INFORMACIONES AGRONÓMICAS DEL CONO SUR #45

IPNI
INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE

INSTITUTO INTERNACIONAL DE NUTRICIÓN DE PLANTAS

WWW.IPNI.NET

PROGRAMA LATINOAMERICA - CONO SUR

MARZO 2010

CONTENIDO

- FUTURO DE LA CIENCIA DEL SUELO
- INTERPRETACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE NIVELES DE FERTILIDAD EN PARAGUAY
- MANEJO DIFERENCIAL DE CULTIVARES DE TRIGO Y CEBADA EN URUGUAY
- ESTRATEGIAS DE FERTILIZACIÓN, RENDIMIENTOS, Y BALANCE Y DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES
- MANEJO DEL SUELO Y ROTACIÓN CON PASTURAS

FUTURO DE LA CIENCIA DEL SUELO, UNA MIRADA DESDE LA ARGENTINA

Gustavo N. Moscatelli

Coordinador del Area de Investigación, Cartografía de Suelos y Evaluación de Tierras del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) - www.inta.gov.ar/suelos/
Miembro titular de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo (AACS)- www.suelos.org.ar

Quienes trabajamos desde hace más de 30 años en la Ciencia del Suelo, hemos asistido a diferentes etapas, algunas de bonanza y otras de crisis. Es en las épocas de crisis cuando debemos explorar las estrategias adecuadas para reinsertar nuestra disciplina en las agendas políticas, para lo cual es necesario ofrecer resultados comprensibles, útiles y aplicables. En el presente escrito se señalan algunas de las problemáticas que requieren de nuestra capacidad de ofrecer soluciones.

La migración de especialistas en nuestra disciplina hacia otras especialidades está estrechamente vinculada con decisiones políticas que otorgan mayor relevancia a cuestiones ambientales. Cambio climático global, sustentabilidad, conservación de la biodiversidad y seguridad alimentaria, constituyen palabras o frases que ineludiblemente deben estar en los títulos de proyectos que aspiran a ser aprobados.
La Ciencia del Suelo, sin embargo, está en el sustrato, en la base de esas problemáticas o forma parte de todas esas temáticas. Los cuantiosos datos que proporcionan los estudios de suelos, ya sea orientados a química, física, biología, génesis, cartografía, arqueología y otras tantas subdisciplinas, constituyen la más valiosa base de datos a la que se puede recurrir para nutrir los estudios destinados a satisfacer las demandas actuales de la sociedad y de quienes toman las decisiones políticas. Para confeccionar las bases de esas problemáticas, miles de colegas han trabajado durante muchos años en distintas partes del mundo.
El desafío actual es lograr disponer de esa información de manera precisa, cuantitativa, accesible, comprensible y adecuarla a las necesidades de los nuevos requerimientos. Es necesario convencer genuinamente a quienes priorizan los proyectos y destinan recursos que, recurriendo a esa información, harán un "buen negocio", entendiendo por ello no sólo a la obtención de beneficios económicos, sino fundamentalmente al reconocimiento de la sociedad.

¿Agricultura para la alimentación o para energía? La obtención de energía mediante cereales y

IPNI
International
Plant Nutrition
Institute

Director: Dr. Fernando O. García
Instituto Internacional de Nutrición de Plantas
Programa Latinoamerica - Cono Sur
Av. Santa Fe 910
(B1641ABO) Acassuso – Argentina
Tel/Fax (54) (011) 4798-9939
E-mail: fgarcia@ipni.net
Sitio Web: www.ipni.net/lasc

Propietario: International Plant Nutrition Institute (IPNI)
ISSN 1666 - 7115
No. de Registro de Propiedad Intelectual: 782346

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

Diseño: www.agroeditorial.com.ar - amatthiess@amatthiess.com.ar
Impresión: Grancharoff Impresores

Contenido:

Futuro de la ciencia del suelo, una mirada desde la Argentina ____ 1

Interpretación y diagnóstico de niveles de fertilidad de suelos agrícolas sobre siembra directa en la zona de influencia de la Cooperativa Colonias Unidas (Paraguay) ____ 5

Bases morfo-fisiológicas que justifican el manejo diferencial de cultivares de trigo y cebada en Uruguay ____ 8

Efectos de diferentes estrategias de fertilización sobre los rendimientos, el balance de nutrientes y su disponibilidad en los suelos ____ 16

Manejo del suelo y rotación con pasturas: Efecto sobre la calidad del suelo, rendimiento de los cultivos y uso de insumos ____ 22

Publicaciones y Congresos ____ 27

oleaginosas es una alternativa viable para paliar la crisis provocada por la escasez de petróleo. Además, si bien se enuncian beneficios ambientales, se auguran excelentes réditos económicos para este tipo de emprendimientos. Ya está instalada la polémica acerca de la posible excesiva presión sobre los suelos y la reducción de tierras dedicadas a la producción de alimentos.
Los edafólogos deberán trabajar conjuntamente con expertos en otras áreas para desentrañar el deterioro de los recursos, justipreciar la relación costo/beneficio y la sustentabilidad de estos nuevos emprendimientos.

Contaminación y efecto invernadero producidos por emanaciones de gases. La posibilidad de paliar estos efectos con el secuestro de carbono deberá evaluarse a partir de datos confiables que demuestren la capacidad del suelo para ejercer esa absorción.

Efectos del monocultivo. Los anunciados perjuicios del monocultivo, principalmente de soja en estas latitudes, deben establecerse con precisión, sin dejarse llevar por posturas ultraecologistas, que plantean la intangibilidad de los recursos, ni por emprendimientos productivistas, que no contemplan los daños de la deforestación, los procesos de compactación y los posibles efectos contaminantes de agroquímicos aplicados sin control.
Se plantea aquí el desafío para los edafólogos de proponer sistemas de producción para que se logre un equilibrio entre la obtención de cultivos rentables que satisfagan las innegables necesidades crecientes y la imprescindible conservación del suelo.

¿Informática vs. Tareas de campo? La irrupción de nuevos y poderosos programas informáticos vinculados al tratamiento de imágenes de satélite y radar, como así también los que otorgan cada vez más posibilidades a los sistemas de información geográficos y bases de datos, despiertan el entusiasmo de los jóvenes, quienes logran resultados llamativos y hasta deslumbrantes. Sin embargo, se detecta una brecha cada vez más notable entre las posibilidades de manipular los datos y plasmarlos en mapas, tablas y diversos tipos de gráficos y la cantidad de datos de campo que avalan los resultados obtenidos.
El trabajo de campo es muy costoso, las distancias a los nuevos sitios de expansión de la agricultura son muy grandes y los accesos son generalmente dificultosos. Es por ello que hay una tendencia a "resolver el tema" a partir de inferencias y extrapolaciones a partir de imágenes remotas. Una vez publicado un mapa en brillantes colores y en atractivo formato, parece correcto e indiscutible.
Sin embargo, quienes hemos tenido la fortuna de recorrer diferentes regiones, sabemos que la verdad de campo es la única que garantiza la confiabilidad de los mapas. Sin duda, los programas e imágenes mencionadas constituyen una excelente herramienta para planificar las tareas, para visualizar el terreno con ojos de un gigante y utilizar artificios que superan la posibilidad de la visión humana.
De esa manera es posible ahorrar sensiblemente los costos de los viajes, organizando los recorridos con la certeza de conocer caminos y accesos, detectar áreas representativas y posicionarse correctamente en el terreno. Sin embargo, siempre es imprescindible ver, tocar, y hasta oler el suelo, allí donde yace.

Sólo de esa manera podremos garantizar nuestras evaluaciones y recomendaciones.
El futuro proveerá de herramientas cada vez más poderosas, pero debemos ser muy cautelosos en su utilización, transmitiendo a los nuevos edafólogos que inexorablemente deberán cavar un pozo, observar detenidamente los perfiles y embarrarse las manos, además de digitalizar bellos mapas en sus monitores de plasma.

La adopción de la agricultura de precisión en los sistemas productivos. Las posibilidades de contar en tiempo real con resultados de rindes de cosecha, contenido de nutrientes o estado de humedad constituyen elementos de innegable valor a la hora de planificar. Sin embargo, suelen confundirse los mapas proporcionados por esta tecnología con mapas de suelos. Resulta imprescindible que los edafólogos aprovechen los resultados de esta tecnología para investigar y predecir la combinación de factores edáficos que den lugar a los resultados observados en los mapas automáticos.

