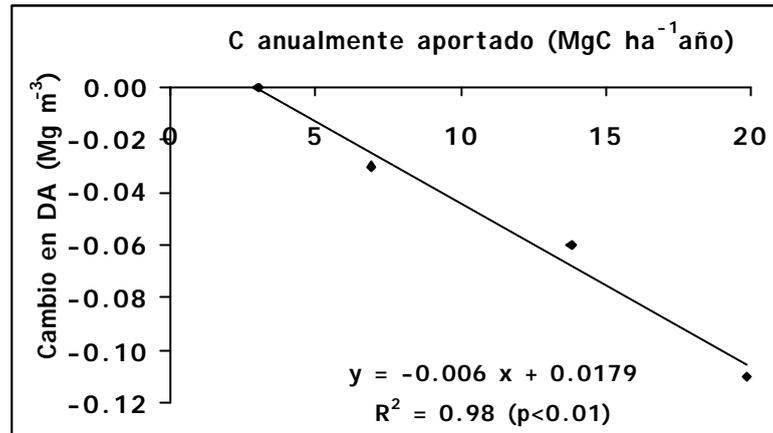


Figura 4. Relación entre el C aportado por diferentes enmiendas orgánicas y el cambio en densidad aparente de los primeros 12 cm de un Argiudol Vértico.

Figure 4. Relationship between C added as different organic amendments and changes in bulk density in the first 12 cm of a Vertic Argiudoll.

Desde un punto de vista metodológico se proponen las siguientes hipótesis para explicar las diferencias de sensibilidad en los resultados obtenidos con las dos técnicas utilizadas para obtener la distribución de poros del suelo: 1) la DAT resultó más sensible que la MIP porque en esta última los valores resultan de un cálculo que considera a la humedad volumétrica a saturación como la porosidad total y además, en este caso se arrastra el error de la determinación de la densidad aparente y 2) la MAP resultó más sensible que la PE porque esta última resulta

de un cálculo que consideró la densidad de la fase sólida como un valor constante, no teniendo en cuenta la posible disminución debida a las enmiendas.

Además, no se obtuvo una correlación entre los valores de MAP o PE y los de Ib e Ib10. Evidentemente, la Ib es una variable que está relacionada no solamente con el volumen de poros estructurales sino que es una función más compleja de otras variables que determinan el flujo de agua: la continuidad, la forma y la orientación de estos poros no está contemplada en dichas técnicas.

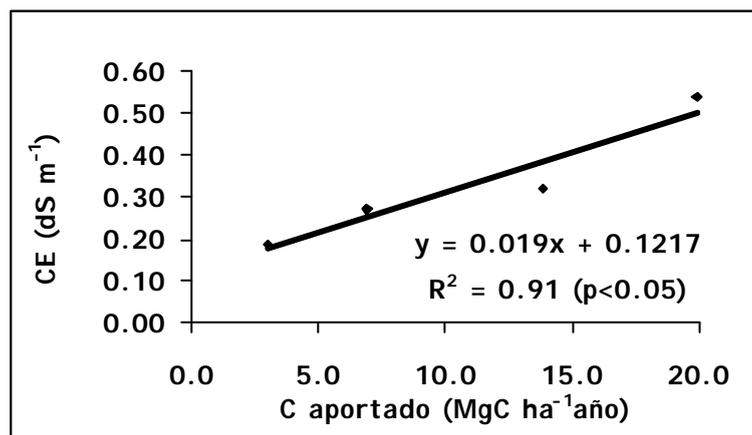


Figura 5. Relación entre el C aportado por diferentes enmiendas orgánicas y la conductividad eléctrica de los primeros 12 cm de un Argiudol Vértico.

Figure 5. Relationship between C added as different organic amendments and electric conductivity in the first 12 cm of a Vertic Argiudoll.

CONCLUSIONES

La cantidad añadida de enmienda calcárea permite mantener las buenas propiedades del suelo proveniente de la situación de partida en el período de 2 años estudiado. Sin embargo, con esta enmienda se alcanza la DAMax a menor contenido de humedad.

La adición de enmiendas orgánicas origina un comportamiento físico, químico y biológico edáfico que es característico de los suelos pampeanos ricos en MO: aumento de la capacidad de retención de agua, mejora del ingreso y la conducción del agua, aumento de la eficiencia del riego, facilidades para el laboreo, mantenimiento del pH, aumento del contenido de nutrientes.

En los sistemas intensivos de producción hortícola del área de estudio es imprescindible la adición de fuentes carbonadas adicionales para el mantenimiento y/o aumento del C del suelo. El stock de C del suelo responde inmediatamente a la cantidad de C agregada con las enmiendas. La adición de enmiendas orgánicas no evolucionadas, con alto contenido de fibras, reduce drásticamente la densidad aparente máxima que puede alcanzar el suelo y extiende significativamente el contenido de humedad para alcanzar dicho valor de densidad aparente. Esto se traduce en una marcada disminución del riesgo de compactación y de un aumento del tiempo disponible para la realización de las labores.

En caso de no aplicarse enmiendas, las condiciones edafoclimáticas del centro-norte de la pampa húmeda conducirán a los sistemas de producción hortícolas a una disminución del contenido de C del suelo debido al bajo aporte anual de C por parte de las hortalizas. El número, momento y tipo de labores solamente cambiarán la pendiente de la declinación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Lic. María Luisa Rivero de Galetto, de la Sección Suelos de la EEA INTA Pergamino, por la determinación del contenido de materia orgánica de las enmiendas orgánicas y a la Ing. Cecilia Ferreyra por la realización del abstract.

REFERENCIAS

- Andriulo A, Pecorari C. 1989. Algunas consideraciones sobre degradación de suelos bajo diferentes sistemas de labranzas. *Carpeta de Producción Vegetal. Información Técnica* N° 61 Tomo IX, INTA, EEA Pergamino, 5 pp.
- Andriulo A. 1995. Modélisation de l'évolution des matières organiques des sols de la Pampa. Relation avec les systèmes de culture. Thèse INAPG, Paris, 143 pp.
- Ankeny M D. 1992. Methods and theory for unconfined infiltration measurements. *Advances in Measurement in Soil Physical Properties: Bringing Theory into Practice*. In: Topp G C, Reynolds W, Green R D eds. SSSA Special Publication N° 30.
- Bezerra de Oliveira L. 1968. Determinação da macro e microporosidade pela "mesa de tensão" em mostras de solo com estrutura indeformada. *Pesquisa Agrop. Bras.* 3:197-200.
- Bolinder M A, Angers D A, Gregorich E G, Carter M R 1998. The response of soil quality indicators to conservation management. *Can. J. Soil Sci.* 79:37-45.
- Campbell C A, Bowren K E, Schnitzer M, Zentner R P, Townley-Smith L. 1991. Effects of crop rotations and fertilization on soil organic matter and some biochemical properties of a thick Black Chernozem in western Canada. *Can. J. Soil Sci.* 71: 377-387.
- Clapp C E, Stark S A, Clay D E, Larson W E. 1986. Sewage sludge organic matter and soil properties. *The Role of Organic Matter in Modern Agriculture*. (Chen, Avnimelech, eds). Martinus Nijhoff, Dordrecht, The Netherlands, pp. 209-253.
- Chaussaud R, Justes E, Linères M Bourgeois S. 1997. Valorisation des déchets urbains et agro-industriels. In: *Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes*. Reims (France), 19-20 novembre 1996. Ed. INRA, Paris (Les colloques, N° 83).
- Douglas J T, Goss M J. 1982. Stability and organic matter of surface soil aggregates under different methods of cultivation and in grassland. *Soil Till. Res.* 2:155-175.
- González J, Amma A de Sardi M. 1989. Efectos de abonos verdes, estiércol de aves de postura y corteza de salicáceas en la producción de hortalizas y condiciones de suelo. *Informe Técnico* N° 56 INTA, EEA San Pedro, 14 pp.
- Guerif J. 1979. Rôle de la matière organique sur le compartement des sols au compactage. II. *Matières organiques libres et liées*. *Ann. Agron.* 30: 469-480.
- Guerif J, Faure A. 1979. Rôle de la matière organique sur le compartement des sols au

- compactage. I. Etude statistique. Ann. Agron. 30: 387-399.
- Hamilton W E, Dindal D L. 1989. Impact of landspread sewage sludge and earthworms introduction on established earthworms and soil structure. Biol. Fertil. Soils 8:160-165.
- Heil D, Sposito G. 1997. Chemical attributes and processes affecting soil quality. In E E Gregorich and M R Carter (Eds). Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health. Developments in Soil Sci. 25, Amsterdam. p.59-78.
- Hillel D. 1980. Fundamentals of Soil Physics. Academic Press, Inc. London, 413 pp.
- IFOAM, International Federation of organic Agriculture Movements. 1998. Basics standards for organic production and processing. IFOAM General Assembly, Mar del Plata, 43pp + anexos.
- INTA. 1978. Carta de suelos de la República argentina. Hoja 3360, 27 y 28 (Ramallo), 77pp.
- Larson W E, Allmaras R R. 1971. Management factors and natural forces as related to compaction. Compaction of Agriculture Soils. Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, pp. 367-427.
- Larson W E, Clapp C. E. 1984. Effects of organic matter on soil physical properties. Organic Matter and Rice. Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Laguna, Philippines, pp. 363-385.
- Mettauer H, Tual Y, Huck C, Trendel R. 1983. Connaissances du comportement physique et mechanic des sols de l'est de la France. Agronomie, 3: 141-152.
- Monnier G, Stengel P, Bodet J M. 1976. Conséquences de la répartition des matières organiques sur le comportement du sol. C. R. du Colloque: Simplification du travail du sol en rotation céréalière. I.T.C.F., 150-165.
- Norton L D, Shainberg Y, King K W. 1993. Utilization gypsiferous amendments to reduce surface sealing in some humid soils in the eastern USA. Soil Surface Sealing and Crusting (Poesen J W A Nearing, eds.), Catena Suppl. pp 24-79.
- Page A L. 1982. Methods of soils analysis. Parts I and II. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
- Pagliai M, Bisdom E B A, Leding S. 1983. Changes in surface (crusting) after application of sewage sludges and pig slurry to cultivated agricultural soils in northern Italy. Geoderma 30:35-53.
- Pagliai M, Vittori Antisari L. 1993. Influence of waste organic matter on soil micro and macrostructure. Bioresource Technology 43: 205-213.
- Premuzic Z, Regidor S, Iorio A. 1998. Variaciones en los contenidos de nitrógeno, fósforo, potasio y vitamina C en función de la cosecha en un cultivo de repollo (*Brassica oleracea*, var. *capitata*) desarrollado sobre lombricompost, puro o en mezcla con fertilizante mineral. En: Actas XXI Cong. Arg. Horticultura, 6-9 octubre, San Pedro.
- Proctor R R. 1933. Fundamental principles of soil compaction. Eng. New Record 11, 246 pp.
- Rasmussen P E, Parton W J. 1994. Long-term effects of residue management in wheat-fallow. I. Inputs, yield and soil organic matter. Soil Sci. Soc. Am. J. 58: 523-530.
- Sommers L E. 1977. Chemical composition of sewage sludges and analysis of their potential use as fertilizers. J. Environ. Qual. 6:225-232.
- Topp G C, Reynolds W D, Cook F J, Kirby J M, Carter M R. 1997. Physical attributes of soil quality. In E E Gregorich and M R Carter (Eds). Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health. Developments in Soil Science 25, Amsterdam. P.21-58.
- Trojan M D, Linden D R. 1998. Macroporosity and hydraulic properties of earthworm-affected soils as influenced by tillage and residue management. Soil Sci. Soc. Am. J. 62: 1687-1692.
- Ullé J. 1998. Informe anual del plan de trabajo N° 8805004 "Producción de alimentos ecológicos. Horticultura Orgánica". EEA INTA San Pedro.
- Wallace A. 1994a. Sense with sustainable agriculture. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 25:5.
- Wallace A. 1994b. Soil organic matter is essential to solving soil and environmental problems. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 25:15.
- Zachmann J E, Linden D R, Clapp C E. 1987. Macroporous infiltration and redistribution as affected by earthworms, tillage and residue. Soil Sci. Soc. Am. J. 51: 1580-1586.

METODOS RAPIDOS DE ANALISIS DE PLANTAS PARA EVALUAR LA NUTRICION NITROGENADA DEL CULTIVO DE TRIGO

HE ECHEVERRIA, RA STRADA, GA STUDDERT

Unidad Integrada FCA-INTA Balcarce, CC 276 (7620) Balcarce, Buenos Aires, Argentina

Recibido 27 de junio de 2000, aceptado 5 de octubre de 2000.

RAPID METHODS OF PLANT ANALYSIS TO EVALUATE WHEAT NITROGEN NUTRITION

There is a lack of information about the effectiveness of quick methods to evaluate wheat nitrogen nutrition through determinations in the crop. The aim of this work was to determine: a) the relationship between the nitrate concentration at tillering determined in the laboratory on dried stems (BS) and the nitrate concentration determined with a portable reflectometer in the expressed sap (JBT), and b) the relationship between this method and the leaf greenness index (IV) measured *in situ* with a chlorophyll meter, and wheat grain yield. Two experiments with a randomized complete block experimental design and a factorial treatment arrangement, were carried out in 1997. The treatments were the combination of three nitrogen rates (0, 60 and 120 kg N ha⁻¹) and four wheat varieties (similar growing cycle). Nitrate concentration in JBT was related to BS and decreased with plant age and increased with the increase in the nitrogen fertilization rate. The effect of variety was of low impact on both, JBT and BS. The determined thresholds of nitrate concentration in the JBT to achieve approximately 90% of maximum yield were 1,92, 1,34 and 0,58 g L⁻¹ for double ridge, glumme primordium and terminal spikelet, respectively. The IV depended on the nitrogen supply and varied with the varieties. The correlation between nitrogen sufficiency index (ISN) and wheat yield were high ($r^2 = 0,89$) during the tillering. Nitrate concentration in the JBT and ISN in leaves at tillering of wheat are promising estimators of the crop nitrogen nutrition status.

Key words: Wheat, Pseudo stem nitrate - Greenness index - Nitrogen - Varieties.

INTRODUCCION

Para el cultivo de trigo se han desarrollado métodos de diagnóstico basados en el contenido de las formas minerales en el suelo al momento de la siembra o al macollaje (González Montaner *et al.* 1991, García *et al.* 1998). Esta metodología no contempla, o lo hace parcialmente, al aporte por mineralización y las posibles pérdidas de nitrógeno durante los primeros estadios de desarrollo del cultivo.

Los análisis del contenido de nitratos en seudo tallos, durante el período de macollaje del trigo, surgen como una alternativa de diagnóstico promisorio, ya que tienen la ventaja de integrar los efectos del suelo y de los factores ambientales sobre la nutrición nitrogenada del cultivo, en el período siembra-macollaje (Papastylianou, Puckridre 1981). Papastylianou *et al.* (1984) reportaron que, mediante la determinación de la concentración de nitratos en seudo tallos, se podían predecir las necesidades de fertilizantes nitrogenados y diferenciar los efectos del barbecho y de rotacio-

nes con leguminosas o gramíneas sobre el cultivo de trigo siguiente. Además, Echeverría *et al.* (1992) y Viglezzi *et al.* (1996), determinaron que reflejaba la disponibilidad de nitrógeno provocada por diferentes manejos de suelo y dosis de fertilizantes nitrogenados. A su vez, Strada *et al.* (2000) determinaron estrechas relaciones entre la concentración de nitratos en seudo tallos durante el macollaje y el rendimiento en grano.

El hecho de que las variedades de trigo provenientes de una amplia base genética, poseen distinta capacidad para acumular nitratos (Huffaker, Rains 1978, Alberdi *et al.* 1989), es un inconveniente para el uso de esta metodología. No obstante, para algunos cultivares de trigo de uso generalizado en el Sudeste Bonaerense, no fue posible afirmar que existiera una capacidad diferencial de las variedades para acumular o reducir nitratos (Strada *et al.* 2000).

Para el estadio de macollaje temprano, se ha determinado un umbral de concentración de N-NO₃⁻ en seudo tallos de trigo de 8±2

g kg⁻¹ para alcanzar el 90% del rendimiento máximo (Papastylianou *et al.* 1984). Considerando que se han determinado disminuciones durante el macollaje (Westfall *et al.* 1990, Vignuzzi *et al.* 1996), es necesario precisar los umbrales de concentración de nitratos durante dicho período que se relacionen con los máximos rendimientos, a fin de caracterizar la nutrición nitrogenada. Para el sudeste bonaerense, se han determinado umbrales de concentración de N-NO₃ de 7,9, 4,8 y 2,5 g kg⁻¹ para obtener 93, 95 y 94% del rendimiento máximo en doble arruga (DA), primordio de gluma (PG) y espiguilla terminal (ET), respectivamente (Strada *et al.* 2000). Los umbrales mencionados, fueron determinados sobre muestras secas y molidas (base seca, BS) por el método del ácido fenoldisulfónico, el que posee la desventaja de requerir el envío de las muestras al laboratorio y de dos días o más para la realización de los análisis.