El Lic. Gustavo Moscatelli falleció el 29 de octubre pasado y nos dejó un gran legado de conocimientos, experiencias y, fundamentalmente, amor por el Suelo que se reflejó en su intensa y prolífica trayectoria en el Instituto de Suelos del INTA en Castelar (Buenos Aires), así como en la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo (AACS) de la cual fue Presidente durante varios períodos. Gustavo ha sido una gran persona que, con su calidez, nos guió en períodos difíciles para nuestra Ciencia del Suelo y en los cuales siempre privilegió la amplitud de criterios y la amistad entre las personas. Entendemos que este escrito, presentado en el XXXIII Congreso Mexicano de la Ciencia del Suelo realizado en Ciudad Victoria (Tamaulipas) en 2006, es una excelente síntesis de su legado para todos los que estamos involucrados en la Ciencia del Suelo en el Cono Sur y en el mundo.

Agriculturización de tierras marginales. La expansión de la frontera agrícola en la Argentina es un hecho irreversible. Un ciclo climático más húmedo que se registra desde hace treinta años ha favorecido la obtención de rendimientos redituables en tierras frágiles, protegidas generalmente por bosques nativos y muy susceptibles a la erosión. Resulta imprescindible que se destinen recursos y esfuerzos a conocer los procesos que se disparan inmediatamente después de la intervención y lograr paliarlos mediante un manejo que asegure la retención del agua, la conservación del carbono orgánico, la manutención de coberturas que protejan al suelo de las escorrentías y el viento y la preservación de sitios de monte natural que resguarden la biodiversidad.

Concientización de la población urbana. Una asignatura pendiente es la de concientizar a los habitantes urbanos de la importancia de los suelos y del clima. Sin embargo, resulta muy difícil sensibilizar a la población cuando se intenta demostrar que la erosión laminar permanente de los suelos avanza sin cesar y causará el colapso de importantes regiones. Las noticias de poco impacto visual quedan relegadas para suplementos solo leídos por minorías.
Los edafólogos deben, a corto plazo, ocupar espacios televisivos, radiales y de prensa escrita en programas que transmitan mensajes modernos, atractivos e innovativos. Últimamente y casi por obligación, los canales de cable tienen programas ecológicos, pero lamentablemente el Suelo ocupa muy poco espacio. Deberían formarse edafólogos especialistas en comunicación para lograr instalar en la sociedad la importancia que merece el recurso que estudiamos.

Indicadores de calidad y salud de suelos. Si bien algunos autores consideran los términos "indicadores de calidad" y "salud de suelos" como sinónimos, nosotros entendemos que "calidad" se refiere a la condición original de un suelo respecto a sus propiedades físicas, químicas y biológicas y "salud" a la evolución de dichas propiedades a lo largo del tiempo, a partir del momento en que el suelo es intervenido.
A pesar de que se han publicado numerosos trabajos y que se han desarrollado talleres y simposios sobre indicadores de calidad y salud de suelos, no hay en la actualidad un acuerdo acerca de cuáles son esos indicadores y cuales son, para cada región, los umbrales por debajo de los cuáles el suelo se halla en peligro. Los indicadores menos utilizados en forma generalizada son los biológicos y constituyen un muy amplio campo de investigación.
Es tarea de los futuros edafólogos profundizar las investigaciones básicas sobre indicadores para dar adecuado sustento teórico a las determinaciones prácticas. Las mismas deben estar contempladas en una metodología simple y fácil de aplicar para quienes deben establecer normativas en el uso de la tierra.

Deserción de estudiantes en nuestra disciplina. La disminución de alumnos en las cátedras de Ciencia del Suelo tiene esencialmente una explicación: la

expansión de la agricultura requiere la participación de profesionales jóvenes para atender las diversas actividades involucradas y los salarios ofrecidos superan ampliamente los que están en condiciones de otorgar las facultades y otros institutos de investigación.
Gran parte de los nuevos emprendimientos agrícolas, que generalmente tienen lugar en regiones donde se desconoce con suficiente detalle la naturaleza de los suelos y su compleja distribución en el espacio, advierten al poco tiempo que no todo es lo mismo, lo cual se refleja claramente en el resultado dispar de sus cosechas. Es allí donde resulta imprescindible contar con experimentados reconocedores de suelos y edafólogos generales, que ayuden a conocer la distribución de los diferentes tipos de suelos y que sepan leer en el perfil las cualidades y limitaciones de las tierras que han de ser puestas en producción.
Sólo cuando se demuestre que el asesoramiento de un especialista puede optimizar el uso de las tierras, generando más ganancias y a la vez resguardando el capital suelo para el futuro, los empresarios apoyarán la formación de profesionales debidamente capacitados en universidades e instituciones especializadas.

Dinámica creciente de las decisiones en el uso de la tierra. El extraordinario desarrollo y mejoramiento de los sistemas de comunicación ha cambiado sustancialmente la estrategia de los productores, aún de los menos tecnificados. Las posibilidades de incursionar rápidamente en nuevos territorios han dinamizado los cambios en el uso de la tierra, las formas de arrendamiento y de comercialización. Los cambios superan la posibilidad de disponer de información previa a la instalación de nuevos emprendimientos.
Los edafólogos deben prever tales cambios con suficiente antelación; deben plantear diversos escenarios y conocer los suelos que han de ser intervenidos para proporcionar la información adecuada a fin de lograr sistemas sustentables.

Todas las soluciones que puede ofrecer nuestra Ciencia en los aspectos señalados, requiere de una nueva visión interdisciplinaria, efectiva y no meramente declamada. Si bien se conocen destacados trabajos en los que se mancomunan esfuerzos de diversas disciplinas, queda un largo trecho por recorrer para lograr que los estudios no se limiten a una yuxtaposición de abordajes, sino que se vinculen más estrechamente para desentrañar los aún no develados misterios que guarda ese maravilloso recurso que nos une: Nuestro Suelo. ■

IPNI

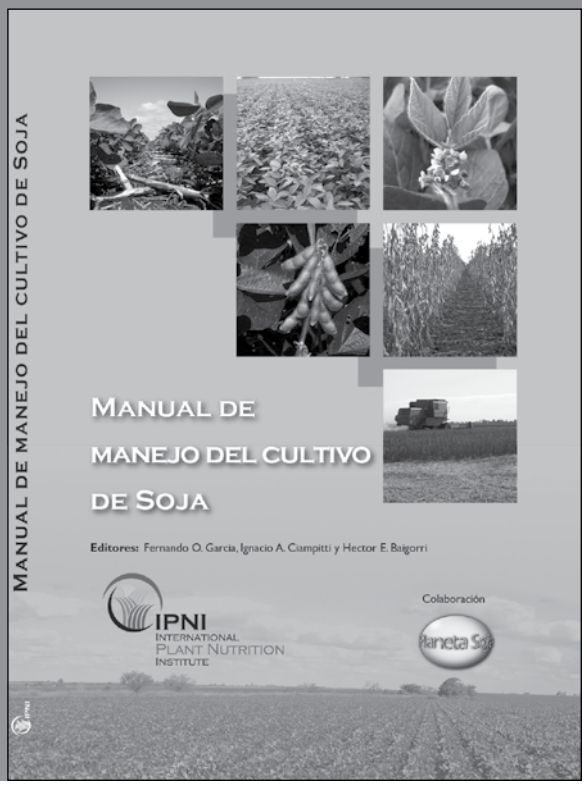
Nueva publicacion de IPNI Cono Sur

Manual del Cultivo de Soja

- Como crece y se desarrolla el cultivo
- Manejo del cultivo
- La Nutrición del cultivo
- Identificación y manejo de las malezas
- Identificación y manejo de las enfermedades
- Reconocimiento y manejo práctico de plagas

Costo de la publicacion: $60 (sesenta pesos)
Costo de envio: $25 (veinticinco pesos)
Para mayor información, comuniquese al
011-4798-9939/9988
o visite nuestra pagina de internet:

www.ipni.net/lasc



Interpretación y diagnóstico de niveles de fertilidad de suelos agrícolas sobre siembra directa en la zona de influencia de la Cooperativa Colonias Unidas (Paraguay)

Enrique Hahn Villalba[1] y Diego Bonussi[2]
[1]Programa Manejo de Suelo – Cooperativa Colonias Unidas
Universidad Federal de Santa Maria-RS-Brasil - [2]Facultad Ciencias Agropecuarias, Universidad Católica Itapúa-Paraguay.
enriqueohahn@hotmail.com
Trabajo Presentado en el 1er Simposio Paraguayo de Manejo y Conservación de Suelos. Hohenau, 29 y 30 Octubre de 2009.

Introducción

La Cooperativa Colonias Unidas es una institución propulsora del desarrollo agropecuario e industrial en el Paraguay. Su área de influencia ocupa la región sur-este del país y sus socios productores cultivan principalmente soja, trigo, maíz, sorgo, girasol, yerba mate, algodón y *Stevia rebaudiana*, entre otros. En esta zona, gran parte de los suelos son arcillosos y pertenecen a las clases Ultisol, Alfisol y Oxisol originados de rocas basálticas (López *et al.*, 1995). Se puede destacar un uso histórico diferenciado de estos suelos como ser monte, pasturas, cultivos perennes y anuales, con años de explotación agropecuaria variables entre 5 y 55 años.

Para aumentar los rendimientos de granos, es necesario conocer los fundamentos de la fertilidad de suelos y de la nutrición de plantas. La práctica de la fertilización debe basarse en la correcta interpretación de los niveles de nutrientes surgidos de los resultados de análisis de muestras representativas de los lotes. En la actualidad, las herramientas disponibles para la interpretación de niveles de nutrientes y recomendación de fertilizantes son los trabajos de curvas de calibración para los principales cultivos de granos en la Región Oriental del Paraguay (Hahn, 2008; Barreto, 2008; Cubilla, 2005; Wendling, 2005). Con esos datos se pueden planificar estrategias para la construcción de la fertilidad de los suelos. Nicolodi *et al.* (2009) relataron que los parámetros más utilizados para realizar diagnósticos e interpretación de la fertilidad de suelos en una región son pH, materia orgánica (MOS), fósforo (P) y potasio (K).

El objetivo de este trabajo fue interpretar y diagnosticar los niveles de fertilidad de suelos agrícolas sobre siembra directa en la zona de influencia de la Cooperativa Colonias Unidas, Paraguay.

Materiales y métodos

Se realizó un levantamiento de los resultados de análisis de suelos realizados por los socios productores de la Cooperativa Colonias Unidas en el año 2008. Se clasificaron 209 muestras de suelos analizadas para pH, MOS, P y K manejadas bajo siembra directa. Los suelos de esta región son arcillosos, originados de rocas basálticas y forman parte de los distritos de Hohenau, Obligado, Bella Vista, Pirapó, Edelira, Maria Auxiliadora, Alto Verá y Capitán Meza, entre otros.

Los análisis químicos de los suelos fueron realizados en el laboratorio de la Fundación Universitaria Ciencias Agrarias Itapúa, según la metodología descripta por Tedesco *et al.* (1995). El tenor de MOS fue determinado por el método de la oxidación por solución sulfocrómica con calor externo y determinación espectrofotométrica del Cr^{3+}. El P y K fueron extraídos por la solución Mehlich 1 y determinados por colorimetría con ácido ascórbico como reductor y por el método directo por el fotómetro de llama, respectivamente. Para la clasificación de la acidez del suelo, se determinó pH CaCl con una solución de 0.01 mol/L de cloruro de calcio; los suelos se clasificaron en tres niveles: bajo pH (alta acidez), medio pH (media acidez) y alto pH (baja acidez).

Para la clasificación de los valores de MOS, P y K se utilizaron los tenores críticos desarrollados para suelos sobre siembra directa en la misma región (Hahn, 2008; Barreto, 2008; Cubilla, 2005; Wendling, 2005). Muestras con menos de 2% de MOS fueron clasificadas como nivel bajo, muestras entre 2% y 3% como nivel medio y muestras mayores a 3% de MOS fueron consideradas de nivel alto. Para P, valores entre 0 a 4 mg dm^{-3} se clasificaron como niveles muy bajos, de 4 a 8 mg dm^{-3} bajo, de 8 a 12 mg dm^{-3} medio, de 12 a 24 mg dm^{-3} nivel alto y los superiores a 24 mg dm^{-3} fueron considerados muy altos. Los valores de K menores a 0.065 cmolc dm^{-3} fueron considerados muy bajos, de 0.065 a 0.13 cmolc dm^{-3} nivel bajo, 0.13 a 0.19 cmolc dm^{-3} medio, 0.19 a 0.38 cmolc dm^{-3} nivel alto, y al superar 0.38 cmolc dm^{-3} se clasificaron como nivel alto de K. Las conversiones para suelos con 1.1 tn m^{-3} de densidad aparente son las siguientes: 1 mg dm^{-3} = 0.91 mg kg^{-1}; 1 cmolc K dm^{-3} = 355 mg kg^{-1} K.

Resultados y Discusión

Las clasificaciones de los niveles de pH, MOS, P y K del suelo se presentan para cada muestra de suelo con su valor correspondiente (Fig. 1) y en forma

porcentual por niveles (Fig. 2). Los resultados de pH indicaron que la mayoría de los suelos estudiados están en un nivel medio de acidez con pH entre 5.5 y 6. De las 209 muestras, 13% (27 muestras) indicaron acidez alta, 83% (174 muestras) acidez media y 4% (8 muestras) demostraron baja acidez en el suelo. Estos resultados son similares a un trabajo que evaluó la acidez en 1741 muestras de suelo en el Departamento de Itapúa, encontrando valores de pH entre 5.4 y 5.9 (Fatecha, 2004).

Al realizar el diagnóstico de los niveles de MOS en los suelos sobre siembra directa en la zona de influencia de los productores de la Cooperativa Colonias Unidas, se encontraron mayores porcentajes correspondientes al medio y alto tenor de MOS. En el nivel medio, equivalente a 2 a 3% de MOS, fueron encontradas 153 muestras equivalentes al 73% de las muestras analizadas. Suelos con alto nivel de MOS fueron representadas por 40 muestras correspondientes al 19% del total. En el nivel bajo, se encontraron solamente 16 muestras (8%) que corresponden a suelos con MOS inferior al 2%. La gran proporción de los productores de la Cooperativa Colonias Unidas que adoptaron el sistema de siembra directa (superior al 90%) probablemente impactó en los altos tenores diagnosticados de MOS en los suelos.

En el caso del P, predominaron niveles bajos que representaron el 80% de las muestras, 80 muestras (39%) se ubicaron en el nivel muy bajo (0 a 4 mg dm^{-3}) y 86 muestras (41%) en el nivel bajo (4 a 8 mg dm^{-3}). En el nivel medio (8 a 12 mg dm^{-3}) se ubicaron 21 muestras (10%) y en el alto (12 a 24 mg dm^{-3}) también 21 muestras. Sólo una muestra se ubicó en el nivel muy alto (mayor que 24 mg dm^{-3}). La solubilidad de P es afectado por el pH y principalmente por el tipo de arcilla existente en el suelo. Suelos provenientes de basaltos poseen cantidades altas de óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio que fijan P, disminuyendo en gran parte su presencia en la solución del suelo (Raij, 1991).

Los resultados encontrados para K presentaron mayor proporcionalidad entre los niveles, con una tendencia a niveles bajos. Treinta y cinco muestras se ubicaron en el nivel muy bajo de K (17%), con valores menores a 0.065 cmolc dm^{-3}, 101 muestras se ubicaron en el nivel bajo de 0.65 a 0.13 cmolc dm^{-3}, representando al 49% de las muestras. En el nivel medio (0.13 a 0.19 cmolc dm^{-3}) se ubicaron 32 muestras (15%) y en el nivel alto y muy alto, 41 muestras (19%). En la zona de influencia de la Cooperativa Colonias Unidas existe un uso histórico del suelo agrícola bien diferenciado, variando temporalmente entre 5 y 55 años de explotación agrícola. Los técnicos de la Cooperativa indican que la mayoría de los socios productores realizan muestreos de suelo en lotes de bajas productividades con bajos niveles de K, que pueden estar ligados al uso continuo del suelo, sin la debida fertilización de reposición de la extracción del nutriente por el cultivo, ya que los suelos de la Región en condición original y provenientes de bosques poseen niveles altos de K. En el Sur del Brasil, Nicolodi *et al.* (2009) demostraron que la fertilidad de suelos aumentó en las últimas cuatro décadas por llevar a cabo las recomendaciones técnicas sobre utilización adecuada de fertilizantes y correctivos conforme a los resultados de análisis químico de suelos y las especies cultivadas.

Conclusión

La clasificación de los niveles de nutrientes disponibles en los suelos demostró una tendencia a niveles medios de acidez, niveles medios para altos de materia orgánica y bajos tenores de P y K, siendo importante para estos nutrientes incorporar planes de fertilización, buscando la construcción de altos niveles de fertilidad que posibiliten productividades satisfactorias a largo plazo.

Bibliografía

Barreto U.F. 2008. Recomendações de fertilização fosfatada e potássica para as principais culturas de grãos sob sistema plantio direto no Paraguai. Tese Doutorado. Universidade Federal de Santa María.

Cubilla M.M.C. 2005. Calibração visando recomendações de fertilização fosfatada para as principais culturas de grãos sob sistema plantio direto no Paraguai 97 f. Mestrado em Ciência do Solo – Universidade Federal de Santa Maria.

Fatecha D.A. 2004. Clasificación de la fertilidad, acidez activa (pH) y necesidad de cal agrícola de los suelos de la región oriental del Paraguay. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. Tesis como requisito para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. San Lorenzo, Paraguay.

Hahn E. 2008. Recomendação de Nitrogênio, P e Potássio para girassol sob sistema plantio direto no Paraguai.. Mestrado em Ciência do Solo – Universidade Federal de Santa Maria.