Una posible alternativa a la determinación del contenido de N-NO₃ en BS es la determinación del contenido de nitratos en el jugo de la base de los tallos (JBT) obtenido por presión del material vegetal fresco (González Montaner 1987, Justes *et al.* 1995). La cuantificación del contenido de nitratos en el JBT se puede realizar con bandas reactivas específicas en un reflectómetro portátil, lo que brinda una lectura rápida y directa de la concentración de nitratos. No obstante, no se dispone de información acerca de la existencia de relación entre los métodos de BS y JBT y de la eventual constancia de la misma. En el método de JBT el extracto, a veces mal llamado savia, está compuesto por líquido apoplásmico, savia, citosol y líquido vacuolar, siendo este último el componente más importante (Justes *et al.* 1995). La concentración de nitratos en el JBT puede variar con el estado hídrico del cultivo, lo que podría afectar la relación entre las determinaciones en BS y JBT. El JBT ha sido utilizado satisfactoriamente en Francia para diagnosticar los requerimientos de nitrógeno en trigo (González Montaner 1987, Justes 1993) y es comercializado bajo el nombre comercial de JUBIL® (Justes *et al.* 1995).

Por otra parte, la concentración de nitrógeno en las hojas es una variable que ha sido empleada en numerosas oportunidades

como un indicador de la nutrición nitrogenada de los cultivos (Benton Jones 1998). Su utilización en la práctica es poco factible, debido a que las técnicas de determinación son laboriosas y caras. No obstante, se ha establecido que la concentración de nitrógeno en las hojas de las gramíneas se relaciona con el contenido de clorofila de las mismas (Piekielek, Fox 1992). Esta, a su vez, se relaciona estrechamente con la intensidad del color verde de las hojas que puede ser determinado con "medidores de clorofila", resultando en el índice de verdor (IV) (Schepers *et al.* 1990, Finnan *et al.* 1997). La ventaja del IV con respecto a los métodos tradicionales de análisis de suelo o planta, radica en el menor esfuerzo y la rapidez con que son obtenidos los resultados. No obstante, se ha señalado como inconveniente que el medidor de clorofila es útil para el monitoreo de la disponibilidad de nitrógeno, sólo en estadios de desarrollo avanzados del cultivo (Falótico *et al.* 1999) y que es afectado por características genéticas de las variedades. Varvel *et al.* (1997) propusieron la determinación, a partir del IV, del índice de suficiencia de nitrógeno (ISN), a fin de relativizar esta limitante.

En base a los antecedentes presentados, para diferentes variedades y ante suministro variable de nitrógeno, es factible hipotetizar que: a) las concentraciones de nitratos en la base de los seudo tallos de trigo determinadas por los métodos de BS y JBT, están relacionadas y no son afectadas por las variedades, b) el IV y el ISN en hoja y el JBT durante el macollaje, se asocian al rendimiento del cultivo y c) a igual suministro de nitrógeno el IV varía entre variedades. Se plantean como objetivos: a) determinar la concentración de nitratos en el JBT y en BS, b) evaluar la relación entre los contenidos de nitratos en seudo tallos determinados por los métodos BS y JBT y c) determinar los umbrales de concentración de nitratos durante el macollaje que se relacionen con los máximos rendimientos para JBT, IV e ISN.

MATERIALES Y METODOS

Para la realización de este trabajo se efectuaron dos ensayos a campo durante 1997 en la Unidad Integrada Balcarce (EEA INTA Balcarce-FCA UNMdP). Los detalles de las características de suelo y clima, como así también de manejo de

suelo y cultivo han sido descriptas en Strada *et al.* (2000). Se mencionan a continuación las características más relevantes. El primer ensayo se sembró el 18/07 y el segundo el 1/08, se utilizó un diseño en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones y un arreglo factorial de tratamientos: cuatro cultivares [Klein Cacique (KC) de ciclo intermedio largo y ProINTA Oasis (PO), ProINTA Quintal (PQ) y Buck Guaraní (BG) de ciclo intermedio corto] y tres dosis de nitrógeno aplicadas al voleo a la siembra bajo la forma de urea (0, 60 y 120 kg N ha⁻¹). Se realizaron balances hídricos con el programa Planificación de Riego (Suero *et al.* 1997), para cada fecha de siembra. La primera fecha de siembra fue realizada sobre un suelo profundo (100 cm) y la segunda sobre uno con tosca a 50 cm de profundidad.

Durante el macollaje se realizaron determi-

naciones de la concentración de nitratos en los seudo tallos de trigo en tres estadios de desarrollo: DA, PG y ET (determinados según Kirby, Appleyard 1984). Para ello, se tomaron 100 plantas por parcela antes de las 10 h y se eliminaron las láminas y las raíces. El contenido de nitratos en el JBT se determinó en el día de realizado el muestreo a partir del extracto obtenido al prensar los seudo tallos con una prensa hidráulica manual. Se tomó 1 mL de dicho extracto, se lo diluyó con agua según la concentración de nitratos esperada (1:20 mL; para DA y PG y 1:5 mL para ET) y se lo homogeneizó. Posteriormente, se introdujo una banda reactiva (Merck 10020) en el colorímetro (Nitratecheck 404) y se fijó el blanco. La misma banda se introdujo luego en la solución diluida de JBT durante 2 segundos, se retiró y se eliminó el exceso de solución y luego de 1 minuto se la colocó

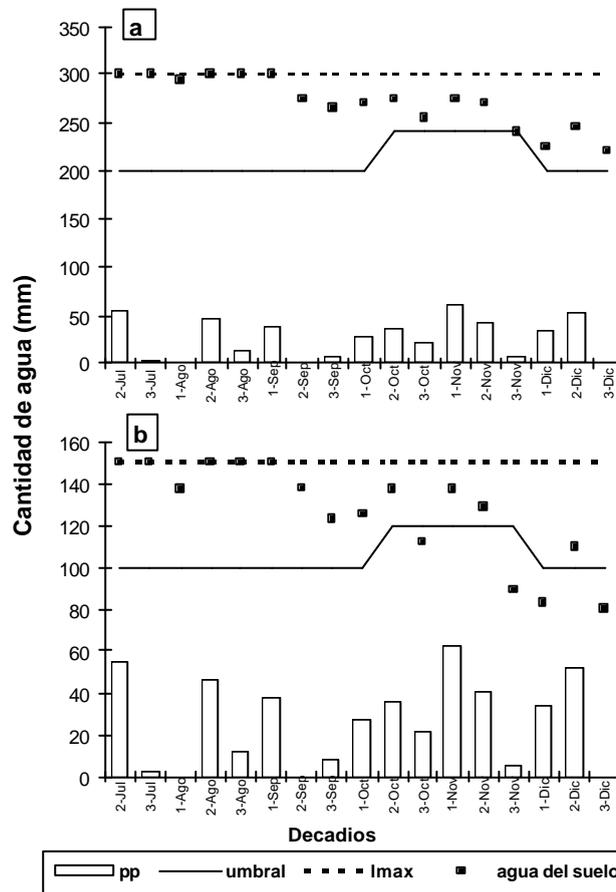


Figura 1. Balances hídricos calculados con el programa Planificación de Riego (Suero *et al.* 1997) para la primera y segunda fecha de siembra, para una profundidad efectiva de suelo de 100 y 50 cm, respectivamente. pp= precipitación decádica, Imáx= límite máximo de almacenaje de agua del suelo, umbral= umbral de riego determinado por el programa.

Figure 1. Water balance for the first and second sowing dates calculated through the program Planificación de Riego (Suero *et al.* 1997), up to 100 and 50 cm soil depth, respectively. pp= ten day precipitation, Imáx= soil water holding capacity, umbral= irrigation threshold determined by the program.

Tabla 1. Promedio a través de dosis de fertilización y de variedades del contenido de nitratos en el jugo de la base del tallo (JBT) y del índice de verdor de trigo, en tres estadios de desarrollo durante el macollaje, para dos fechas de siembra. DA= doble arruga; PG= primordio de gluma; ET= espiguilla terminal; KC= Klein Cacique; PO= ProINTA Oasis; PQ= ProINTA Quintal; BG= Buck Guaraní.

Table 1: Means through nitrogen rates and varieties of nitrate concentration in stem base extract (JBT) and greenness index of wheat at tree development stages during tillering, at two sowing dates. DA: double ridge, PG: glumme primordium, ET: terminal spikelet; KC= Klein Cacique; PO= ProINTA Oasis; PQ= ProINTA Quintal; BG= Buck Guaraní.

Nitratos en el JBT de trigo							
Trat.	Fecha de siembra 18/7/97			Fecha de siembra 1/8/97			
	DA	PG	ET	DA	PG	ET	
----- mg kg ⁻¹ -----							
Prom. nitrógeno	0	891 c	406 c	124 c	871 c	402 c	228 c
	60	1723 b	872 b	872 b	2015 b	1232 b	832 b
	120	2095 a	1286 a	1286 a	2505 a	2015 a	1704 a
Prom. variedad	PO	1743	887	355 ab	1898	1300	990
	KC	1593	828	275 b	1764	1140	780
	BG	1488	898	468 a	1797	1246	944
	PQ	1428	808	343 ab	1729	1180	971
CV (%)	29	36	41	22	16	37	

Índice de verdor							
Trat.	Fecha de siembra 18/7/97			Fecha de siembra 1/8/97			
	DA	PG	ET	DA	PG	ET	
----- SPAD -----							
Prom. nitrógeno	0	nd	35,1 c	nd	34,4 c	nd	34,0 c
	60	nd	40,2 b	nd	38,1 b	nd	38,0 b
	120	nd	42,8 a	nd	40,6 a	nd	40,9 a
Prom. variedad	PO	nd	42,9 a	nd	40,4 a	nd	40,0 a
	KC	nd	39,9 b	nd	39,2 a	nd	38,1 b
	BG	nd	38,4 bc	nd	36,2 b	nd	36,5 c
	PQ	nd	36,9 c	nd	35,0 c	nd	35,8 c
CV (%)	--	6,1	--	7,1	--	3,2	

nd= no determinado. CV = coeficiente de variación. Para cada variable, valores seguidos por letras diferentes difieren entre si según la prueba de Duncan (P<0,05).

nuevamente en el colorímetro. La lectura se multiplicó por la dilución para obtener la concentración de nitratos (mg NO₃⁻ L⁻¹) en el JBT. La información utilizada de la concentración de nitratos en BS es la reportada por Strada *et al.* (2000).

Se realizaron determinaciones del IV con el Minolta SPAD 502 (Minolta Co. Ltd.) entre el borde y la nervadura central de la última hoja totalmente expandida. Se registró el promedio de 30 lecturas por parcela en unidades SPAD, en tres momentos: PG para la primera fecha de siembra y DA y ET para la segunda fecha. Posteriormente,

se calculó el índice de suficiencia de nitrógeno (ISN) para cada variedad en cada ensayo, a partir del cociente entre el IV de un tratamiento dado y el correspondiente al tratamiento con 120 kg N ha⁻¹ asumiendo que éste no presentaba limitación de nitrógeno.

Se realizó el análisis de varianza de los resultados obtenidos y cuando se determinaron diferencias significativas, se aplicó la prueba de Duncan para comparar las medias de tratamientos. Se efectuaron análisis de regresión lineal simple entre algunas de las variables evaluadas. La

relación entre el rendimiento y la concentración de nitratos, se evaluó a través de un modelo lineal-meseta ajustado por regresión no-lineal (Steel, Torrie 1960).

RESULTADOS Y DISCUSION

El suelo de la primera fecha de siembra presentó un mayor contenido hídrico, respecto al de la segunda (Fig. 1). La diferencia más notable entre ambos sitios, fue la menor cantidad de agua retenida en el suelo de la segunda fecha de siembra, debido principalmente a una menor profundidad efectiva. De todas formas, los déficits calculados por el programa Planificación de Riego (Suero *et al.* 1997), para la segunda fecha de siembra, no fueron de gran magnitud, ya que el agua almacenada en el suelo rara vez fue menor que el umbral de riego determinado por el programa y los rendimientos máximos no fueron diferentes entre fechas de siembra ($6,7 \text{ Mg ha}^{-1}$) (Strada *et al.* 2000).

La concentración de nitratos en JBT disminuyó con el avance del desarrollo de las plantas de trigo (Tabla 1) coincidiendo con lo reportado por Strada *et al.* (2000) respecto a la concentración de N-NO_3^- en BS para estos mismos ensayos. No hubo efecto significativo ($P > 0,05$) de la interacción entre las dosis de nitrógeno y las variedades de trigo sobre la concentración de nitratos en JBT. El efecto de la dosis de nitrógeno fue altamente significativo ($P < 0,01$) en todos los casos analizados, correspondiendo los mayores valores de concentración de nitratos en JBT a las dosis más elevadas, al igual que lo determinado por el análisis en BS (Strada *et al.* 2000). El efecto observado de la edad de la planta y de las dosis de nitrógeno coincide con lo reportado por Herfurth *et al.* (1997) para maíz, y por Echeverría (1985) y Vignozzi *et al.* (1996) para trigo.

En cuanto al efecto producido por las variedades sobre la concentración de nitratos en el JBT, solamente en el estadio de ET en la primera fecha de siembra, se determinaron diferencias entre materiales (Tabla 1). Estas diferencias no fueron consistentes en las otras fechas de muestreo y por lo tanto, es posible afirmar que no existe una marcada capacidad diferencial entre las variedades estudiadas para acumular o reducir nitratos. Estos resultados

confirman los obtenidos por Strada *et al.* (2000) sobre BS, los que se podrían explicar por la estrecha base genética de estos materiales.

En la Figura 2 se presenta la relación entre la concentración de nitratos sobre BS y en el JBT, para las dos fechas de siembra y los tres momentos de muestreo. Se determinaron líneas de ajuste diferentes entre las dos fechas de siembra con elevados coeficientes de determinación, orígenes coincidentes ($P > 0,05$), y mayor pendiente ($P < 0,05$) para la segunda. Por lo tanto, a igual concentración de nitratos determinados sobre BS, correspondieron mayores valores de concentración de nitratos en el JBT en la segunda fecha de siembra con respecto a la primera. Una posible explicación a este comportamiento podría ser la mayor disponibilidad hídrica para la primera fecha de siembra (Figura 1), originada en la mayor profundidad de suelo, que podría haber diluido la concentración de nitratos en el JBT. Independientemente del motivo del comportamiento descrito, estos resultados impiden transformar los valores de un método en otro, y de esta forma deben definirse umbrales específicos para cada método.

Para el conjunto de las variedades evaluadas, se definieron los umbrales de concentración de nitratos en el JBT de 1,92, 1,34 y $0,58 \text{ g L}^{-1}$ para obtener el 89, 93 y 89% del rendimiento máximo para DA, PG y ET, respectivamente (Figura 3). Para esta variable, Justes *et al.* (1995) determinaron un umbral en el estadio de ET de $1,9 \pm 0,4 \text{ g L}^{-1}$, que supera al determinado en este trabajo para el mismo estadio. Para establecer dicho umbral aquellos autores emplearon el denominado índice de nutrición nitrogenada (INN) igual a 1 (el que indica que la concentración de nitrógeno en planta es tal que permite obtener la máxima tasa de crecimiento del cultivo), calculado 50°C d^{-1} después de la determinación del contenido de nitratos en el JBT, puesto que la acumulación de nitrógeno es posterior a la absorción de nitratos en la planta. Desde el punto de vista práctico, es discutible el elevado valor de INN escogido, puesto que podría justificarse la utilización de un valor más conservador (0,8 o 0,9), lo que se traduciría en un umbral de concentración de nitratos en el JBT menor. Además, es necesario conside-

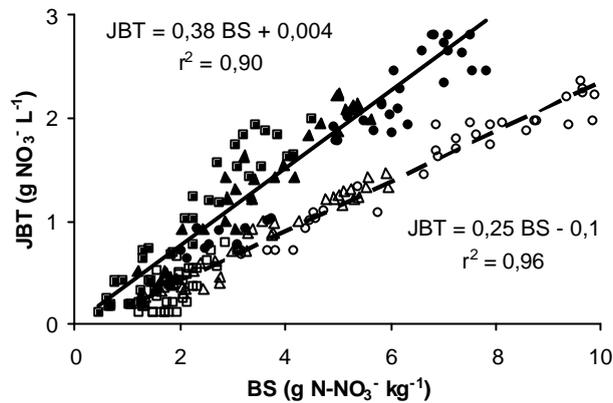


Figura 2. Relación entre los contenidos de nitratos al macollaje determinados sobre base seca (BS) (Strada et al 2000) y en el jugo de la base del tallo (JBT), para la primera (símbolos vacíos y línea discontinua) y la segunda (símbolos llenos y línea continua) fecha de siembra. DA=doble arruga (círculos), PG=primordio de gluma (triángulos), ET=espiquilla terminal (cuadrados).

Figure 2. Relationship between nitrate concentration at tillering determined in dried plant material (BS) (Strada et al 2000) and in stem base extract (JBT), for the first (empty symbols and dashed line) and the second (filled symbols and continuous line) sowing dates. DA=double ridge (circles), PG=glumme primordium (triangles), ET=terminal spikelet (squares).

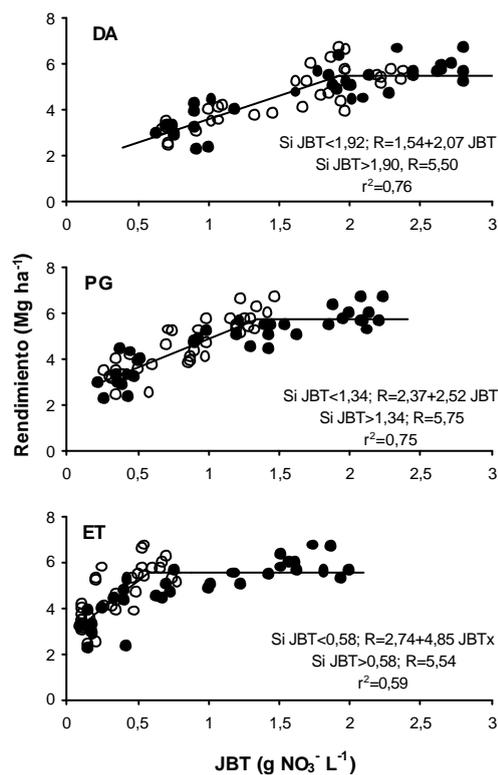


Figura 3. Relación entre el rendimiento en grano de trigo y el contenido de nitrato determinado en el jugo de la base del tallo (JBT) durante el macollaje. DA=doble arruga; PG=primordio de gluma; ET=espiquilla terminal. Círculos vacíos y llenos representan la primera y segunda fecha de siembra, respectivamente.

Figure 3. Relationship between wheat grain yield and nitrate concentration determined in stem base extract (JBT) during tillering. DA=double ridge, PG=glumme primordium, ET=terminal spikelet. Empty and filled circles correspond to the first and second sowing date, respectively.

rar que los trigos empleados en la experiencia de Justes *et al.* (1995) poseen potenciales de rendimiento muy superiores a los empleados en esta experiencia, lo que también contribuiría a explicar la diferencia en los umbrales determinados.

Las relaciones presentadas en la Figura 3 y particularmente las obtenidas para los estadíos de DA y PG, permiten definir situaciones de estrés nitrogenado y por lo tanto podrían ser utilizadas como guía para realizar aplicaciones de fertilizantes nitrogenados durante el macollaje del cultivo. No obstante, las mismas no permiten la definición de dosis de fertilización. El JBT no refleja el flujo instantáneo de absorción de nitrato, sino que representa la integración del flujo de absorción de nitrato desde las raíces a la parte aérea durante los días previos a la medición. Esta integración es una buena cualidad para un indicador que refleja el estado de nutrición nitrogenada del cultivo (Justes *et al.* 1995). No obstante, como consecuencia de lo mencionado, cualquier factor que altere el flujo de nitratos desde las raíces (por ejemplo estrés de agua) afectará las bondades de este indicador.

Al igual que para la concentración de nitratos en JBT, no hubo efecto significativo ($P>0,05$) de la interacción entre las variedades y las dosis de nitrógeno sobre el IV. En la Tabla 1 se presentan los promedios de IV para las dosis de nitrógeno y las variedades y se observa que sus efectos fueron significativos ($P<0,05$). Los mayores valores de concentración de nitratos correspondieron a la dosis de 120 kg N ha⁻¹ y los menores a los testigos sin nitrógeno.

En la Figura 4 se presenta la relación entre el rendimiento en grano del cultivo y el IV. Se puede observar que, a mayor contenido de clorofila, el rendimiento aumenta hasta un punto umbral, en el cual los rendimientos se hacen constantes. De manera análoga a lo realizado con la concentración de nitratos en el JBT, se definieron umbrales de 41,5, 41,6 y 41,2 unidades SPAD para llegar al 96, 96 y 98% del rendimiento máximo en PG de la primera fecha de siembra, DA y ET de la segunda fecha de siembra, respectivamente. No se determinaron diferencias ($P>0,05$) en los valores de la ordenada al origen, la pendiente

ni el valor del umbral entre momentos de muestreo, por lo tanto, para las condiciones de este trabajo no se determinaron cambios en los valores del umbral de IV durante el macollaje del trigo.

En cuanto al efecto producido por las variedades, sobre el IV, estas diferencias fueron consistentes entre las fechas de muestreo y, por lo tanto, es posible afirmar que los diferentes cultivares presentan diferentes intensidades de verde (Tabla 1). Los mayores valores de IV correspondieron a PO y los menores a PQ, en una posición intermedia se ubicaron KC y BG. Este efecto constituye un inconveniente para realizar comparaciones de las lecturas en unidades SPAD y fue señalado con anterioridad en híbridos de maíz (Varvel *et al.* 1997). Estos autores propusieron el empleo del ISN, con la finalidad de eliminar o disminuir las diferencias producidas por la coloración de híbridos de maíz. Para las distintas fechas de siembra, variedades y dosis de nitrógeno evaluadas, en la Figura 5 se presenta la estrecha relación entre el rendimiento del cultivo y el ISN. En función de ésta, para obtener el 90 y 95% del rendimiento máximo se necesitarían ISN de 0,96 y 0,98, respectivamente. Por lo tanto, durante el período del macollaje del cultivo, ISN menores que estos valores indicarían situaciones con deficiencias de nitrógeno y podrían ser utilizadas como guía para realizar aplicaciones de fertilizantes nitrogenados. Se considera conveniente destacar que esta determinación posee la ventaja de ser no destructiva (Piekielek *et al.* 1995).

Para el cultivo de maíz en el Sudeste Bonaerense, se ha determinado que el IV es un estimador sensible de la disponibilidad de nitrógeno para el cultivo en estadíos avanzados, pero no se comportó adecuadamente en el estadío de V6 (Sainz Rozas, Echeverría 1998). Por el contrario, para el cultivo de trigo estos resultados sugieren que, aunque durante el macollaje el rango de valores del ISN es pequeño (0,8 a 1,0), el mismo permite separar situaciones que denuncian deficiencias de nitrógeno.

CONCLUSIONES

Se establecieron relaciones estrechas entre la determinación de la concentración de

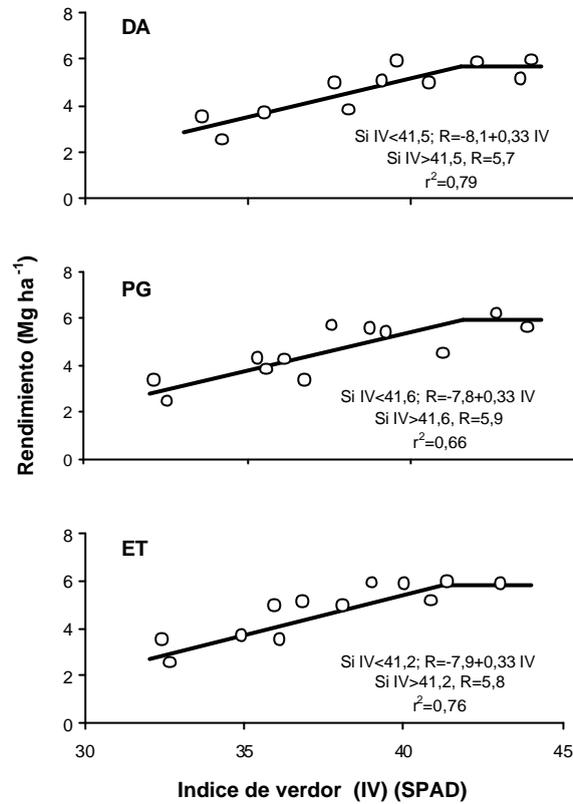


Figura 4. Relación entre el rendimiento en grano de trigo y el índice de verdor durante el macollaje. DA= doble arruga (segunda fecha de siembra); PG= primordio de gluma (primera fecha de siembra); ET= espiguilla terminal (segunda fecha de siembra).

Figure 4. Relationship between wheat grain yield and the greenness index during tillering. DA= double ridge (second sowing date), PG= glumme primordium (first sowing date), ET= terminal spikelet. (second sowing date).

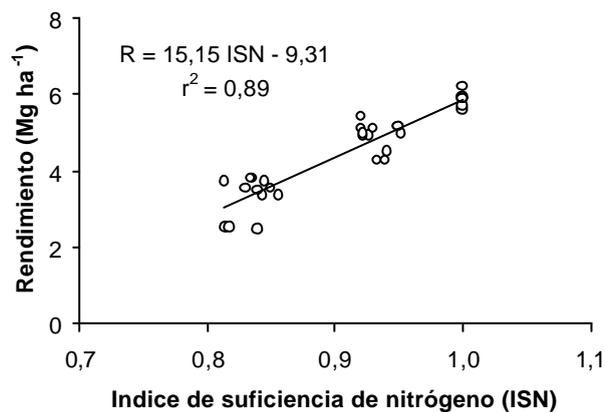


Figura 5. Relación entre el rendimiento en grano de trigo y el índice de suficiencia de nitrógeno durante el macollaje, para las diferentes fechas de siembra, variedades y dosis de nitrógeno evaluadas.

Figure 5. Relationship between the wheat grain yield and the nitrogen sufficiency index during tillering, for the different sowing dates, varieties and nitrogen rates studied.

nitratos en pseudo tallos de trigo sobre BS y JBT, no obstante, no fue posible establecer una única relación para las situaciones evaluadas.

La concentración de nitratos en el JBT durante el macollaje de trigo se asoció a los rendimientos del cultivo, aunque los umbrales de respuesta disminuyen durante ese estadio. En condiciones similares a las estudiadas, el JBT es un aceptable indicador de la nutrición nitrogenada del trigo.

El IV varía en función de la disponibilidad de nitrógeno y de los materiales genéticos de trigo, durante el macollaje. El ISN remueve las diferencias provocadas por materiales genéticos y, por lo tanto, se presenta como promisorio indicador de la nutrición nitrogenada del trigo.

REFERENCIAS

- Alberdi H, Echeverría H E, Navarro C. 1989. Algunos factores que condicionan la concentración de nitratos en pseudo tallos de trigo. *Ciencia del Suelo* 7:31-35.
- Benton Jones J. 1998. *Plan nutrition manual*. CRC Press. Washington. Pp. 149.
- Echeverría H E. 1985. Factores que afectan la concentración de nitratos en plantas de trigo. *Ciencia del Suelo* 3:116-123.
- Echeverría H E, Navarro C A, Andrade FH. 1992. Nitrogen nutrition of wheat following different crops. *J. Agric. Sci., Cambridge*. 118:157-163.
- Falótico J, Studdert, G A, Echeverría, HE. 1999. Nutrición nitrogenada del trigo bajo siembra directa y labranza convencional en condiciones de agricultura continua. *Ciencia del Suelo* 17:9-20.
- Finnan J M, Burke J I, Jones M B. 1997. A note on a non-destructive method of chlorophyll determination in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Irish J. Agric. Food Res.* 36:85-89.
- García F, Fabrizzi K, Berardo A, Justel F. 1998. Fertilización nitrogenada de trigo en el sudeste bonaerense: respuesta, fuentes y momentos de aplicación. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Villa Carlos Paz, Córdoba. Mayo 1998. pp 109-110.
- Gonzalez Montaner J H. 1987. Deux outils d'analyse de la response du ble a la fertilisation azotee: Les composantes du rendement et la teneur en nitrates des organes vegetaux. M.S. These. Istitut National Agronomique. Paris - Grignon.
- Gonzalez Montaner J H, Maddoni G A, Mailland N, Posborg N. 1991. Optimización de la respuesta a la fertilización nitrogenada en el cultivo de trigo, a partir de un modelo de decisión para la subregión IV. *Ciencia del Suelo*. 9:41-51.
- Herfurth E, Echeverría H E, Uhart S A, Sainz Rozas H, 1997. Determinación de nitratos en la base del tallo como elemento diagnóstico de la nutrición nitrogenada en maíz. VI Congreso Nacional de Maíz. Pergamino. Noviembre 1997. III: 87-93.
- Huffaker R C, Rains D W 1978. Factors influencing nitrate acquisition by plants; assimilation and fate of reduced nitrogen. En: Nielsen DR and Mc Donald JG (Ed.). *Nitrogen in the Environment*. Academic Press, New York, Vol. 1, 143-155.
- Justes E 1993. Diagnostic de la nutrition azotée du blé, à partir de la teneur en nitrate de la base de la tige. Application au raisonnement de la fertilisation. Thèse de Docteur de l'INA-PG. Paris.
- Justes E, Mary B, Meynard J M. 1995. Evaluation of a nitrate test indicator to improve nitrogen fertilisation of winter wheat crops. Poitiers, France, 22-23 november 1995. Ed INRA, París, 1997 (Les Colloques, nº82)
- Kirby E J M, Apleyard M 1984. *Cereal developments guide*. 2nd Edition. Plant Breeding Institute Arable Unit. 95 p.
- Papastylianou I, Puckridge D W. 1981. Nitrogen nutrition of cereals in a short-term rotation. II: Stem nitrate as an indication of nitrogen availability. *Aust. J. Agric. Res.* 32:713-723.
- Papastylianou I, Graham R D, Puckridge D W 1984. Diagnosis of nitrogen status of wheat at tillering and prognosis for maximal grain yield. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 13:473-485.
- Piekielek W P, Fox R H. 1992. Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. *Agron. J.* 84: 59-65.
- Piekielek W P, Fox R H, Toth J D, Kirsten E M. 1995. Use of a chlorophyll meter at the early dent of corn to evaluate nitrogen sufficiency. *Agron. J.* 87: 403-408.
- Sainz Rozas H, Echeverría H E 1998. Uso del medidor de clorofila para el monitoreo de la nutrición nitrogenada del cultivo de maíz. *Rev. Fac. Agron. La Plata.* 103:37-44.
- Suero E, Irigoyen A, Della Maggiora A. 1997. Planificación de riego. VII Reunión Argentina y 1º Latinoamericana de Agrometeorología. Abril 1997. Buenos Aires. pp 43-44.
- Schepers J S, Francis D D, Clausen C. 1990. Techniques to evaluate N status of corn. P. 280. En *Agronomy Abstracts*, ASA, Madison, WI.
- Steel R G, Torrie J H. 1960. *Principles and procedures of statistics with special reference to the biological sciences*. Mc Graw-Hill Book Co., New York.
- Strada R A, Echeverría H E, Studdert G A. 2000.

- Diagnóstico de la respuesta a la fertilización nitrogenada por medio de la concentración de nitratos en pseudo tallos de trigo. *Ciencia del Suelo* 18:64-68.
- Varvel G E, Schepers J S, Francis D D. 1997. Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:1233-1239.
- Viglezzi A, Echeverria H E, Studdert G A. 1996. Nitratos en pseudotallos de trigo. I. Indicador de la disponibilidad de nitrógeno. *Ciencia del Suelo* 14:57-62.
- Westfall D G, Whitney D A, Brandon D M. 1990. Plant Analysis as an aid in fertilizing small grain. pp. 495-519. En: R.L. Westerman (ed). *Soil Testing and Plant Analysis*, 3rd ed. – SSSA Book Series, n° 3. Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, USA.

CAMBIOS EN PRODUCCION Y CALIDAD DEL FORRAJE OTOÑO-INVERNAL POR EL AGREGADO DE NITROGENO EN MATERIALES GENETICOS DE AGROPIRO

SI ALONSO, JA FERNANDEZ, CI BORRAJO, HE ECHEVERRIA

Unidad Integrada Fac. Cs. Agrarias, UNMdP - EEA INTA Balcarce. CC 276, (7620) Balcarce, Buenos Aires, Argentina. E-mail: salonso@balcarce.inta.gov.ar

Recibido 27 de junio de 2000, aceptado 20 de octubre de 2000.