López O.E., E. Gonzalez, P.A. De Llamas, A.S. Molinas, E.S. Franco, S. Garcia y E. Rios. 1995. Reconocimiento de Suelos y Capacidad de Uso de las Tierras; Región Oriental. Paraguay. MAG /Dirección de Ordenamiento Ambiental. Proyecto de Racionalización del Uso de la Tierra. Convenio 3445 P.A - Banco Mundial.

Nicolodi M., C. Gianello e I. Anghinoni. 2009. Evolução da fertilidade do solo do Planalto do Rio Grande do Sul nas últimas quatro décadas. Revista Plantio Direto, v. 111, p. 10-16.

Tedesco M.J., C. Gianello, C.A. Bissani, H. Bohnen y S.J. Volkweiss. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 174 p. (Boletim Técnico de Solos, 5).

Van Raij B. 1991. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Ceres: Potafos.

Wendling A. 2005. Recomendação de Nitrogênio e Potássio para trigo, milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai.123 f. Mestrado em Ciência do Solo – Universidade Federal de Santa Maria.

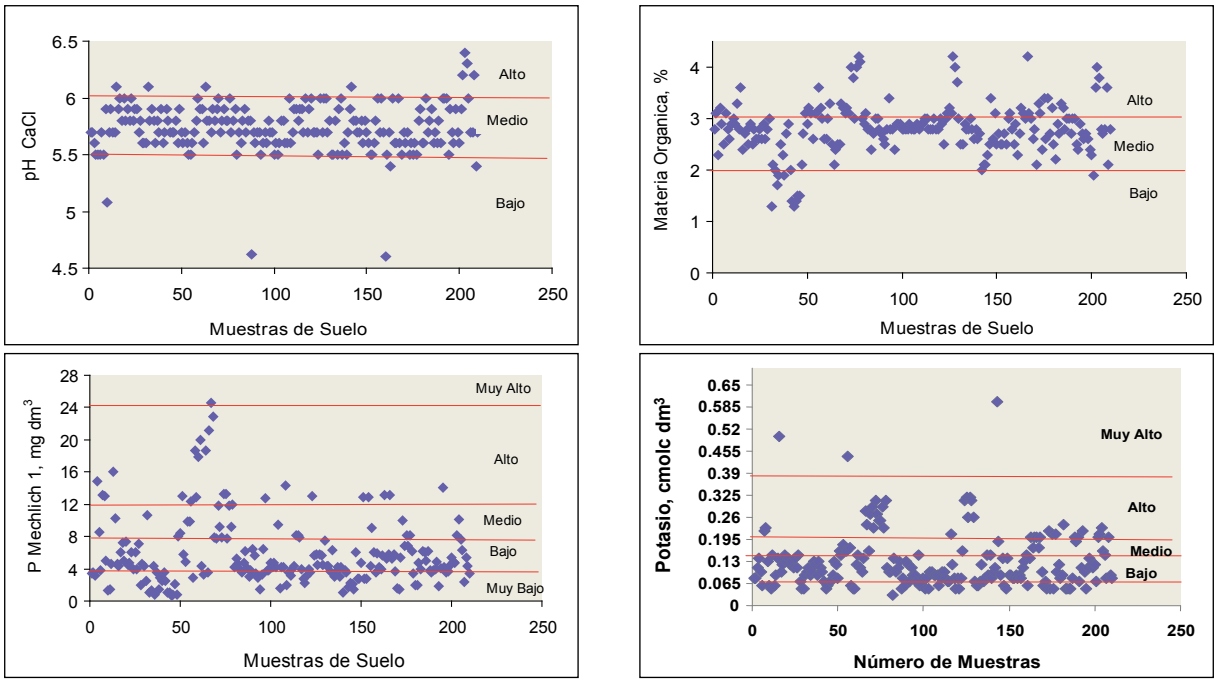


Figura 1. Clasificación en unidades de muestras de suelo por niveles de pH (arriba izquierda), de materia orgánica (arriba derecha), de P (abajo izquierda) y K (abajo derecha) provenientes de la zona de influencia agrícola de la Cooperativa Colonias Unidas, Paraguay.

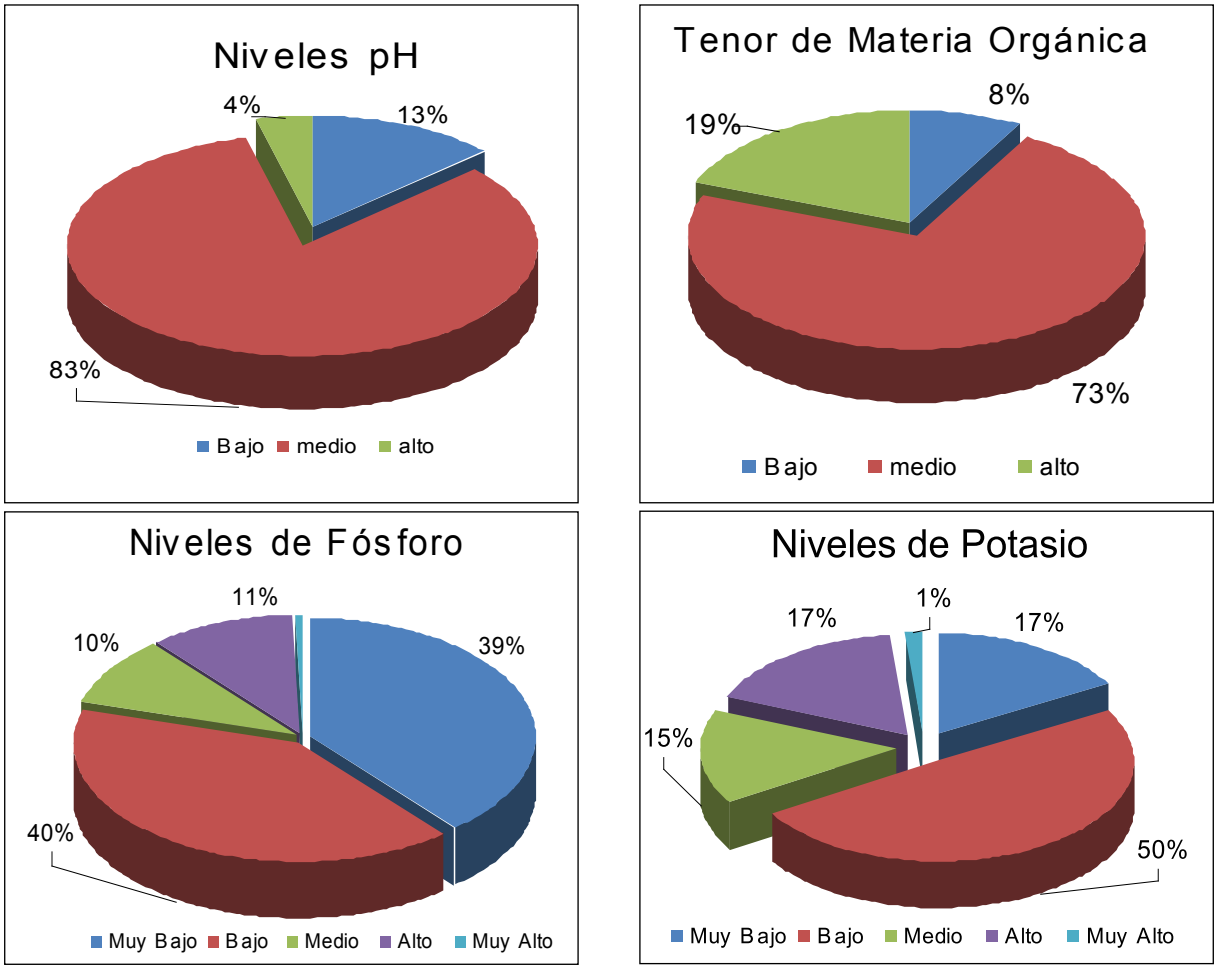


Figura 2. Clasificación porcentual de muestras de suelo por niveles de pH (arriba izquierda), de materia orgánica (arriba derecha), de P (abajo izquierda) y K (abajo derecha) provenientes de la zona de influencia agrícola de la Cooperativa Colonias Unidas, Paraguay.

Bases morfo-fisiológicas que justifican el manejo diferencial de cultivares de trigo y cebada en Uruguay

Esteban Hoffman, Luís Viega, Mónica Cadenazzi, Andrea Benítez, Victoria Gestido, Pablo Mesa, Rocío Fernández, Andrés Baeten y Nicolás Glison
UDELAR-Facultad de Agronomía- EEMAC. Ruta 3 km 363- Paysandú- Uruguay.
tato@fagro.edu.uy

Introducción

Uruguay, enclavado entre Brasil y Argentina, entre los 30 y 33° de latitud sur recostado al oeste sobre las márgenes del río Uruguay y al sur y sudoeste sobre el río de La Plata y el Océano Atlántico, posee tan sólo 600 km de largo de sur a norte. Sin embargo, existen grandes contrastes en cuanto a la aptitud agro-climática para cereales de invierno. Por su régimen de temperatura y precipitaciones, se pueden encontrar desde zonas continentales cálidas, no aptas, al extremo norte; continental templado al Centro y Litoral Oeste; mediterráneas, de gran aptitud, ubicadas al sur y litoral sur hasta una franja costera de clima marítimo sobre la costa atlántica al sudeste del país. Hace no más de 4 años, cerca del 90% del área de trigo y cebada se ubicaba en 4 departamentos del Litoral Oeste por la infraestructura existente y por la aptitud agrícola de los suelos. En esta faja de aproximadamente 350 km de largo, los cultivos de invierno pueden verse sometidos a contrastes térmicos tanto en invierno, en estadios iniciales del ciclo de los cultivos, como en la primavera, particularmente en la fase de llenado de grano. En el extremo norte de esta faja, la temperatura promedio de los meses de junio y julio se ubica en torno a los 12 °C, pero frecuentemente se presentan años con medias superiores en 1.5 a 2°C. La temperatura media de octubre y noviembre es de 18 a 20°C, siendo frecuente, en algunos años, días con más de 30°C (Ernst, 1990). En esta zona, la más cálida de esta franja agrícola, se ubica la Estación Experimental "Dr. Mario A. Cassinoni" perteneciente a la Facultad de Agronomía-UDELAR, siendo la unidad más al norte en la cual se genera actualmente información para trigo y cebada en Uruguay. Con más de 100 años de investigación, la estación experimental La Estanzuela (hoy perteneciente a INIA) por su ubicación en el departamento de Colonia concentró hasta fines de los años 80 la información en trigo y cebada, pero para condiciones térmicas menos extremas que las del Litoral Norte.

Todos los antecedentes tanto nacionales como internacionales son concluyentes en relación a que el período crítico de concreción del potencial de rendimiento en trigo se ubica en torno al encañado y 10 días posteriores a la floración (Fisher, 1985) y en cebada desde Zadoks 32-33 (Zadoks et al., 1974) hasta Zadoks 65-70 (Hoffman et al., 2002b). Sin embargo, en ese tipo de análisis no se tiene en cuenta la fase inicial que abarca el período activo de macollaje y que se corresponde con la definición del potencial del rendimiento. Es por ello que cuando se analiza la información disponible acerca de la relación entre la curva de crecimiento y el potencial del rendimiento, la atención se centra nuevamente en el encañado e inicios de llenado de grano y no aparece como relevante la producción de biomasa en los estadios iniciales del ciclo de los cultivos de invierno. La información generada en Uruguay por la Facultad de Agronomía evidenció la necesidad de profundizar la caracterización del crecimiento en los estadios iniciales tanto en trigo (Hoffman y Ernst, 1990) como en cebada (Hoffman et al., 1994; Castro et al., 1994) como plataforma para el diseño de la mejor estrategia de crecimiento, particularmente para condiciones térmicas desfavorables.

Sobre la base que no siempre el cultivo que en fases iniciales del crecimiento se ve mejor, más parejo o más denso resulta ser el que rinde más, en la década de los noventa se comenzó el estudio de la relación

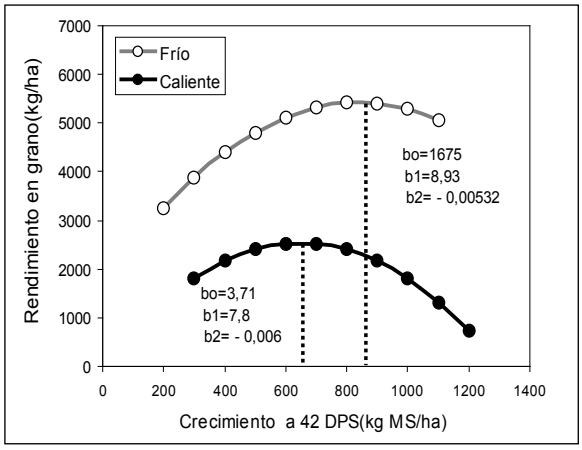


Figura 1. Relación entre el crecimiento inicial (42 días después de la siembra, DPS) y el rendimiento en grano de cebada cervecera, para dos condiciones térmicas contrastantes en la zona norte del Uruguay. La información corresponde al mismo cultivar – MN 599, caracterizado como de rápido crecimiento juvenil (Hoffman et al., 1991 y Hoffman et al., 1992b).

entre el crecimiento inicial del cultivo y el rendimiento final en cebada. La problemática fue abordada dentro del programa "Producción y Manejo de Cebada" de la Mesa Nacional de Entidades de Cebada (MNC) que comenzó a operar en Uruguay a principios de los noventa (Fig. 1).

Un mayor crecimiento temprano no se relacionaba con un mayor rendimiento en grano, sobre todo en años de temperaturas desfavorables (siempre y cuando el crecimiento más bajo no haya sido por niveles sub-óptimos de otros factores). Hoffman y Ernst (1990) y Hoffman et al. (1991), para trigo y cebada respectivamente, asociaron este comportamiento a la competencia temprana por luz. La falta de luz en tallos jóvenes en cebada se alcanzaría cuando el nivel de cobertura de suelo es muy temprano (Zadoks 22 – 23) con más de 900 a 1000 kg de MS ha^{-1}, sobre todo cuando por mayor temperatura, el área foliar (AF) por planta es elevado. Esta situación lleva a que los macollos más jóvenes muestren tasas de crecimiento menores, se retrasen en el tiempo en relación al tallo principal, comprometiendo su fertilidad, inclusive su sobrevivencia. Cuando las condiciones climáticas y de manejo durante el encañado y llenado de grano son favorables, y por tanto la tasa de crecimiento y concreción de potencial no se ven limitados, la construcción del potencial desde fases tempranas del ciclo condiciona el potencial final, sin cambios significativos en la producción total de biomasa a cosecha.

Desde principios de los años 90 eran abundantes las evidencias experimentales en cebada sobre los problemas de elevado crecimiento inicial para las condiciones de Uruguay en algunos años, sobre todo para la zona Litoral Norte. Esto llevó a proponer, para el cultivo de cebada, un programa de superación de defectos agronómicos y un esquema de ideotipo de crecimiento. Surgió así un mejor diagnóstico que permitió apuntar a mejorar el índice de partición en vez de superar la producción de biomasa total a cosecha. De tal forma que el típico crecimiento excesivo evidenciado en los cultivos de la década de los 80,