AUTUMN AND WINTER FORAGE PRODUCTION AND QUALITY CHANGES BY NITROGEN APPLICATIONS IN TALL WHEATGRASS GENETIC MATERIALS

Nitrogen applications increase spring tall wheatgrass production, but its effects on production and quality in other seasons, on different genetic materials are unknown for the SE of the Bs. As. province conditions. The objective of this work was to determine the effect of nitrogen applications on autumn and winter forage production and nutritive value, of six tall wheatgrass materials. Forage cuts were made in April, June and August, in treatments with (N100) or without (N0) nitrogen applications. *In vitro* digestibility (DIVMS), neutral detergent fiber (FDN), total nitrogen percentage (%N), dry matter production (MS), digestible dry matter (MS-Dig) and nitrogen absorption (N-Abs) were evaluated. Nitrogen applications increased tall wheatgrass MS in 60, 110 and 150% for April, June and August forage cuts, respectively. Same results were obtained for MS-Dig. Though the increase due to nitrogen application was higher for the winter forage cut, the greatest MS was obtained in the April cut. The nitrogen application increased the nutritive value. For N0 and N100, the DIVMS was 61,4 and 67,2%, the FDN 55,4 and 51,1%, and the %N 2,1 and 3,3 %, respectively. Phenotypic variability was detected among genetic materials for variables related to forage nutritive value, and it was expressed independently of nitrogen nutritional status. Present information is relevant to crop management and can provide guidelines for selecting germplasm in plant breeding programs, and enhance the positive effect of nitrogen on forage production and nutritive value.

Key words: Nitrogen nutrition - Forage production - Forage quality - Tall wheatgrass - Genetic materials.

INTRODUCCION

El agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum* (Podp.) Barw. & Dewey = *Agropyron elongatum* (Host.) Beauv.) es una forrajera introducida que se caracteriza por su adaptación a condiciones climáticas y edáficas adversas, por lo cual en Argentina es cultivada en diferentes ambientes. En la pampa deprimida bonaerense, es la forrajera de mayor utilización en los suelos bajos, mal drenados, con alto contenido de sales, y baja fertilidad (Mazzanti *et al.* 1992; Fernández Grecco *et al.* 1996; Díaz Zorita 1997). Su desarrollo es promisorio en suelos arenosos, poco fértiles y/o degradados de las zonas semiáridas del oeste bonaerense, La Pampa y el sur de la Argentina (Gargano *et al.* 1988; San Martino, Milicevic 1995; Díaz Zorita *et al.* 1998). A pesar de la importancia que tiene esta forrajera, por su posibilidad de cultivo en

ambientes con limitaciones para el desarrollo de otras forrajeras, no se han realizado esfuerzos significativos en su mejoramiento (Mazzanti *et al.* 1992). Esta situación podría revertirse a través de la utilización de germoplasma adaptado a las variantes climáticas y edáficas de la región, como el naturalizado en diferentes ambientes y localidades bonaerenses, y para el que se ha encontrado variabilidad fenotípica para distintas características agronómicas (Borrajo *et al.* 1998).

En la actualidad el cultivar de agropiro de mayor utilización es «El Vizcachero INTA», el cual presenta alta tasa de crecimiento a fines de primavera y principios de verano y vegeta activamente en el otoño, sin embargo el crecimiento es poco activo en invierno, lo que determina una producción escasa a nula durante ese período (Mazzanti *et al.* 1992).

El valor nutritivo del forraje es intermedio a bajo dependiendo de la estación de crecimiento y del estado de desarrollo de la pastura. En Balcarce se observó que los mayores porcentajes de digestibilidad y de nitrógeno total del forraje, unidos a bajos contenidos de fibra, se registraban durante la etapa primaveral temprana, luego de la cual la calidad disminuía considerablemente (Gándara, Gómez 1987). Sin embargo, en Bahía Blanca Gargano *et al.* (1988), encontraron que la calidad del forraje de otoño del agropiro alargado selección Anguil, superaba a la de primavera, lo que fue adjudicado al avanzado estado fenológico.

El agregado de nitrógeno estimula el crecimiento invernal del forraje, anticipa la producción primaveral e incrementa la producción de materia seca en diferentes especies forrajeras (Whitehead 1995; Díaz Zorita 1997). La fertilización nitrogenada también puede afectar la calidad del forraje (Whitehead 1995), aunque los informes del efecto directo e indirecto del nitrógeno, sobre los atributos relacionados con el valor nutricional de las plantas, resultan contradictorios. En el sudeste bonaerense la fertilización nitrogenada en pasturas de agropiro ha posibilitado incrementar y anticipar el crecimiento de forraje de fin de invierno y principios de primavera (Fernández Grecco *et al.* 1996) y aumentar el contenido de nitrógeno del forraje producido durante las etapas vegetativa y de elongación de la caña (Borrajo 1998). Sin embargo, no se tienen referencias regionales sobre el efecto del agregado de nitrógeno en la producción y calidad del forraje de otoño e invierno.

La magnitud de la respuesta al agregado de nitrógeno depende de la especie involucrada, aunque también puede haber variaciones entre cultivares, o clones de una misma especie (Smith *et al.* 1994; Whitehead 1995). Disponer de germoplasma de agropiro alargado con respuestas diferenciales en producción y/o valor nutricional del forraje, posibilitaría la selección de los más adecuados para su posterior inclusión en la obtención de variedades. Se hipotetiza que al año de implantación, y sin deficiencias de fósforo, la fertilización nitrogenada incrementará la producción y la calidad del forraje de agropiro desde fin de verano a invierno, y que dicho efecto variará en función del material genético

utilizado. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto del agregado de nitrógeno sobre la producción de materia seca y el valor nutritivo del forraje de otoño e invierno en diferentes materiales de agropiro alargado.

MATERIALES Y METODOS

La experiencia se inició en el verano de 1996/97 en un ensayo implantado durante el otoño de 1996 sobre un Paleudol Petrocalcico ubicado en la Unidad Integrada Balcarce (Fac. Cs. Agrarias, UNMDP y E.E.A. Balcarce, INTA (37°45' S, 58° 18' O). Al inicio de la presente experiencia el suelo presentaba las siguientes características: pH 5,6; fósforo disponible (Bray-Kurtz) 29 mg kg⁻¹; materia orgánica 60 g kg⁻¹; y 3,1 mg kg⁻¹ de nitrógeno bajo la forma de nitratos. Se consideró que el nivel de fósforo en el suelo no resultaría limitante para el desarrollo de la forrajera (Echeverría, García 1998), por lo cual no se agregó dicho nutriente.

El ensayo se estableció en base a un diseño en bloques completos al azar (BCA) en parcela dividida y tres repeticiones. La parcela principal correspondió al factor nitrógeno, con dos niveles, sin y con el agregado de nitrógeno (N0 y N100, respectivamente). El tratamiento N100 fue fertilizado con urea a razón de 160 kg N ha⁻¹ en el año de la implantación, y durante la presente experiencia, se le suministraron 100 kg N ha⁻¹ luego del corte de limpieza de febrero y de cada uno de los cortes de forraje realizados. En la subparcela se consideraron seis materiales genéticos de agropiro, uno de ellos formado por plantas derivadas del cultivar «El Vizcachero INTA» (Mat. C) y los otros cinco (Mat. A, J, M, P y V), derivados de plantas correspondientes a poblaciones de agropiro naturalizadas en la provincia de Buenos Aires, las que se hallaban conservadas en el Banco de Germoplasma de la EEA Balcarce, INTA. La unidad experimental abarcó una superficie de 1,12 m² y estaba conformada por 28 plantas implantadas con un distanciamiento de 20 cm entre plantas e hileras, las que al inicio de esta experiencia presentaban una cobertura similar a la de una pastura convencional de agropiro.

A partir de un corte inicial de limpieza realizado en febrero, se cosechó el forraje producido cada dos meses (F₁=4 de abril; F₂=5 de junio y F₃=4 de agosto) utilizando una tijera manual, excepto en el corte de junio en el que se utilizó una cortadora mecánica. El forraje obtenido se llevó a estufa a 60° C, durante un mínimo de 48 hs, a fin de determinar la producción de materia seca (MS, kg ha⁻¹), luego de lo cual fue molido en un molino Wiley con tamiz de malla de 1 mm. En cada muestra se estableció el contenido de nitrógeno total (%N, Nelson y Sommers 1986), la digestibilidad

Tabla 1. Temperatura media (T), heliofanía efectiva (H), precipitación (PP), evapotranspiración potencial (ETP), y del cultivo (ETC), coeficiente del cultivo (Kc), y balance hídrico (HB), para febrero-agosto de 1997.

Table 1. Mean temperature (T), daylight time (H), precipitation (PP), potential (ETP) and crop evapotranspiration (ETC), crop coefficient (Kc), and hydric balance (HB) for February - August of 1997.

Meses	T (°C)		H (hs)	PP (mm)	ETP (mm)	Kc	ETC (mm)	HB (PP-ETC)
	1997	Media 1989/98						
Febrero	18,3	19,5	231,0	119,4	139,2	0,8	111,36	8,04
Marzo	18,0	18,4	212,8	55,5	147,2	0,6	88,32	-32,8
Abril	15,6	14,8	142,7	57,1	128,2	0,55	70,51	-13,4
Mayo	13,7	11,8	128,7	45,5	118,9	0,6	71,34	-25,8
Junio	9,6	8,4	97,1	85,5	90,3	0,55	49,66	35,8
Julio	9,4	7,6	115,0	58,4	101,3	0,55	55,72	2,7
Agosto	9,8	9,7	130,4	58,9	113,6	0,6	68,16	-9,3

Registros aportados por la Estación Meteorológica de la E.E.A. Balcarce, INTA.

in vitro (DIVMS, Tilley y Terry 1963) y el porcentaje de fibra detergente neutro de la materia seca (FDN, Goering y Van Soest 1970). Posteriormente, se estimó la cantidad de nitrógeno absorbido por el forraje (N-Abs = kg MS ha⁻¹ x %N/100) y la producción de materia seca digestible (MS-Dig = kg MS ha⁻¹ x DIVMS/100). Se calculó el índice de nutrición nitrogenada (INN), como el cociente entre el nitrógeno determinado y el estimado por la curva de dilución crítica de nitrógeno construida según la siguiente ecuación: $N\% = 4,8 * (MS)^{-0,33}$ (Lemaire, Salette 1984). Se determinó la eficiencia agronómica aparente del nitrógeno aplicado (EAg en kg MS kg N⁻¹) como el producto de la recuperación aparente de nitrógeno (RAp) y la eficiencia de utilización (EUt). La RAp se calculó como el cociente entre la diferencia en N-Abs en

entre N100 y N0, y la cantidad de nitrógeno aplicado como fertilizante (kg N kg N⁻¹). La EUt se calculó como el cociente entre la diferencia en producción de MS entre N100 y N0, y la diferencia en N-Abs entre N100 y N0 (kg MS kg N-Abs⁻¹).

Los registros de los tres cortes se analizaron en forma conjunta a través de un análisis de la varianza, para lo cual se consideró un diseño en BCA en parcela sub-subdividida en el que el factor corte correspondió a la parcela principal, el factor nitrógeno a la subparcela y los materiales a la sub-subparcela. La comparación entre medias de tratamientos se estableció en base a la prueba de comparaciones múltiples de Duncan para un nivel de $\alpha = 0,05$, y la relación entre variables a través de análisis de correlación.

Tabla 2. Valor de probabilidad (P) y coeficiente de variación para producción de materia seca (MS), digestibilidad *in vitro* (DIVMS), materia seca digestible (MS-Dig), fibra detergente neutro (FDN), contenido de nitrógeno (%N) y N absorbido (N-Abs), en seis materiales de agropiro.

Table 2. Probability value (P) and variation coefficient. for dry matter production (MS), *in vitro* digestibility (DIVMS), digestible dry matter (MS-Dig), neutral detergent fiber (FDN), nitrogen percentage (%N), and nitrogen absorbed (N-Abs) on six tall wheatgrass materials.

F. Variación	MS	DIVMS	MS-Dig	FDN	% N	N-Abs
Cortes (C)	0,0005	0,0001	0,0007	0,0001	0,0001	0,002
Nitrógeno (N)	0,0001	0,02	0,0001	0,0002	0,0001	0,0001
Int(C x N)	0,016	0,18	0,009	0,04	0,006	0,002
Material (Mat)	0,20	0,008	0,12	0,01	0,01	0,05
Int (C x Mat)	0,85	0,43	0,77	0,59	0,94	0,92
Int (N x Mat)	0,27	0,06	0,16	0,80	0,54	0,12
Int (C x N x Mat)	0,85	0,21	0,77	0,17	0,84	0,90
Coef. Var. (%)	24,3	4,64	24,3	3,45	6,15	26,2

RESULTADOS Y DISCUSION

Las condiciones climáticas imperantes durante el desarrollo del cultivo se reseñan en la Tabla 1, en la que se observa que las temperaturas medias resultaron levemente superiores al promedio para la zona, especialmente en invierno, y que las precipitaciones resultaron escasas en otoño provocando un ligero déficit hídrico de marzo a mayo.

La interacción triple no resultó significativa para ninguna de las variables, como tampoco las interacciones dobles en las que intervino el factor material (Tabla 2). La interacción entre cortes y dosis de nitrógeno fue significativa para producción de materia seca (Figura 1), mientras que no se detectaron efectos de materiales. En ambos tratamientos se observó una disminución desde el otoño al invierno, la cual resultó de diferente magnitud entre cortes. En el tratamiento N100 la producción de MS de los cortes de junio y agosto sólo alcanzó al 33 y al 25% de la obtenida en abril, respectivamente. La declinación resultó aún mayor en el tratamiento N0, ya que en los últimos cortes se registró sólo un 25 y un 16% del rendimiento obtenido en el primero. La disminución en la producción de forraje observada, está de acuerdo con el comportamiento general de la especie en la zona (Mazzanti *et al.* 1992).

En los tres cortes la producción de forraje del tratamiento N100 fue mayor que la del testigo, pero de diferente magnitud. A prin-

cipios de otoño el agregado de nitrógeno incrementó la producción de MS en un 60%, mientras que en los cortes de junio y agosto, el forraje producido aumentó 110 y 150%, respectivamente (Figura 1). En base a lo expresado, las tasas de crecimiento de forraje desde el primer al tercer corte fueron de 135, 45 y 34 kg ha⁻¹día⁻¹ para N100, y de 84, 21 y 16 kg ha⁻¹día⁻¹ para N0, respectivamente.

En pasturas de agropiro implantadas en Balcarce, en un suelo Natracuol de pH 9,1, el suministro de nitrógeno provocó incrementos en la tasa de crecimiento diario primaveral (Fernández Grecco *et al.* 1996). Estos autores reportaron una producción promedio de 58,8 y 96,6 kg MS ha⁻¹día⁻¹ ante el agregado de 0 y 100 kg N ha⁻¹, respectivamente, mientras que en la presente experiencia, se registraron tasas de 40,4 kg MS ha⁻¹día⁻¹ para N0, y de 71,3 kg MS ha⁻¹día⁻¹ para N100. Estas menores tasas se deberían a que corresponden al momento de menor crecimiento de la especie, sin embargo, las diferencias no son amplias, lo cual podría deberse a la mayor aptitud del suelo utilizado en esta experiencia. Ambos trabajos coinciden en que el agregado de nitrógeno incrementa la producción de MS de agropiro, lo que en el caso de esta experiencia resulta relevante por tratarse de la etapa de menor producción de las pasturas.

La DIVMS difirió tanto entre cortes como entre niveles de fertilización y entre materiales (Tabla 2). Entre muestreos la

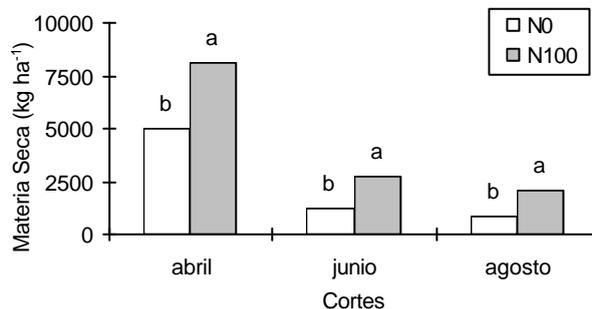


Figura 1. Producción de materia seca (MS) promedio de materiales de agropiro, en cortes de otoño e invierno, con (N100) y sin (N0) agregado de nitrógeno. Letras diferentes dentro de corte indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

Figure 1. Mean dry matter production (MS) of tall wheatgrass materials in autumn and winter cuts, with (N100) and without (N0) nitrogen applications. Different letters within cut indicate significant differences ($P < 0,05$).

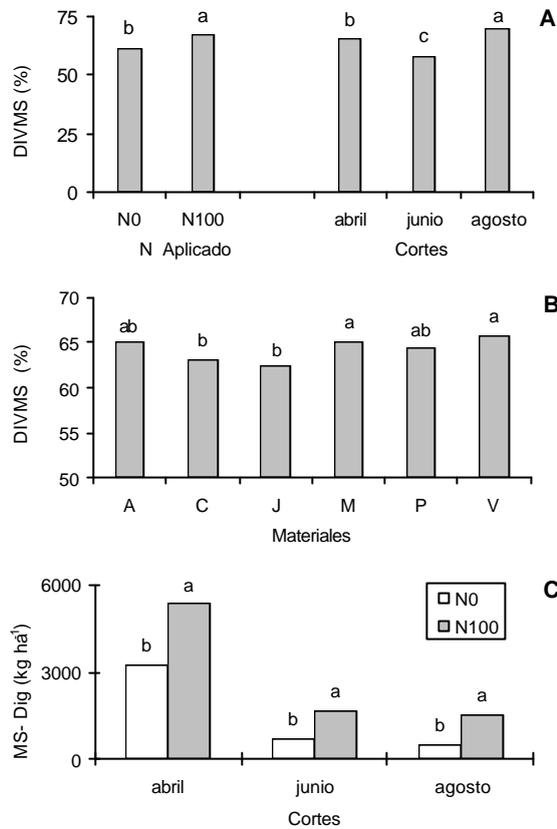


Figura 2. A) Digestibilidad *in vitro* (DIVMS) promedio de materiales de agropiro por nivel de nitrógeno y por corte, B) diferencias en DIVMS entre materiales genéticos, C) materia seca digestible (MS-Dig) promedio, en cortes de forraje otoño-invernales, con (N100) y sin (N0) agregado de nitrógeno. Letras diferentes dentro de corte y entre materiales, indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

Figure 2. A) Mean *in vitro* digestibility (DIVMS) of tall wheatgrass materials, by nitrogen level and cut, B) DIVMS differences among genetic materials, and C) mean digestible dry matter (MS-Dig), in autumn and winter cuts, with (N100) and without (N0) nitrogen applications. Different letters within cut or among materials indicate significantly differences ($P < 0,05$).

DIVMS del forraje obtuvo el mayor registro en invierno (Figura 2A). Esto último sería consecuencia de la asociación negativa entre temperatura y digestibilidad descripta para gramíneas forrajeras (Hacker, Minson 1981). Sin embargo, no explicaría los menores registros de DIVMS del corte de junio, lo que probablemente se relacione con una mayor contaminación del forraje con partículas de suelo, provocada por el empleo de una cortadora mecánica en la cosecha de ese período. La DIVMS promedio del forraje del testigo fue un 6% menor que la del tratamiento N100 (Figura 2A). El efecto de la fertilización nitrogenada sobre la digestibilidad suele ser pequeño, del orden de 0,6 a 4 unidades por-

centuales, pero usualmente positivo (Hacker, Minston 1981), lo que coincide con lo observado en agropiro por Gargano *et al.* (1988) y con lo establecido en este trabajo.

En relación a los materiales se determinó que la mayor DIVMS correspondió a M y V y la menor a C y J (Figura 2B). Las diferencias intraespecíficas en DIVMS suelen ser de escasa magnitud, especialmente en materiales emparentados. Al comparar líneas derivadas del cultivar Tyrrel con otros cultivares de agropiro alargado, Smith *et al.* (1994) sólo detectaron diferencias entre materiales de diferente origen, del orden del 1,6%. En esta experiencia las diferencias resultaron mayores, alcanzando un 3,3%, entre los materiales

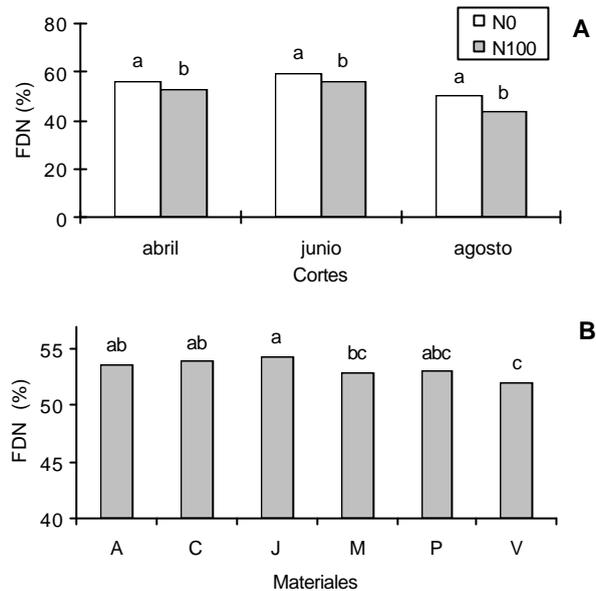


Figura 3. A) fibra detergente neutro (FDN) promedio de materiales de agropiro, en cortes de forraje de otoño invierno, con (N100) y sin (N0) agregado de nitrógeno. y B) FDN en diferentes materiales. Letras diferentes dentro de corte y entre materiales, indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

Figure 3. A) mean of neutral detergent fiber (FDN) of tall wheatgrass materials, in autumn and winter cuts, with (N100) and without (N0) nitrogen applications, and B) FDN of different materials. Different letters within cut and among materials indicate significantly differences ($P < 0,05$).

con registros extremos (J y V). Si bien se trata de diferencias de escasa magnitud, resultaron consistentes a lo largo de los muestreos vegetativos de otoño e invierno, y coincidentes con lo hallado en la etapa de floración por Borrajo (1998).

Al considerar la MS-Dig se detectó interacción significativa entre cortes y nivel de nitrógeno (Tabla 2 y Figura 2C), la cual presentó la misma tendencia que fuera observada para producción de MS. Las diferencias entre N100 y N0 fueron de 67, 138 y 185% para F_1 , F_2 y F_3 , respectivamente, incrementos que resultaron superiores a los detectados en producción de MS y que se explicarían por el efecto positivo que produjo el agregado de nitrógeno sobre la digestibilidad del forraje. De lo anterior surge que la fertilización nitrogenada en agropiro no sólo contribuyó a incrementar la producción de forraje en sí misma, sino que proporcionó mayor proporción de forraje digestible.

El ANVA para FDN indicó interacción significativa entre cortes y dosis de nitrógeno, y diferencias entre materiales genéticos (Tabla 2). Las plantas del tratamiento N100

presentaron menor contenido de FDN que las del tratamiento N0 en todos los muestreos, pero la disminución en FDN de los tratamientos N100 fue del 5 al 6% en los cortes de otoño, y del 13% en invierno (Figura 3A). En cultivos con carencia de nitrógeno, las láminas acumulan carbohidratos solubles y eventualmente almidón, aumentando el contenido de celulosa y lignina, compuestos que provocan el engrosamiento de las paredes celulares (Gastal, Saugier 1986), y en consecuencia, el incremento en el contenido de FDN y la disminución de la digestibilidad. Las diferencias en el contenido de FDN entre tratamientos están en concordancia con lo mencionado en la bibliografía, en relación a la dirección de la respuesta que provoca el nitrógeno sobre la acumulación de FDN, y en magnitud, son similares a las observados en DIVMS. Sin embargo difieren en la dirección de la respuesta, dada la correlación inversa que mantienen estas variables, y que en este trabajo resultó altamente significativa ($r = -0,81$). La variación en el contenido de FDN entre materiales también fue escasa, a pesar de lo cual se verificaron diferencias significativas entre ellos

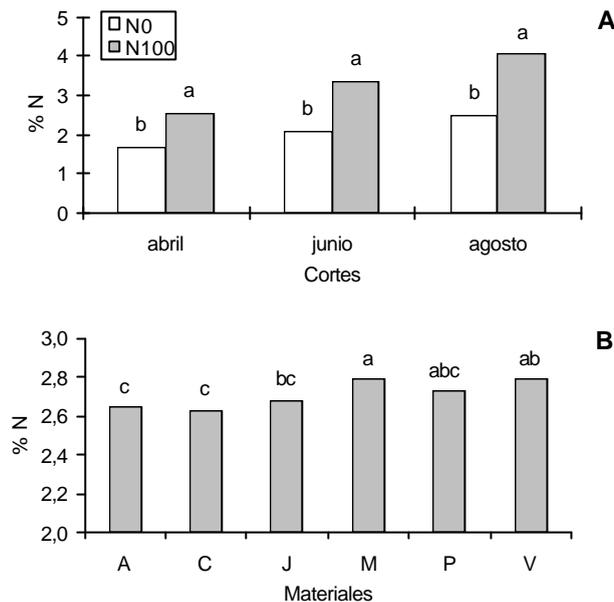


Figura 4. A) contenido de nitrógeno total (%N) promedio de materiales de agropiro, en cortes de otoño e invierno, con (N100) y sin (N0) agregado de nitrógeno, y B) %N de diferentes materiales. Letras diferentes dentro de corte y entre materiales indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

Figure 4. A) mean of nitrogen contents (%N) of tall wheatgrass materials, in autumn and winter cuts, with (N100) and without (N0) nitrogen applications, and B) %N of different materials. Different letters within cut and among materials indicate significantly differences ($P < 0,05$).

(Figura 3B), similares a las encontradas por Borrajo (1998), pero para el estadio reproductivo. Ambos estudios coinciden en señalar a los materiales V y P como los de menor contenido de FDN, y a J y C como los de mayor porcentaje.

El % N osciló entre 1,7 y 4% en función de la combinación de los factores corte y dosis de nitrógeno, y también varió entre materiales (Tabla 2). El forraje de las plantas fertilizadas presentó mayor % N que el de las N0, independientemente del corte, por lo que la interacción fue originada por el cambio en la magnitud de las diferencias entre tratamientos (Figura 4A). Dichas diferencias resultaron del orden del 53, 59 y 62 % desde el primer al tercer corte respectivamente. En el promedio entre cortes, el testigo presentó 2,1 %N en el forraje, mientras que en el tratamiento N100 se registró un % N promedio de 3,3. Resultados similares, han sido mencionados en agropiro (Gándara, Gómez 1987; Gargano *et al.* 1988; Borrajo 1998), aunque las diferencias a favor del tratamiento fertilizado resultaron más acentuadas en la presente experiencia, probablemente debido al empleo de

mayor dosis de fertilizante, y a la época de producción considerada.

El % N del forraje aumentó desde el primer al tercer corte, independientemente de la aplicación de nitrógeno. Diferencias en el %N en el forraje de agropiro entre muestreos de las etapas vegetativa y de floración, han sido atribuidas al incremento en la madurez de los tejidos (Borrajo 1998). En el presente trabajo la variación en el % N del forraje no se debería a cambios en madurez, dado que los tres cortes corresponden al mismo estadio de desarrollo, sino que estaría asociada al grado de dilución del nitrógeno absorbido en la masa vegetal producida en cada corte (Lemaire, Salette 1984). De ésta forma, la mayor dilución del nitrógeno se habría presentado a principios del otoño, época en que se registró el mayor crecimiento vegetal, y la menor en el corte de invierno.

La utilización de la curva de dilución de referencia, obtenida para condiciones no limitantes (Lemaire, Salette 1984), permite determinar el INN para los distintos tratamientos (Figura 5). Los registros de los tratamientos N100 se situaron sobre la curva o muy

próximos a ella, y en contraposición, los tratamientos N0 se ubicaron por debajo de la curva, y presentaron INN de 0,60, 0,47 y 0,48 para los cortes F_1 , F_2 y F_3 respectivamente. Ello indica que el aporte de 100 kg N ha^{-1} luego de cada corte, permitió que las plantas se desarrollaran a la máxima tasa de crecimiento del cultivo, mientras que las no fertilizadas lo hicieron en condiciones de estrés nutricional.

El %N también difirió entre materiales genéticos (Figura 4B). Debido a que los materiales no difirieron en producción de MS (Tabla 2), las diferencias observadas en el contenido de nitrógeno del forraje no se deberían al efecto de dilución antes mencionado, sino que corresponderían a variaciones genéticas. Estas diferencias concuerdan con las halladas en un ensayo previo al analizar el forraje producido en la etapa de floración, en el que se estableció que el contenido de nitrógeno de los materiales A y C era significativamente menor que el presentado por V (Borrajó 1998). Al estimar el INN de cada material, se obtuvieron valores de 0,51, 0,50, 0,52, 0,53, 0,53 y 0,53, para A, C, J, M, P y V, respectivamente, los que se relacionan estrechamente con los registros de %N del forraje de cada uno de ellos. Estas diferencias, si bien son pequeñas, confirmarían la existencia de variación genética entre materiales, en su capacidad para acumular nitrógeno.

Los materiales también difirieron entre sí en la cantidad de N-Abs por el forraje, sien-

do de $24,3 \text{ kg}$, la diferencia entre los materiales extremos (Figura 6A). Si bien las diferencias en producción de MS no llegaron a ser significativas entre materiales, al considerarlas conjuntamente con las diferencias halladas en %N, determinaron que cuatro de ellos se destacaran por una mayor absorción de nitrógeno del suelo, independiente del nivel de fertilización aplicado.

En todos los cortes, el N-Abs de las parcelas N100 fue superior al de los testigos (Figura 6B), sin embargo la relación N100/N0 del corte de abril resultó aproximadamente el doble de la de los otros dos, lo que determinó que la interacción corte por nivel de nitrógeno, fuese significativa (Tabla 2). En las dos últimas cosechas, la RAP fue de 0,63 %, lo que concuerda con lo establecido para forrajeras en general (Whitehead 1995), pero para F_1 fue de 1,23%, lo que no resulta biológicamente factible y se podría explicar en base a la residualidad del nitrógeno aplicado en 1996. Teniendo en cuenta lo anterior, y considerando una RAP similar en los tres cortes (0,63%), la EAg del F_1 sería de $15,6 \text{ kg MS kg N}^{-1}$, mientras que para F_2 y F_3 fue de $14,4$ y $12,6 \text{ kg MS kg N}^{-1}$, respectivamente. Estos registros resultan ligeramente inferiores a los reportados en otras gramíneas forrajeras para el promedio del ciclo de crecimiento (Whitehead 1995), lo que podría ser debido a que en este trabajo sólo se está considerando el período otoño-invernal. En cuanto

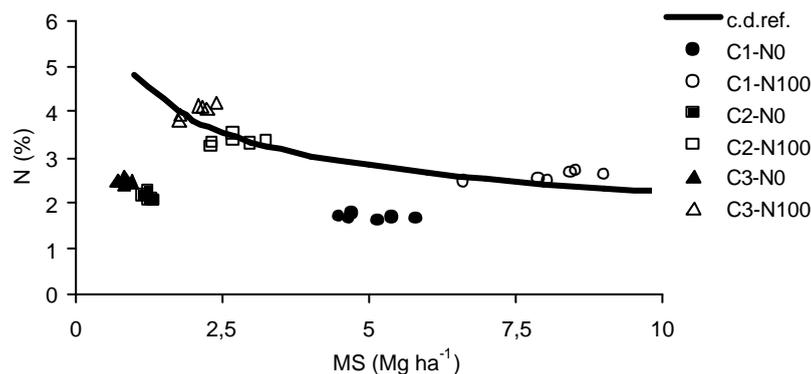


Figura 5. Contenido de nitrógeno en el forraje (%N) en función de la MS, en tres cortes (F_1 , F_2 y F_3), con (N100) y sin (N0) agregado de nitrógeno, comparado con la curva de dilución de referencia (c.d.ref: $Y = 4,8 * (MS)^{-0,33}$) de Lemaire, Salette (1984).

Figure 5. Nitrogen content of forage (%N), as a function of dry matter, for three cuts (F_1 , F_2 y F_3), with (N100) and without (N0) nitrogen applications, compare with the reference dilution curve (c.d.ref: $Y = 4,8 * (MS)^{-0,33}$) of Lemaire, Salette (1984).

a la EUt, también disminuyó desde F₁ a F₃, con valores de 24,7, 22,7 y 20 kg MS kg N-Abs⁻¹, respectivamente, lo que establecería que las condiciones climáticas que determinaron mayor producción de MS en la etapa otoñal, también resultaron más favorables que las invernales, desde el punto de vista de la EUt y de la EAg del nitrógeno aplicado.

En la provincia de Buenos Aires, el período otoño-invernal se caracteriza por una baja producción forrajera en general, problema que se agudiza en los ambientes en que imperan restricciones para el desarrollo de las plantas por causas climáticas o edáficas, como suele ocurrir en aquellos en los que se cultiva agropiro. Las aplicaciones de nitrógeno en otoño e invierno incrementaron considerablemente la producción de forraje en agropiro, sin embargo el mayor aumento se verificó durante el otoño, período en que se determinó la mayor EUt y EAg. La mayor producción de MS y MS-Dig de ésta forrajera en otoño e invierno, como consecuencia de la aplicación de nitrógeno, incrementaría la oferta de fo-

rraje durante ese período, extendería la etapa de aprovechamiento otoñal y aumentaría la cantidad de MS a ser diferida al invierno, lo cual contribuiría a disminuir la necesidad de suministrar reservas forrajeras.

El agregado de nitrógeno también provocó un efecto positivo sobre el valor nutritivo del forraje, al incrementar la DIVMS y el %N, y disminuir la proporción de FDN del mismo. De esta forma la fertilización nitrogenada de agropiro en el período otoño invernal ejercería un doble impacto sobre la producción ganadera, al posibilitar la obtención de forraje en mayor proporción y de mejor valor nutritivo.