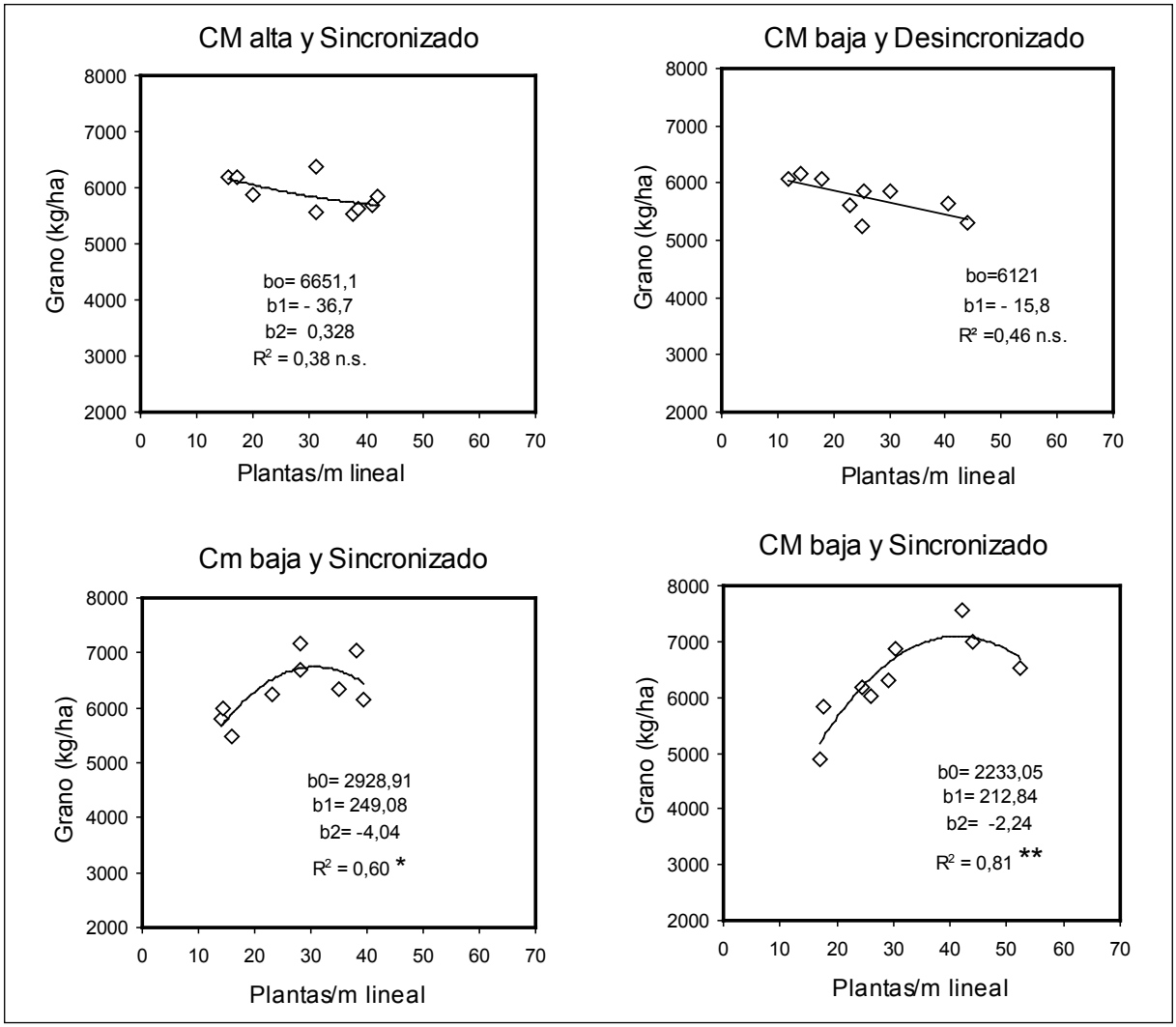


Figura 2. Respuesta a la densidad poblacional tanto para trigo como para cebada en función de características contrastantes de capacidad de macollaje (CM) y sincronización del macollaje. Los experimentos de respuesta a la densidad poblacional fueron conducidos a 15 cm de distancia entre hileras (Hoffman et al., 2009).

tanto en cebada como en trigo, fue disminuido en primera instancia por un adelantamiento de la fecha de siembra, la reducción de las densidades mayores a 300 pl m^{-2}, el ajuste objetivo del N y la reducción del laboreo.

Se llevaron a cabo una serie importante de trabajos tendientes a conocer y profundizar en las variables que regulan y modulan el crecimiento y la dinámica temprana del macollaje bajo las condiciones agroecológicas del Litoral Norte y que en primera instancia permitieron bajar las densidades de siembra e iniciar un programa de generación de información para cada cultivar (Hoffman 2002). De allí surgió la información que primero evidenció las grandes diferencias en respuesta a la densidad poblacional entre cultivares y luego las bases fisiológicas que posibilitaron su entendimiento.

Del programa de caracterización de cultivares de trigo y cebada, además de la información específica generada para cada cultivar durante estos años, se podría describir y caracterizar los tipos más frecuentes de respuesta a la densidad poblacional. Las diferencias entre los tipos de respuesta se pueden resumir por la capacidad de macollaje (CM) y la sincronización del macollaje (diferencia entre la tasa de emisión de hojas y/o crecimiento del tallo principal y el macollo dos -T_2) (Hoffman et al., 2007).

Nada novedoso sería proponer evitar densidades elevadas en cultivares de elevado macollaje, aún cuando éstos no sean muy sincronizados. Sin embargo, en base a la información generada en estos años, también habría que reducir la densidad en cultivares de baja capacidad de macollaje, si este se inicia tardíamente y es desincronizado. Cultivares sin problemas de sincronización y CM media, en general arrojan un óptimo poblacional que tiende a situarse en torno a las 35 pl m^{-1}. Si bien han sido muy poco frecuentes, los cultivares de planta chica, macollaje medio a bajo, inicio de macollaje muy temprano y sincronizado podrían ser los únicos que respondan al aumento de la densidad hasta las 40 a 45 pl m^{-1}, como el caso de INIA Mirlo. Del total de cultivares caracterizados tanto en trigo como en cebada (28 y 34, respectivamente), solo el 11 y 18 % de ellos han presentado un rango de densidad con un limite superior cercano a las 40 y 45 pl m^{-1}, respectivamente.

¿Que otros factores inciden en la respuesta a la densidad poblacional para las condiciones agroecológicas de Uruguay?

En estos años de trabajo, con idéntico protocolo experimental y sin efecto de enfermedades (dado que los experimentos se mantienen libres de enfermedades desde temprano con fungicidas) ni limitantes en cuanto a manejo de nutrientes u otros factores, no solo variaron año a año la temperatura en la fase de macollaje, sino también las condiciones hídricas durante el período crítico. En la Fig. 3 se presenta la respuesta a la densidad poblacional de todos los cultivares de trigo evaluados en 7 años con condiciones hídricas contrastantes durante el encañado y llenado de grano.

Hubo una fuerte tendencia a que tanto el rendimiento promedio como la respuesta a la densidad poblacional interaccionaran con la condición hídrica durante el encañado y llenado de granos. La respuesta a la densidad poblacional cesó a densidades poblacionales relativamente bajas y disminuyó sensiblemente cuando éstas superaron las 30-35 pl m^{-1} en años con estrés hídrico durante la fase de concreción del potencial, ya sea por déficit (1999 y 2003) o por exceso hídrico (2007). En años con un nivel térmico e hídrico óptimos como el año 2000, el rendimiento fue muy elevado para un amplio rango de densidades poblacionales. En una situación de agua disponible intermedia (años 2004, 2006 y 2008), con dismi-

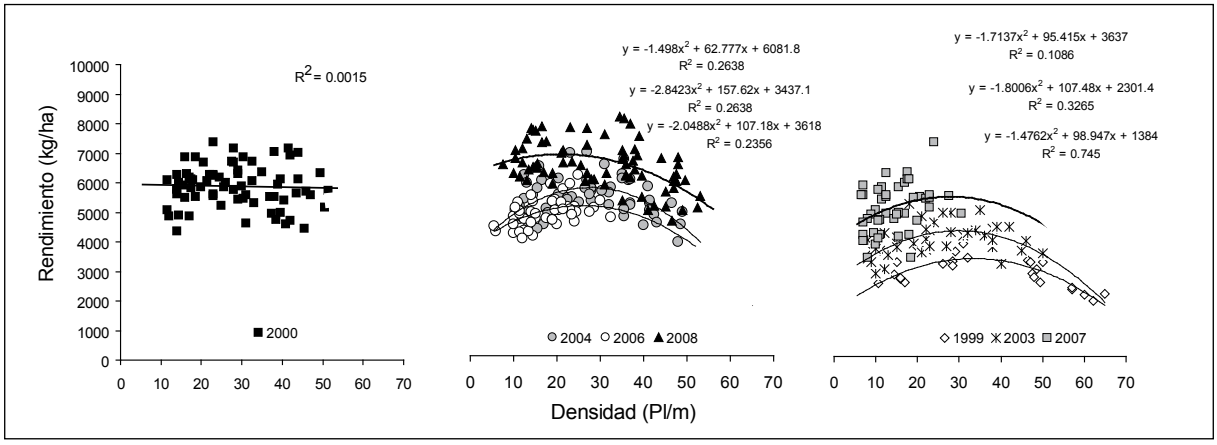


Figura 3. Rendimiento en grano en respuesta a la densidad poblacional de distintos cultivares de trigo en función de condiciones hídricas del año, estimada en base al agua disponible aparente a partir de Z 30. Agua disponible aparente ($ADAp^{>30}$), como la suma del agua disponible en suelo a Z 30, más las precipitaciones durante el encañado y llenado de grano. Año 2000 = 434 mm, años 2004, 2006 y 2008 = 333, 292 y 297 mm, respectivamente y años 1999, 2003 y 2007 = 222, 228 y 504 mm, respectivamente.

nución de las precipitaciones hacia el final del ciclo de cultivo, los rendimientos fueron elevados pero dependientes de la densidad poblacional (disminuyeron por encima de las 40 pl m^{-1}). Si Uruguay pudiese asegurar disponibilidad de recursos similares a los del año 2000, las poblaciones de 45-50 pl m^{-1} no deprimirían el rendimiento en grano. Pero como el riesgo de años como 1999, 2003 o 2007 no es predecible, 35 pl m^{-1} sería la referencia de manejo en promedio más segura para nuestra región agrícola.

La respuesta de la cebada a las distintas densidades poblacionales bajo regimenes hídricos contrastantes es similar a la del trigo, aunque las caídas de potencial en cebada son mayores en años húmedos, dada su mayor susceptibilidad al exceso de agua durante el período crítico (Fig. 4).