En esta experiencia, la evaluación de diferentes materiales genéticos permitió comprobar la existencia de variabilidad fenotípica, en caracteres relacionados con la calidad del forraje. En función de los registros en DIVMS, FDN y %N del forraje, algunos de ellos resultarían más promisorios para la obtención de variedades de mejor valor nutritivo otoño-invernal. Además, la mejora en base a éstas ca-

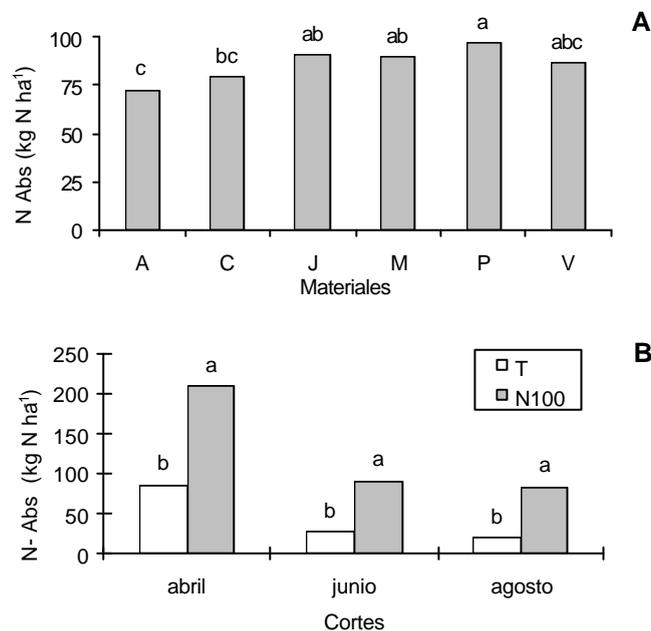


Figura 6. A) nitrógeno absorbido (N-Abs) por el forraje en diferentes materiales de agropiro y B) N-Abs promedio de diferentes materiales, en cortes de otoño e invierno, con (N100) y sin (N0) agregado de nitrógeno. Letras diferentes entre materiales, y dentro de corte, indican diferencias significativas (P<0,05).
 Figure 6. A) nitrogen absorbed (N-Abs) by forage in different tall wheatgrass materials, and B) mean N-Abs, in autumn and winter cuts, with (N100) and without (N0) nitrogen applications. Different letters within cut and among materials indicate significantly differences (P<0,05).

racterísticas no resultaría en desmedro de la producción de forraje de otoño e invierno, y se expresaría aún en ambientes con carencia de nitrógeno. Esta información, sumada a la aportada en experiencias previas, en las que se encontró variabilidad para otros atributos morfológicos y agronómicos (Borrajo 1998; Borrajo *et al.* 1997, 1998), contribuirá a la selección de materiales para ser empleados en planes de mejoramiento.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo fue subsidiado por la Universidad Nacional de Mar del Plata (15/A092), el INTA (PIE 53000005) y la SECyT (PICT 97:08-00089).

REFERENCIAS

- Borrajo C I. 1998. Generación y expansión de los órganos foliares de agropiro alargado en función del material genético y la disponibilidad de nitrógeno. Tesis MSc. Facultad de Ciencias Agrarias. Univ. Nac. Mar del Plata. Balcarce, Buenos Aires. 75p.
- Borrajo C I, Alonso S I, Mazzanti A, Monterubbianesi G. 1998. Caracterización de poblaciones naturalizadas de agropiro alargado. 2. Macollaje y caracteres reproductivos. *Rev. Arg. Prod. Animal* 18: 183-192.
- Díaz Zorita M. 1997. Forrajeras. Pasturas mixtas templadas. En: Melgar R, Díaz Zorita M (eds). La fertilización de cultivos y pasturas. Ed. Hemisferio Sur. S.A. 259 p.
- Díaz Zorita M, Peralta O, Grosso G. 1998. Fertilización nitrogenada y producción de forraje de pasturas de agropiro en el noroeste bonaerense. *Rev. Arg. Prod. Animal* 18, Supl. 1: 98-99.
- Echeverría H E, García F O. 1998. Guía para la fertilización fosfatada de trigo, maíz, girasol y soja. *Boletín Técnico* 149. Est. Exp. Agrop. INTA Balcarce. 18 p.
- Fernández Grecco R C, Sciotti A, Mazzanti A. 1996. Fertilización nitrogenada sobre el crecimiento y la acumulación de forraje de *Thinopyrum ponticum*. *Rev. Arg. Prod. Animal* 16, Supl. 1: 223-224.
- Gándara F R, Gómez P O. 1987. El agropiro (*Agropyron elongatum*) como recurso forrajero invernal, bajo distintas condiciones de manejo. V. Valor alimenticio invernal de dos pasturas de agropiro diferidas de otoño. *Rev. Arg. Prod. Animal* 7: 147-161.
- Gargano A O, Arduriz M A, Laborde H E. 1988. Evaluación de cuatro gramíneas templadas perennes. 2. Digestibilidad *in vitro* y proteína bruta. *Rev. Arg. Prod. Animal* 8: 385-395.
- Gastal F, Saugier B. 1986. Alimentation azotée et croissance de la fétuque élevée. I. Assimilation du carbone et repartition entre organes. *Agronomie* 6: 157-166.
- Goering H K, Van Soest J P. 1970. Forage fiber analysis (apparatus, reagent, procedures and some applications). *Agric. Handbook, USDA*. 379 p.
- Hacker J B, Minson D C. 1981. The digestibility of plant parts. *Herbage Abs.* 51: 459-482.
- Lemaire G, Salette J. 1984. Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères. I Etude de l'effet du milieu. *Agronomie* 4: 423-430.
- Mazzanti A, Castaño J, Sevilla G H, Orbea J R. 1992. Características agronómicas de especies y cultivares de gramíneas y leguminosas forrajeras adaptadas al sudeste de la provincia de Buenos Aires. Manual de descripción. INTA, CERBAS. pp.32-33.
- Nelson D W, Sommers L E. 1986. Determination of total nitrogen in plant material. *Agron, J.* 65: 109-112.
- San Martino L, Milicevich C M. 1995. Agropiro alargado: intensidad y frecuencia de corte en Santa Cruz. *Rev. Arg. Prod. Animal* 15 Suplemento I: 238-241.
- Smith K F, Lee C K, Borg P T, Flinn P C. 1994. Yield, nutritive value, and phenotypic variability of tall wheatgrass grown in a nonsaline environment. *Aust. J. Exp. Agric.* 34: 609-614.
- Tilley J M, Terry J M A. 1963. A two stage technique for *in vitro* digestion of forage crops. *J. Br. Grass. Soc.* 18: 104-111.
- Whitehead D C. 1995. Grassland nitrogen. CAB International. Wallingford, UK. 397 p.

EFEECTO DE DOS MOMENTOS DE APLICACION DE UREA SOBRE LA PRODUCCION DE GRANO DE TRIGO EN DRABBLE (BUENOS AIRES, ARGENTINA)

M DIAZ-ZORITA

EEA INTA Gral. Villegas - CC 153 (6230) Gral.Villegas (Bs.As.), Argentina y Dep. Agronomy, University of Kentucky, N-122 Agric. Sci. Center North, Lexington, KY, 40546-0091, USA. E-mail: zorita@inta.gov.ar

Recibido 12 de junio de 2000, aceptado 26 de octubre de 2000.

UREA FERTILIZATION TIMING EFFECT ON WHEAT GRAIN YIELDS IN DRABBLE (BUENOS AIRES, ARGENTINA)

In the western part of Buenos Aires province (Argentina), many studies show that wheat (*Triticum aestivum* L.) grain yields increase after nitrogen fertilization, although the best timing for this practice is not clearly defined. The objective of this study was to determine the effects of N fertilization timing using broadcast urea on dryland wheat grain yields. A three years field research on a Typic Hapludoll at Drabble (Buenos Aires) was conducted applying 3 N levels (0, 50 and 100 kg ha⁻¹) at crop emergence or at crop tillering. Wheat grain yields were higher when the N treatments were applied at the emergence of the crops. Response to N fertilization at tillering was significant only in the year with larger rainfall during September. Monthly rainfall in the period June-October was well below that with 50 % chance of recurrence. From the relative availability coefficient and the yield response increment indexes, it was observed that N rates applied at emergence were on average twice as effective as those applied at tillering for the 3 years.

Key words: Nitrogen fertilization – Fertilization timing - Subhumid regions – Rainfall – Wheat yields.

INTRODUCCION

La mayoría de los lotes sembrados con trigo (*Triticum aestivum* L.) en el oeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina) presentan insuficiente provisión de nitrógeno para cubrir las necesidades de cultivos de alta producción. Esto es consecuencia, entre varios factores, de las bajas temperaturas del suelo en etapas tempranas del crecimiento de los cultivos, de sus pobres contenidos de materia orgánica y de su manejo (cultivos antecesores, duración del barbecho, sistema de siembra, etc.). Abundantes estudios regionales demuestran que la respuesta productiva de los cultivos a las aplicaciones de nitrógeno dependen tanto de factores edáficos como climáticos y de manejo. Por ejemplo, para el sudoeste bonaerense, en la medida que los suelos son más profundos o menos provistos en materia orgánica la respuesta esperada a la fertilización nitrogenada es mayor, dependiendo de las posibles precipitaciones durante el mes de septiembre (Loewy 1990; Loewy, Ron 1996). En condiciones hídricas no limitantes el contenido de nitratos en las capas superio-

res de los suelos es el factor determinante de esta respuesta (González Montaner *et al.* 1991).

En general, la mayoría de los tratamientos de fertilización nitrogenada en cultivos de trigo en la región pampeana se realizan con anterioridad o durante la siembra aunque hacia el sur y el oeste se recomiendan aplicaciones divididas entre la siembra y el macollaje (Satorre, Slafer 1999). En condiciones hídricas no limitantes, las aplicaciones de nitrógeno al macollaje presentan una mayor eficiencia de recuperación del nutriente a la cosecha del cultivo que las realizadas en el momento de la siembra (Sarandón *et al.* 1997; Melaj *et al.* 2000). Las aplicaciones en etapas tardías del crecimiento pueden inducir a mejoras en la calidad y cantidad de las proteínas en los granos con menores efectos sobre los rendimientos (Sarandón, Caldiz 1990). En secano, la estrategia de fertilización nitrogenada dependerá de interacciones entre el nitrógeno edáfico con las precipitaciones (cantidad y distribución) y los requerimientos potenciales del cultivo (Bauer *et al.* 1992). En ambientes de re-

giones semiáridas el momento de aplicación del nitrógeno tiene un menor efecto sobre los rendimientos de trigo y parámetros de uso del nutriente que las condiciones ambientales durante la campaña (Alcoz *et al.* 1993). Resultados del sudoeste bonaerense y en otros ambientes ústicos muestran similares niveles de eficiencia de aplicaciones nitrogenadas en el momento de la siembra o en el macollaje aunque estas últimas son más sensibles a las variaciones en los niveles de precipitaciones durante el mes de septiembre y además permitirían evitar la aplicación del fertilizante en campañas con limitaciones hídricas (Loewy 1990; Bono *et al.* 2000). Algunos autores proponen que las fertilizaciones fraccionadas entre siembra y macollaje son una alternativa para sincronizar la demanda de nitrógeno del cultivo con los aportes del suelo y los fertilizantes (Alcoz *et al.* 1993; Melgar 1997)

El momento de incorporación efectiva del fertilizante nitrogenado en el suelo condiciona el componente del rendimiento afectado y su eficiencia de uso. La máxima eficiencia se obtiene cuando la aplicación se realiza lo más tarde posible con estadios de crecimiento que permitan una rápida captación por el cultivo (Olson, Kurtz 1982). El nitrógeno absorbido hasta floración permite explicar la mayoría de las diferencias de rendimientos asociadas a este nutriente (Lázaro 1996). Por lo tanto, las correcciones de las deficiencias nitrogenadas deben anticiparse a este momento tal de permitir su incorporación en el suelo y posterior absorción por los cultivos. Hacia el oeste de la región pampeana las lluvias invernales son poco frecuentes (Hall *et al.* 1992). Por ejemplo, en Drabble (Buenos Aires), la probabilidad de obtener lluvias diarias superiores a 15 mm en un plazo de 10 días entre los meses de mayo y octubre es menor al 25 % (Díaz-Zorita *et al.* 1998). Por lo tanto, aplicaciones tardías (pleno macollaje) de fuentes nitrogenadas para la oportuna corrección de estas deficiencias serían riesgosas. En años con pocos aportes de agua, la respuesta a la práctica de fertilización con urea, independientemente del momento de aplicación, es baja. No obstante, como el consumo hídrico de cultivos de trigo fertilizados no sería afectado significativamente, aún en altas dosis de fertilización (Fagioli, Bianconi 1977).

Resultados de un relevamiento en campos de productores realizado por el laboratorio móvil de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación en el mes de diciembre de 1996 mostraron que en el partido de General Villegas (Buenos Aires), el 52 % de los lotes de trigo tienen como antecesor girasol (*Helianthus annuus* L.), que en el 76 % de los casos se fertilizan con urea, preferentemente aplicada en el macollaje pero que no se observan aumentos medios de los rendimientos por esta práctica y sí un significativo incremento en el contenido proteico de los granos (Anónimo, 1996). El objetivo de este estudio fue determinar el efecto del momento de aplicación superficial de urea sobre la producción de grano en un sitio del noroeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina).

MATERIALES Y METODOS

Este estudio se desarrolló en la EEA INTA Gral. Villegas (Drabble, Bs.As.) en las campañas 1995, 1996 y 1997. En cada una se sembraron cultivos de trigo (cv. Klein Dragón en 1995 y 1996 y cv. Klein Cacique en 1997) a razón de 250-280 semillas m² en la segunda quincena del mes junio. En todos los casos el cultivo antecesor fue girasol y el barbecho se inició con discos de doble acción en el mes de abril. Los suelos fueron clasificados como Hapludoles Típicos de textura superficial franco arenosa, con 23,7 ± 2,5 g kg⁻¹ de materia orgánica, 21,7 ± 1,2 mg kg⁻¹ de P extractable por el método de Bray Kurtz 1 y 6,1 ± 0,1 de pH en agua en la capa de 0 a 20 cm de profundidad. Los niveles de N-NO₃⁻ en el momento de la siembra fueron de 18,8 ± 1,5 y 15,8 ± 1,6 mg kg⁻¹ para las capas de 0 a 20 y 20 a 40 cm de profundidad respectivamente. En el sector noroeste de la provincia de Buenos Aires, aproximadamente el 50 % de los suelos agrícolas son Hapludoles Típicos (Moscatelli *et al.* 1980).

En cada campaña se evaluaron cuatro tratamientos de fertilización dispuestos en un estudio factorial con 2 factores (momento y dosis de fertilización) dispuestos en un diseño en bloques con 3 repeticiones y parcelas de 8 m² de superficie. Los momentos de fertilización estudiados fueron en la emergencia de las plántulas (primer quincena de Julio) o en pleno macollaje de los cultivos (última semana de Agosto). En cada momento se aplicaron 3 niveles de fertilización nitrogenada (0, 50 o 100 kg ha⁻¹ de N) utilizando urea (46 % de N) esparcida en superficie.

La producción de los cultivos y componentes del rendimiento (número de granos m² y peso individual de granos) se determinó por cosecha y

trilla manual de 2 submuestras de 1 m² por parcela en estadios de madurez fisiológica de los cultivos.

La evaluación de los momentos de fertilización se realizó luego de calcular el incremento relativo de rendimientos (IRR) o de comparación vertical (Chien *et al.* 1990),

$$IRR = (R_m - R_c) (R_s - R_c)^{-1} \quad (1)$$

donde, para cada campaña y dosis de fertilización nitrogenada, R_m es el rendimiento en grano del tratamiento fertilizado al macollaje, R_c es el rendimiento en grano en el tratamiento control (sin fertilización) y R_s es el rendimiento en grano en el tratamiento fertilizado. En todos los casos los rendimientos en kg ha⁻¹.

También se calculó el coeficiente de disponibilidad relativa de nitrógeno (λ) empleando el método estadístico de ajuste simultáneo de las respuestas lineales a los niveles de fertilización según el modelo de líneas rectas concurrentes usando el método de los mínimos cuadrados (White *et al.* 1956),

$$R = a + b (\lambda_s N_s + \lambda_m N_m) = a + b \lambda_s N_s + b \lambda_m N_m \quad (2)$$

dónde R es el rendimiento en grano de los cultivos en kg ha⁻¹, N_s y N_m son las dosis de fertilización (kg de N ha⁻¹) aplicadas en la siembra y en macollaje, respectivamente y a, b λ_s y b λ_m son cons-

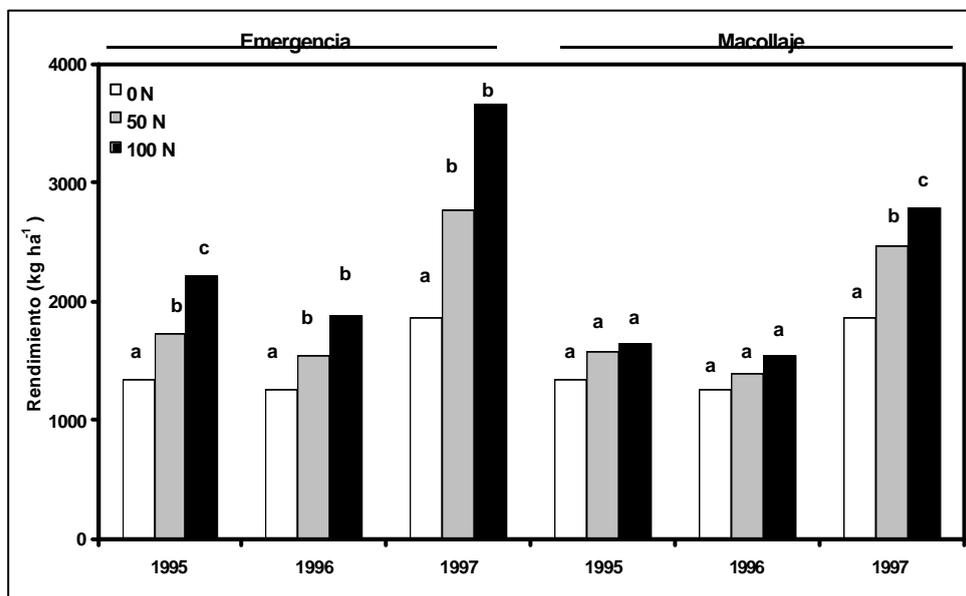
tantes calculadas por el ajuste estadístico. El tratamiento fertilización en el momento de la siembra fue considerado como el tratamiento standard con valores de λ_s iguales a 1 por lo que el λ se calculó según el cociente entre las constantes b λ y b λ_s determinadas por el ajuste estadístico de la ecuación (2). El λ es una medida que describe la cantidad de nutriente requerida en el tratamiento estudiado, en este caso aplicaciones en el macollaje, para producir respuestas similares a las obtenidas al aplicar una unidad del nutriente en las condiciones del tratamiento standard o control, en este caso aplicaciones en la siembra.

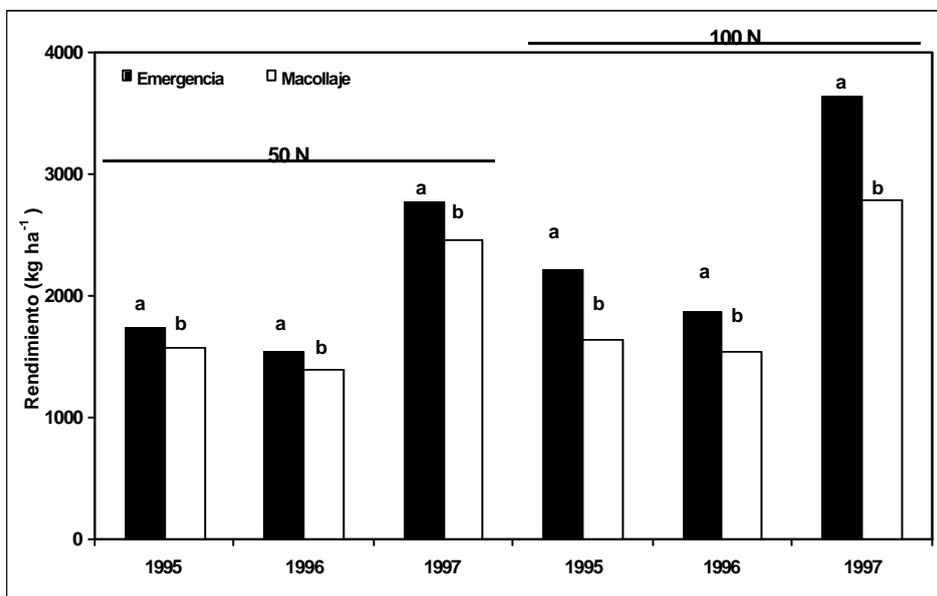
Otro índice empleado para comparar los momentos de fertilización fue la eficiencia de uso del nitrógeno (EUN),

$$EUN = (R_f - R_c) (D_f)^{-1} \quad (3)$$

donde, en cada campaña, dosis y momento de fertilización, R_f es la producción de grano en cada tratamiento fertilizado, R_c es el rendimiento en el tratamiento control y D_f es la dosis de N aplicada, todos en kg ha⁻¹.

En el análisis de los resultados de producción de grano se emplearon los procedimientos GLM y MIXED de PC-SAS (SAS Institute Inc. 1990) considerando a los tratamientos como factores fijos y a las campañas como factores aleatorizados. Además se realizaron análisis de





de este nutriente (Ron, Loewy 2000). Estudios en el sudeste de Buenos Aires muestran que en cultivos de trigo bajo sistema de labranza con remoción las pérdidas de nitrógeno por volatilización son mayores cuando se realizan aplicaciones de urea durante el macollaje que cuando estas son realizadas en el momento de la siembra de los cultivos (Videla 1994). No obstante, estos autores indican que los niveles de pérdida por este proceso son inferiores al 1.5 % con aplicaciones de 120 kg ha⁻¹ en macollaje por lo que se puede decir que las diferencias evaluadas en este estudio no serían principalmente relacionadas con las variaciones en la solubilización y mineralización de la urea en ausencia de precipitaciones durante el macollaje junto con una lenta evaporación y reducidas pérdidas por vola-

de trigo resultaron más eficientes y con mayor respuesta en producción de grano cuando la fertilización se realizó durante el macollaje.

REFERENCIAS

- Alcoz M M, Hons F M, Haby V A. 1993. Nitrogen fertilization timing effect on wheat production, nitrogen uptake efficiency, and residual nitrogen. *Agronomy Journal* 85:1198-1202.
- Anónimo. 1996. Los resultados del "Proyecto de Producción de trigo en la región noroeste argentino". *Tecnicorreo*. 18: 3.
- Bauer A, Black A L, Frank A B. 1992. Nitrogen fertilization in relation to spring wheat development stage. En *Kansas State University Proceedings of the Great Plains Fertility Conference*. Kansas State University, Manhattan, KS (USA). p. 129-136.
- Bono A, Montoya J C, Babinec F J. 2000. D

diagnóstico. *Ciencia del Suelo* 8:47-56.

7 T, Ron M M. 1996. Dosis de nitrógeno para
go en el S.O.bonaerense. EEA INTA
ordenave Boletín de Divulgación 39:1-5.

M A, Echeverría H E, Studdert G A, Andrade
H, Bárbaro N O, López S C. 2000. Acumula-
ción y partición de nitrógeno en el cultivo de
go en función del sistema de labranza y mo-
mento de fertilización nitrogenada. En XVII
Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.
ACS, Mar del Plata, Bs.As., Argentina.

r R. 1997. Trigo. En Melgar R, Díaz-Zorita
(eds.). La fertilización de cultivos y pasturas.

Reference, Version 6. SAS Institute Inc.
NC.1042 pág.

Satorre E H, Slafer G A. 1999. Wheat: Ec
and physiology of yield determination.
Products Press. New York, USA.503 pá;

Videla C C. 1994. La volatilización de amc
una vía de pérdida de nitrógeno en sis
agropecuarios. EEA INTA Balcarce. B
Técnico 131. 16 pp.

White R F, Kempthorne C A, Black C A, V
R. 1956. Fertilizer evaluation: II. Estim
of availability coefficients. *Soil Science S
of America Proceedings* 20:179-186.

INTRODUCCION

El constante crecimiento de los núcleos urbanos trae aparejada la dificultad de destino a sus desechos. El aporte incontrolado de los mismos puede afectar negativamente a los ecosistemas receptores (Instituto Geológico Geominero de España, 1995). Una gran proporción de estos desechos está constituida por efluentes cloacales, los cuales generan problemas de diversa índole cuando se arrojan incontroladamente y sin depuración alguna. Dichos efluentes están integrados tanto en los residuos de áreas residenciales como industriales, y en la mayoría de los casos se desechan finalmente a cursos de agua o al mar. Una alternativa de uso racional podría estar

basada en la recuperación de nutrientes orgánicos y la rápida disponibilidad de nutrientes, serían los principales beneficios de su utilización (Nijensohn, Gaviola de Heras y Mazzarino *et al.* 1997, Bertoncini *et al.* 1999, Canellas *et al.* 1999).

En Ushuaia, Tierra del Fuego, se plantea la posibilidad de recuperación de los residuos de la Encerrada para uso paisajístico y recreativo. Este lugar fue objeto del vertido incontrolado de efluentes cloacales. El proyecto de recuperación del área prevé la extracción de los residuos saturados, como barros para su posterior depósito en lugares elegidos a tal fin.

Se plantea como hipótesis que el origen de procedencia del sedimento referido a una cierta distancia al vertedero, puede afectar el

reanizaron 5 diluciones decimales con repetición y se inocularon tubos con Caldo Mc Conkey, los cuales se incubaron a 37°C durante 48 h. Se consideraron tubos positivos los que mostraron producción de ácido y gas. La combinación de tubos positivos y negativos se utilizó para determinar el número más Probable (NMP) de coliformes totales. El NMP se obtuvo a partir de la Tabla Report of the American Public Health Association 1967), b) Verificación de la presencia de coliformes fecales mediante Prueba de Eijkman: de cada uno de los tubos Mc Conkey positivos, se hizo una resiembra de material con un ansa y pasándolo a otros tubos de caldo Mc Conkey (precalentado a 44°C) los cuales se mantuvo en baño de agua a 44,5°C durante 4 h. La producción de ácido y gas indica la presencia de *Escherichia coli* Tipo I. (American Public Health Association 1967). c) Colonias de bacterias en medio Agar-Levine: a partir de los tubos Mc Conkey incubados a 44,5°C con resultado positivo, se sembraron cajas de Petri conteniendo

plasma de Argón) (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca 1997); Co, As, Ni, Cd, Pb (extracción con HF y determinación por espectroscopía de emisión de plasma de Argón); Hg (extracción con permanganato y determinación por espectroscopía de absorción atómica con vapores atómicos) (Bigham 1996).

b) Aguas: se evaluaron los contenidos de sales por conductividad eléctrica (CE), pH, contenido de sólidos disueltos, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , CO_3H , SO_4^{2-} , utilizando las mismas metodologías enunciadas para sedimentos.

- Ensayo biológico

Se realizó un ensayo bajo condiciones controladas de invernáculo con las siguientes plantas superiores: *Lolium multiflorum*, *Festuca arundinacea*, *Tynopiron ponticum*. Las plantas fueron elegidas por su diferente tolerancia a la salinidad de los sedimentos.

	M.1	M.2	M.3	M.4
Clase textural	Franco	Franco limoso	Franco limoso	
Porcentaje de saturación hídrica (%)	125.7	92.3	91.2	19.0
Retención de humedad a 33 KPa (%)	32.8	24.1	27.8	15.5
Retención de humedad a 1515 KPa (%)	30.5	16.8	16.1	38.4
pH, suelo/agua 1: 2,5	5.8	5.6	5.1	6.6
Materia orgánica (g kg ⁻¹)	171.1	79.3	72.6	51.1
N total (g kg ⁻¹)	7.6	2.4	2.4	72.6
Relacion C/N	13.6	19.2	17.5	17.1
P _{bk} (mg kg ⁻¹)	72.5	46.7	35.7	36.6
CIC (cmol kg ⁻¹)	19.3	7.2	7.4	61.3
Extracto de saturación				
C.E (dS m ⁻¹)	15.15	46.80	39.70	49.0
Ca ²⁺ (mmol L ⁻¹)	7.3	44.3	41.5	66.4
Mg ²⁺ (mmol L ⁻¹)	22.5	98.3	79.6	59.1
Na ⁺ (mmol L ⁻¹)	100.1	285.6	255.6	46.6
K ⁺ (mmol L ⁻¹)	4.8	5.9	5.0	11.2
R.A.S.	25.9	33.8	32.8	14.0
CO ₃ H ⁻ (mmol L ⁻¹)	66.3	34.1	21.8	56.4
CO ₃ ²⁻ (mmol L ⁻¹)	9.0	< LD	< LD	-
SO ₄ ²⁻ (mmol L ⁻¹)	19.8	374.5	327.4	80.1
Cl ⁻ (mmol L ⁻¹)	41.8	18.3	9.1	73.1
B (mg kg ⁻¹)	8.90	9.20	9.70	4.4
Zn (mg kg ⁻¹)	60.00	157.20	145.80	43.9
Cu (mg kg ⁻¹)	22.20	23.60	22.20	3.6

os causados por el aporte orgánico, se-
menores en la situación bajo análisis, se
iría la potencialidad contaminante y de
lixiviación, que se origina a través de pér-
por lixiviación, escurrimiento y erosión,
ez aplicado el residuo, problemática ci-
por los mismos autores. Parte de esta di-
sía posiblemente radique en la dilución
gua de río y mar, que sufren los efluentes
rigo de su trayecto de deposición.

La CIC es moderada a baja en los 3 sec-
especialmente si se considera el conte-
de materia orgánica. Esta capacidad de
ambio es menor aún en S2 y S3, secto-
n menor proporción de la fracción orgá-

Existen desequilibrios entre las bases,
os de manifiesto especialmente en los

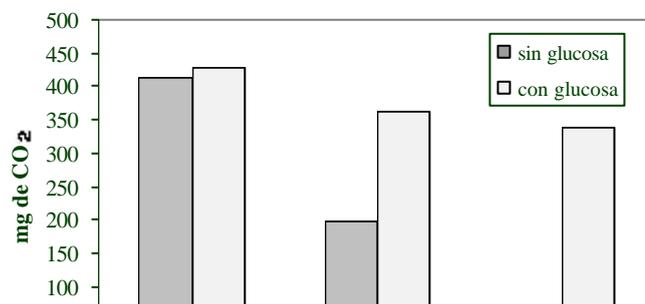
za intrínseca más que de la mezcla con el
de mar, razón por la cual, además, los
res S2 y S3 cercanos al vertedero, poseen
lores más altos de las propiedades analizadas.
No existiría restricción para el uso del
sobrenadante con fines de riego (Ayers, W
1987), sin considerar otras problemáticas
nitarias.

- Análisis microbiológico

Los resultados de la evaluación de
coliformes totales en el agua pueden verse
la Tabla 3. Los resultados correspondientes
los sedimentos para las metodologías de
aditivo” y “con aditivo” respectivamente
presentan en el Figura 1. El número de
coliformes totales en el agua sobrenadante
los 3 sectores, pero especialmente en S2

obianas del suelo fue informado por edy *et al.* (1999), quienes encontraron los incrementos tanto en poblaciones rianas, como fúngicas y de actinomicetes. to contenido de materia orgánica gradable en barros no compostados, así su aporte de nutrientes, serían los res- bles del aumento de la biomasa activa

A partir de los resultados obtenido demostraron la imposibilidad del análisis los efectos principales y de las interacción con especie vegetal, se realizó un análisis comparación múltiple de los efectos sin los cuales se muestran en la Tabla 4 a través de simbología alfabética ($P < 0.05$). Éste indicó que, en términos general



	SC	GL	CM	FC	Prob.
Especie (SP)	0.473	2	0.236	23.058	1.156 ⁻⁰⁷
Factor (S)	0.399	2	0.199	19.457	7.519 ⁻⁰⁷
Proporción (%)	4.871	3	1.623	158.251	3.034 ⁻²⁴
%	0.300	6	0.050	4.877	0.0006
P S %	0.267	12	0.022	2.169	0.0299
Error	0.472	46	0.010	-	-

idamente, proporciones de 25 % de sedimento al vertedero (S3), así como proporciones iguales o superiores al 50 % de sedimento en el sustrato, independientemente de la especie, afectan negativamente y en forma similar a las plantas ensayadas. Esto ocurre incluso con *Tynopirum ponticum*, que no es considerada moderadamente tolerante a la salinidad en forma general, sería afectada por el agregado de sedimentos de to-

Se observó en el tratamiento con salinidad de S1, un incremento de la biomasa por especie respecto de los testigos sin dicho sedimento (Tabla 4). A pesar de no poderse comparar estadísticamente por la imposibilidad de evaluar los efectos principales de especie vegetal y sus interacciones, ya comentada, la tendencia se manifestaría en *Lycium multiflorum* (S1 y S2) y *Festuca arundinacea* (S1), especies de relativa sensibilidad

linidad moderada.