Frente a las mismas condiciones de manejo, para el mismo material genético en trigo y cebada, podemos analizar cuánto condicionó la situación hídrica durante el encañado y llenado de grano, a la posibilidad de concretar elevados potenciales de rendimiento en grano. Mientras la cebada evidenció una mayor susceptibilidad al exceso hídrico, el trigo lo fue al déficit. La caída de potencial del trigo frente al déficit hídrico se situó en torno a los 16 kg de grano mm^{-1} y cuando fue sometido a condiciones de exceso hídrico, el potencial se redujo en 11 kg de grano mm^{-1}. La cebada, en cambio, con un óptimo más bajo, redujo el rendimiento en 22 kg grano mm^{-1} y 14 kg de grano mm^{-1}, frente al exceso y déficit hídricos, respectivamente. En trigo, estos resultados son bastante coincidentes con los reportados por Fontanetto et al. (2009) en cuanto a la reducción de rendimiento frente al déficit hídrico. En regiones o zafras en las cuales casi no

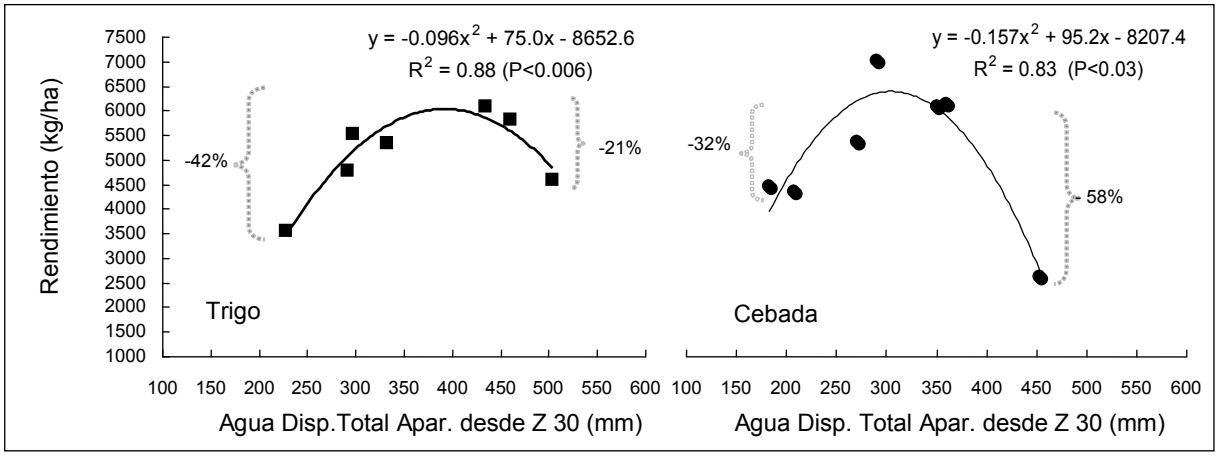


Figura 4. Relación entre el agua disponible aparente total a partir de Zadoks 30 ($ADAp^{>30}$) y el rendimiento en grano para trigo y cebada con igual manejo y libre de enfermedades. Los cultivares son los testigos de los experimentos de campo (INIA Churrinche e INIA Tijereta en trigo y Estanzuela Quebracho y FNC 6-1, en cebada) (Hoffman et al., 2009; Hoffman y Baeten, 2009).

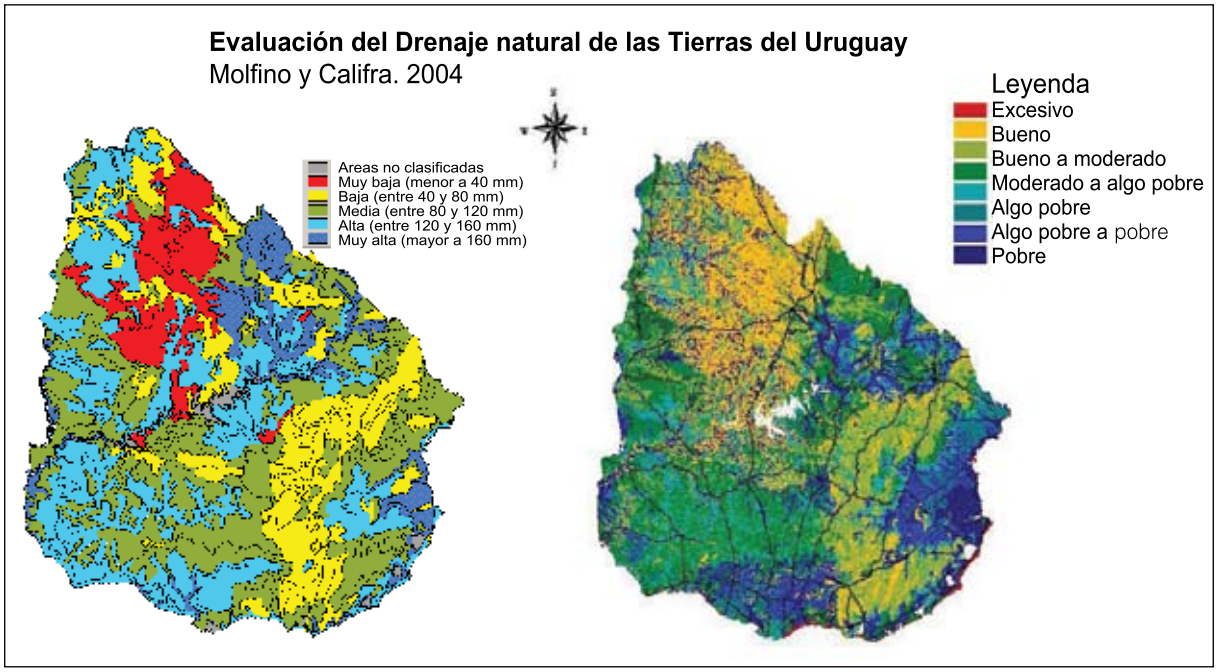


Figura 5. Capacidad de almacenaje y drenaje de los suelos del Uruguay (Molfino y Califra, 2004 a y b).

llueve en el invierno, la diferencia la establecen las reservas de agua en suelo. Una disponibilidad total cercana a los 280 - 300 mm durante el ciclo (de los cuales 150 mm fueron la reserva de agua en suelo) fue suficiente para concertar 4500 kg de grano ha^{-1}. Cuando la reserva de agua en el suelo a la siembra se ubicó en la mitad, los rendimientos cayeron a 3000 kg ha^{-1}.

El conocimiento de un cultivar puede aportar a bajar los riesgos climáticos y al desafío de la agricultura por ambientes.

Frente al escenario de expansión agrícola y al desarrollo de las nuevas zonas agrícolas en Uruguay, la incorporación de las diferencias en respuesta al agua entre cultivos y la respuesta varietal diferencial al estrés hídrico (EH) de los cultivares en uso, debería ser un componente relevante de la planificación y estrategia de siembra en distintas regiones. Es claro que cuanta más información tengamos de un cultivar, más herramientas tendremos para ajustar su manejo en ambientes que, por tipo de suelo y régimen de precipitaciones, difieran marcadamente al riesgo de EH. Si los distintos cultivares difieren en su rango de bienestar hídrico, estas diferencias deben ser conocidas para ser consideradas dentro de un programa mejorado de manejo.

A partir del año 2006, la Facultad de Agronomía plantea a la Mesa Nacional de la Cebada (MNC) y la Mesa Nacional del Trigo (MNT) un programa de trabajo tendiente a estudiar en forma preliminar el comportamiento de distintos cultivares de trigo y cebada frente a condiciones hídricas extremas durante la primera fase del período de concreción de potencial (encañado). En 2007, este programa de trabajo contó con la financiación de la MNC y en 2008 con el aporte de MOSA y la MNC. En 2009 se concreta el apoyo del sector productivo (El Tejar, ADP, Nidera, Del Carmen ACISA, Surco Seguros y AUSID), lo que permitirá seguir avanzando en la caracterización del rango diferencial de bienestar hídrico entre cultivares tanto de trigo como cebada.

Desde el punto de vista térmico, en Uruguay los suelos difieren marcadamente en cuanto al riesgo de exceso (Eh) o déficit hídrico (Dh), riesgos que son en algunos casos incrementados por el régimen de precipitaciones. En la Fig. 5 se pueden observar las diferencias de dos de los componentes básicos asociados al Dh y Eh.

Uruguay posee un régimen de precipitaciones que varía entre los 1000 y 1200 mm (con muy elevada variabilidad entre años) y, en términos relativos, en invierno llueve muchas veces por encima de las necesidades de los cultivos (Burgos y Corsi, 1971). Una mirada rápida a la Fig. 5 puede ayudar a entender rápidamente: i.- las diferencias que pueden existir en la aptitud agrícola de los suelos en Uruguay ii.-por qué Uruguay es un país con ventajas relativas en producción de cultivos de invierno (al menos en la zona Litoral Oeste, para la cual disponemos de abundante información) si nos comparamos con Brasil y Argentina, iii.- por qué podemos pasar de una situación de Eh a Dh de un año a otro, o entre zonas.