- Proporciones de 25 % de sedimento no al vertedero (S3), así como proporciones iguales o superiores al 50 % de sedimentos en los sustratos, independientemente de origen, afectan negativamente el crecimiento de plantas de diferente tolerancia a la salinidad.

ADECIMIENTOS

A la Lic. V. Martínez Alcántara y la Lic. María del Rosario Alcántara, por el apoyo y colaboración del Laboratorio de Servicios del Departamento de Microbiología de la FCyF de la UNLP, por los análisis microbiológicos realizados.

REFERENCIAS

Argentina (AA), Administración General de Obras Sanitarias (AGOSBA), Instituto Dr.

Avaliação de alterações qualitativas da matéria orgânica de um Latossolo vermelho arábico com adição de resíduos orgânicos de cidade urbana. 14º Congresso Latinoamericano de Ciência del Suelos. Chile. pp. 18.

Council Directive of the European Communities 1986. On the protection of the environment and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture. Nr. 86/278. En Mazzarino M.J. 1998. Ventajas y limitaciones del uso agrícola de residuos orgánicos con énfasis en biosólidos. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Carlos Paz. pp. 403-411.

Dommergues Y. 1968. Degagement telluric de CO₂. Mesure et signification. Ann.Inst. Agron. 115: 627-656.

Harris A, Urie D, Cooley J. 1984. Soil fertility of pine and aspen forest on acid soils in Michigan. Forest soils and tree growth. E. Stone (Ed). Proceedings of

genio en leguminosas crecidas en asociación con gramíneas se basa, principalmente, en dos supuestos: a) la gramínea y la leguminosa absorben la misma proporción de nitrógeno del suelo y de nitrógeno aplicado, durante el período de crecimiento; y b) la gramínea no absorbe nitrógeno liberado por la leguminosa, bajo las condiciones de la experiencia (McAuliffe *et al.* 1958). La verificación del primer supuesto fue determinado en un trabajo previo (Sierra *et al.* 1999). La verificación del segundo supuesto se realiza comparando la composición isotópica de la gramínea en la asociación con aquella de la gramínea crecida sola. La transferencia del nitrógeno fijado por la leguminosa a la gramínea asociada se mide con el uso de esa gramínea como planta de referencia para estimar la proporción de la

mezcla con alfalfa esta utilizada en las regiones de secano y regadío de nuestro país (Barbarossa *et al.* 1998). Se han descrito efectos benéficos de diferentes leguminas sobre las gramíneas asociadas, siendo la transferencia de nitrógeno a la gramínea la causa principal de dichos efectos (Coker y Schlentner 1995). Sin embargo, algunos autores no han encontrado pruebas sustanciales que demuestren tal transferencia (Gil *et al.* 1997).

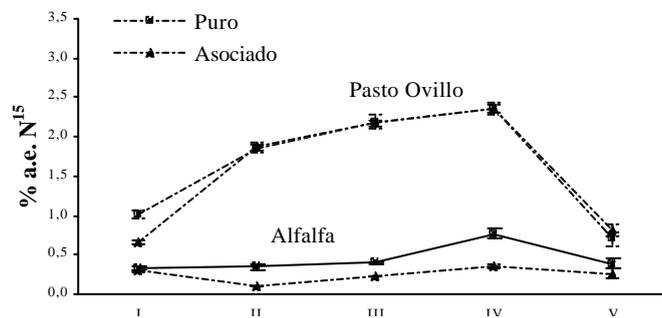
El principal objetivo de este trabajo es comprobar la validez del segundo supuesto de la técnica de dilución isotópica para estimar la FBN en alfalfa asociada con pasto ovino a lo largo de varios cortes, evaluando la transferencia potencial de ese nitrógeno a la gramínea y en qué medida esto afecta a la producción del pasto ovillo asociado como plan-

aron estadísticamente por ANVA. Las raciones se evaluaron con los tests de rango tizado Tukey y SNK. Se utilizó el test de la para las comparaciones de la FBN de alfalfa respecto de la asociada.

RESULTADOS Y DISCUSION

De acuerdo a datos no mostrados, las

nitrogeno del suelo (+ fertilizante pronunciado aumento de la concentraci¹⁵N de pasto ovilla, entre los dos prir cortes, podría deberse a un aumento concentración de ¹⁵N en la solución del : La declinación entre las dos últimas cose coincidió con la no adición (después del



ixed alfalfa with pure and mixed orchardgrass as reference plants. Columns pairs accompanied by different letters indicate significant differences ($P < 0.05$).

El fertilizante marcado a las macetas, provocando una disminución de ^{15}N del pool de nitrógeno disponible del suelo. Esta caída fue más pronunciada en la gramínea, dada su mayor dependencia de ese nitrógeno. A pesar de la asociación de los cortes I y V, los resultados muestran que ambos proporcionarán similares estimaciones de %NDDA de la alfalfa asociada cuando se los usa, independientemente, como planta de referencia. Esto se confirmó con los resultados de la Tabla 2. La alfalfa asociada presentó, con excepción del corte I, un mayor %NDDA que el cultivo puro. El mismo

resultado se observó en la asociación, lo que se tradujo en un menor %NDDA de la leguminosa asociada (Tabla 2). Las estimaciones de %NDDA obtenidas para el corte V fueron más bajas que aquellas de los tres anteriores, debido a que las primeras se basaron en el ^{15}N residual.

A lo largo de las cinco cosechas, la biomasa aérea de alfalfa pura acumuló 180 mg N pl^{-1} provenientes de la fijación; mientras que la leguminosa asociada acumuló un promedio de 180 mg N pl^{-1} . En el corte V, la composición isotópica de las raíces (+ nódulos) de alfalfa tanto pura como asociada, no presentó una diferencia significativa con aquellos correspondiente a la respectiva biomasa aérea ($P > 0.10$) y, consecuentemente, a la res-

se originado del liberado de restos de alfalfa o, más probablemente, de la estabilización de la composición química de ^{15}N residual en el pool de nitrógeno del suelo.

En conclusión, la asociación fue bastante positiva en lo que se refiere a los incrementos de materia seca y nitrógeno, de la leguminosa como de la gramínea, y a la proporción de nitrógeno fijado por la alfalfa. Sin embargo, los valores de %NDDT indicarían transferencia de nitrógeno fijado por la gramínea acompañante, cumpliéndose el supuesto de la metodología usada y justificándose así el uso del pasto ovinillo asociado

Sierra G, Lázzari A, Gómez M. 1999. Uso de distintas plantas de referencia en la estimación de la fijación de nitrógeno en alfalfa mediante el método de dilución isotópica. *Ciencia del Suelo* 17:37-44.

Vallis Y, Haydock K P, Ross R J, Henzell E F. Isotopic studies on the uptake of nitrogen by pasture plants. III. The uptake of small quantities of ^{15}N -labelled fertilizer by Rhodes and Townsville lucerne. *Aust. J. Agric. Res.* 18:865-877.

Walley F L, Tomm G O, Matus A, Slinkarcova M, van Kessel C. 1996. Allocation and cycling of nitrogen in an alfalfa-bromegrass sward. *Plant Soil* 188:834-843.

El manejo del suelo puede modificar las características edáficas, afectando la rización. Además, las rotaciones de cultivos pueden afectar la micorrización debido a relaciones interespecíficas en la afinidad planta-hospedante, como a efectos directos asociados a los disturbios mecánicos del suelo (Pfleger 1996).

Uno de los indicadores de la calidad de los suelos es la cantidad de MO y la estabilidad de los agregados. Para suelos bajo actividad agrícola y pastura se ha determinado que los contenidos de C y N en la biomasa microbiana, son indicadores precoces de cambios en los contenidos totales tanto de C como de N (Echeverría *et al.* 1992-93).

En base a lo mencionado, es factible esperar que suelos mantenidos bajo manejo agrícola presenten menor actividad bio-

lotes contiguos pertenecientes a la Reserva EEA INTA de Balcarce (Buenos Aires, Argentina), sobre un Hapludol Tapto Argico con un horizonte A de 20 cm, franco y granular, seguido de un horizonte AC de 10 cm, franco arenoso y franco y un horizonte 2Bt arcilloso. Los lotes seleccionados para producción agrícola de manera convencional (AC), y pasturas para ganadería seleccionados de manera intensiva (GI) y orgánica. El lote con AC estuvo bajo pastura hasta 1995, luego de lo cual ingresó en un ciclo agrícola, en las labranzas empleadas fueron arado de rejas, labranza primaria y disco más rastra y rolo en las labranzas secundarias. Para cada cultivo se aplicó P y N, bajo la forma de 18-46-0 y urea, respectivamente, según la recomendación surgió de análisis de muestras de suelo. En julio de 1997 se implantó en el lote trigo, en octubre de 1998 maíz y en marzo de 1999 avena. Los lotes bajo manejo convencional presentaban pasturas dominadas por

ss (*Lolium multiflorum* Lam.) en otoño e in-
'99. El material aéreo fue utilizado para la
inación de las especies presentes. Las raíz-
eron extraídas de los primeros 0-20 cm, la-
con agua para eliminar el suelo y teñidas
ul tripán en lactofenol (Phillips, Hayman
para la posterior determinación microscó-
e la micorrización. En esta se estimaron los
etros intensidad de micorrización (M%) y el
ido de arbusculos (A%) (Trouvelot *et al.*
. Se calcularon los promedios y desvíos
ar de cada variable evaluada y se efectuaron
iciones entre las variables de suelo y planta
onadas, para cada estación.

RESULTADOS Y DISCUSION

En general, el pH se incrementó leve-
: con la profundidad del suelo y los va-
mas bajos se registraron en AC en todas
aciones evaluadas (Tabla 1), lo que se-

ros, GO fue el manejo que mejor conse-
C orgánico del suelo, lo que se pone de
fiesto en la relación NBM/C total. La
ción NBM/MO fue de 9,5, 14,6 y 14,8
AC, GI y GO, respectivamente. Estos re-
dos sugieren un mayor contenido de fra-
nes lábiles por unidad de MO en los sist-
ganaderos, la que es particularmente el-
en GO. Estos resultados confirman los
nidos en experiencias de larga duración
zados en Europa, en los que se deter-
además, mayor actividad enzimática e
suelos (Stolze *et al.* 2000). Estos resul-
sugieren una mayor actividad biológica
sistemas ganaderos, particularmente en

Se hallaron mayores grado
micorrización en pasturas sometidas a G
a GI y mayores grados de micorrizaci-

	10-20	5,2 (0)	5,5 (0,9)	2,44 (0,7)	2,6 (0,9)	7,1 (0,2)		
	20-30	5,4 (0,1)	3,3 (0,3)	0,53 (0)	2,9 (1,7)	5,5 (0)		
AC	0-10	5,7 (0,4)	55,6 (8,5)	1,00 (0)	6,5 (0,5)	6,7 (0,4)	46,6 (2,3)	59,8 (0)
	10-20	5,5 (0)	46,9 (14,3)	1,14 (0,4)	2,7 (0,4)	5,1 (0)		
	20-30	5,7 (0,3)	16,6 (0,9)	1,25 (0,2)	2,5 (1,0)	4,1 (0,1)		
GI	0-10	5,7 (0,2)	18,6 (0,3)	0,45 (0,2)	10,0 (7,2)	7,3 (0,8)	71,8 (8,7)	76,3 (0)
	10-20	5,6 (0,1)	14,1 (0,3)	3,09 (0,6)	7,0 (8,6)	6,5 (0,2)		
	20-30	5,9 (0)	5,0 (0,2)	1,09 (0,5)	4,1 (1,1)	4,7 (0,5)		
GO	0-10	5,8 (0,1)	16,5 (1,0)	3,37 (3,3)	8,3 (5,2)	6,8 (0,4)	88,8 (10,3)	127,4 (0)
	10-20	5,8 (0,1)	7,5 (0,7)	0,73 (0)	2,3 (1,5)	6,2 (0,6)		
	20-30	5,9 (0,1)	4,4 (0,5)	0,80 (0,1)	2,0 (1,1)	4,6 (0,7)		

s entre paréntesis corresponden a desvíos estándar.

resentó distintas especies vegetales en
 ón a los sistemas ganaderos, por lo que
 se comparan sus resultados de
 rización.

En general, la micorrización se asoció
 ivamente con el contenido de P ($r = -$
 promedio de las cuatro estaciones) y de
 $\frac{1}{3}$ ($r = -0,66$ promedio de las cuatro es-

fertilización con superfosfato lo que redujo
 colonización micorrítica nativa en el
 entre otros cultivos. En verano, se dete
 una asociación positiva entre el conteni
 P y la micorrización, posiblemente como
 secuencia de la variación interespecífica
 que el girasol de AC presentó mayores g
 de micorrización que todas las especie

at standard deviations.

) fueron notablemente más bajas que la
trada en el girasol.

La fertilización nitrogenada puede oca-
disminuciones en la producción de hifas
ias y la proporción de raíces infectadas
et al. 1993). Sin embargo, hasta el mo-
) el efecto de la aplicación de N no se
manifestado claramente como depresor
micorrización en esta región. Por últi-
o se determinó un comportamiento de-
entre la micorrización y el pH, $N-NH_4^+$,
o NOL.

En síntesis, el suelo bajo AC se carac-
por poseer menores valores de pH y
aja actividad biológica, que en los siste-
ganaderos. Las diferencias entre estos
os fueron de menor magnitud, no obs-

yectos 51-003 INTA Macro-región Pam
Sur, y 15/A107 de la FCA-UNMP.

REFERENCIAS

- Bundy L G, J J Meinsiger. 1994. Nit
availability indices. P.951-979. En: W
R.W. et al. (eds.) Methods of soil ana
Microbiological and biochemical prop
Part 2, SSSA. Madison, WI.
- Covacevich F, Echeverría H E, Andreoli Y
Micorrización vesículo arbuscular espoi
en trigo, en función de la disponibili
fósforo. Ciencia del Suelo 13: 47-51.
- Echeverría H E, Bergonzi R, Ferrari J. 1992
Carbono y nitrógeno en la biomasa mic
de suelos del sudeste bonaerense. Cienc
Suelo 10/11:36-41.
- Echeverría H E, García F. 1998. Guía para la
Uso de fertilizantes de acción rápida en...

rán original y tres copias del artículo
leto, las que serán remitidas a tres con-
es para su evaluación. El título y los
ezamientos principales deberán estar en
scula y centrados en la página. Los en-
amientos de segundo orden deberán es-
a izquierda, en líneas separadas del tex-
menzando con la primera letra en ma-
la y presentados en negrita. Los traba-
organizarán de acuerdo con el siguiente
ma general en orden sucesivo: título,
re de los autores, dirección de la institu-
la que pertenecen, título corto, título
glés, abstract, key words, introducción,
iales y métodos, resultados y discusión,
ecimientos, referencias, tablas y figuras.
yendas de Tablas y Figuras deberán pre-
se en Castellano y en Inglés.

a la bibliografía. Su extensión no excede
300 palabras y en lo posible estará cons-
do por un sólo párrafo. Para las not
abstract no deberá exceder las 100 pala

Key words: se incluirá un máximo de 10

Palabras claves: se incluirá un máximo

Introducción: se presentará claramer
tema a tratar haciendo referencia sólo
antecedentes locales e internacionales
terés. Los objetivos y las hipótesis del
estar adecuadamente explicados.

Materiales y Métodos: se incluirán suf
tes detalles para permitir a otro investi
repetir el trabajo; sin embargo, las descr
nes técnicas de los métodos sólo se detal

texto (manuscrito en preparación), (da-
publicados) o (comunicación personal).
ta bibliográfica deberá ordenarse siguien-
orden alfabético de los apellidos de los
es y cronológicamente por autor, diferen-
o con letras minúsculas, después del año,
los que correspondan a un mismo año.
nombre de un autor es mencionado junto
otros coautores, se seguirá el siguiente
amiento: publicaciones del autor sólo,
aciones del mismo autor con un coau-
publicaciones del autor con más de un
or. Utilizar el esquema descrito abajo
ordenar las citas.
aciones periódicas: apellido e iniciales
; autores, separados por coma. Año. Tít-
el trabajo. Revista. Volumen y páginas.
s: apellido e iniciales de los autores, se-

no deberán incluir líneas divisorias ve-
les, solo horizontales.

Figuras: (gráficos, esquemas, mapas,
se presentarán separadas del texto, acco-
ñadas de un título y explicación breve,
tos a máquina en hoja aparte. Del
numerarse de acuerdo a su ubicación en e-
to. Cada una deberá poseer una referen-
figure en el mismo. Se las citará con m-
cula y entre paréntesis, ej. (Figura 1). C-
se haga referencia a ellas en forma exp-
se las pondrá sin paréntesis. No se dot-
ni adherirán de manera tal que se afec-
calidad. Si se envían las figuras suelt-
identificarán en lápiz, con número y el
bre del autor. Las ilustraciones se dise-
teniendo en cuenta el formato de la rev-