En este sentido, si los cultivares de trigo y cebada presentan rangos de bienestar hídrico contrastantes, deben en primer lugar conocerse para poder ser considerados en planes de siembra por ambientes con distinto riesgo hídrico. Los trabajos realizados en cultivares de cebada hasta la fecha evidencian un comportamiento diferencial al estatus hídrico del suelo (Hoffman et al.; 2008) (Fig. 6 a y b).

Tomando como referencia el comportamiento del cultivar al riesgo de Eh o Dh, las precipitaciones promedio para las distintas zonas y los tipos de suelo, parece bastante razonable que quienes tengan que sembrar en Durazno o Rocha, en relación a quienes siembren en el Litoral Oeste, deberían plantearse si pueden o no sembrar cebada y luego qué cultivares deberían integrar al plan de siembra. La información preliminar generada en el año 2007 (Fig. 6) muestra que existen variedades que difieren drásticamente en su comportamiento frente a condiciones hídricas contrastantes durante el encañado. Esta información coincide ampliamente con la generada a nivel mundial y compilada por Setter y Waters (2002). En base a estos resultados, a partir del año 2008 se completa el programa de trabajo tendiente a conocer el comportamiento frente a condiciones hídricas contrastantes, no solo para cultivares de cebada, sino también para distintos cultivares de trigo.

El trabajo se desarrolla en telados abiertos (para no alterar drásticamente la temperatura), en tubos de 40 cm de profundidad, con plantas nacidas el mismo día, al mismo nivel de competencia entre plantas, equivalente a 200 pl m^{-2}, y cantidad de suelo. Los tratamientos de EH, tanto por Dh como Eh, se instalan durante el encañado, a partir de Zadoks 32-33 y se mantienen por 10 días. Luego se reinstalan las condiciones hídricas similares a las del control, el cual se mantiene hidratado por la base de los tubos, equivalente a una napa ubicada a 40 cm de profundidad. El periodo del ciclo seleccionado considera (frente a la ausencia de información local) la búsqueda de diferencias durante el periodo de cultivo más sensible (Fischer, 1985; Setter y Waters, 2002; Hoffman et al., 2002b), considerando además que esta es la fase del ciclo en donde se pueden esperar mayores diferencias entre cultivares (Gardner y Flood, 1993). El período de estrés de 10 días fue seleccionado en base a las sugerencias de Setter y Beldfor (1990), en cuanto a que hasta los 10 días de anegamiento, los cambios en el suelo son básicamente a nivel de concentración de gases, sin alteraciones profundas en el potencial redox, dinámica del P, S y micronutrientes

y se puede alcanzar rápidamente un agotamiento del agua disponible para el tratamiento de Dh. La respuesta vegetal con esta metodología considera que es altamente probable que en Uruguay puedan ocurrir períodos cortos de alrededor de 10 días tanto de Dh como de Eh en esta fase de los cultivos. La caracterización incluye no sólo la tolerancia durante el período de estrés, sino también las diferencias en capacidad de recuperación (CR) y por tanto la respuesta final del cultivar a la situación de estrés. En la Fig. 7, se presente un diagrama completo de las fases involucradas en la respuesta al EH. El potencial de un cultivar puede disminuir sensiblemente, no sólo porque se presenta como muy susceptible al Dh o Eh durante el periodo de estrés, sino también porque presente una baja capacidad de recuperación pos-estrés cuando las condiciones hídricas se restablecen. El mejor comportamiento de un cultivar será el que combina baja susceptibilidad o elevada tolerancia al estrés (en la etapa 1) y alta CR en la etapa 2.

En base a esta primera información de dos años, para el cultivo de cebada en Uruguay (considerando que el nivel de repetibilidad fue de 83 % entre años), podemos decir que muchos de los cultivares sembrados o a sembrarse no son iguales frente a condiciones de estrés por exceso o déficit durante el encañado. Esto haría viable el desarrollo de estrategias de siembra que consideren a los cultivares, no solo por su potencial, calidad de grano, comportamiento sanitario, o adaptación diferencial a condiciones térmicas contrastantes, sino también por su comportamiento frente al estrés hídrico. En la siguiente figura se presenta el comportamiento de los distintos cultivares de cebada cervecera evaluados durante el 2007 y 2008.

Entre 2007 y 2008, se cambió el cultivar de cebada FNC 6-1 (testigo del programa de caracterización) porque hoy ya no es sembrado en Uruguay. El mismo fue reemplazado por el cultivar Norteña Carumbé, conocido por sus problemas de susceptibilidad al anegamiento observados a nivel de chacra durante el año 2007. Este comportamiento puede verse ratificado en la Fig. 8, así como el comportamiento observado en el año 2007 para cultivares extremos como INIA Aromo e INIA Arrayán. En general, también puede apreciarse que los problemas de la mayor parte de los cultivares de cebada están asociados al exceso de agua. Estos resultados coinciden con la extensa revisión realizada por Setter y Waters (2002), de la cual también se puede extraer que en trigo, el Dh genera mayores caídas de potencial que el Eh.

En el año 2008 comenzó la evaluación de 7 cultivares de trigo. Dos de los cultivares más sembrados en Uruguay, Baguette 11 y Biointa 1001 (que surgen de un relevamiento realizado a informantes calificados en 140000 ha de trigo, previsto para la selección de cultivares a evaluar a inicio del 2008) y dos nuevos cultivares de INIA que comienzan a instalarse en los planes de siembra en Uruguay (INIA Don Alberto e INIA Carpintero). Los restantes cultivares fueron INIA Churrinche (testigo del programa de caracterización de cultivares de la Facultad de Agronomía) y dos nuevos cultivares de muy elevado potencial y de ciclos contrastes, Atlax y Nogal (medio corto y medio largo, respectivamente) (Figura 9).

Si bien no son estrictamente comparables los resultados obtenidos en trigo y cebada (aunque fueron experimentos instalados el mismo día, en iguales condiciones e igual metodología), para el trigo se redujo el potencial en 13 y 23 % frente al Eh y Dh, respectivamente. La cebada evidenció una disminución del potencial de rendimiento proporcionalmente mayor frente al Eh en relación al Dh, 31 y 19 %, respectivamente.

Para los 7 cultivares de trigo estudiados en el primer año (2008), la interacción cultivar por condición hídrica resultó ser significativa ($P < 0,03$), permitiendo separar tres comportamientos contrastantes. Dos cultivares con un rango de bienestar hídrico estrecho (INIA Churrinche e INIA Carpintero), dos cultivares con un rango de bienestar hídrico amplio (INIA Don Alberto y Atlax) y tres cultivares con sesgo hacia condiciones de Eh (Biointa 1001, Baguette 11 y Nogal).

Las diferencias de comportamiento frente a condiciones hídricas contrastantes aumentan las evidencias que el manejo indiferenciado del cultivar nos lleva a desajustes que serán mas o menos evidentes según las condiciones ambientales del año o región.

Consideraciones finales

Para las condiciones de producción de trigo y cebada en Uruguay, hay suficientes evidencias que 35 pl m^{-1} es la densidad poblacional que produce los mejores rindes, en particular cuando nos ubicamos en la zona Litoral Norte. Las ventajas son mayores en años con mayor temperatura invernal y cuando los cultivos son sometidos a condiciones de estrés hídrico durante la fase de concreción de potencial. Sin embargo, los rangos de densidad deben ser ajustados para cada cultivar.

Condiciones de estrés hídrico posteriores a Zadoks 32 condicionan fuertemente las posibilidades de alcanzar elevados potenciales de producción. Más allá de las diferencias en cuanto a la respuesta al Dh o Eh entre trigo y cebada, la información recientemente generada en Uruguay muestra que éstas deben ser analizadas para cada cultivar. Poder conocer de antemano el comportamiento de un cultivar a condiciones de Eh o Dh brindaría elementos claves de ajuste en la planificación de siembra por regiones, y en los programas actuales de agricultura por ambientes.

Bibliografía

Burgos J.J. y W.W. Corsi. 1971. Áreas climáticas para el trigo y características bioclimáticas de sus cultivares en Uruguay. CIAAB. EELE. Boletín Técnico 12: 32 p.

Castro A., E. Hoffman y O. Ernst. 1994. Potencial de producción de cebada cervecera. Potencial nacional y limitantes para su superación. Cangüé 1:18-21.

Ernst O. 1990. Efecto de las condiciones climáticas sobre el potencial de producción del trigo. En: Trigo. Cátedra de Cereales y Cultivos Industriales. EEMAC. Facultad de Agronomía. Tomo 1: 35-46

Ernst O. y E. Hoffman. 1991. Análisis comparativo de crecimiento de trigo y cebada y sus efectos en la determinación del rendimiento. En: II Reunión Nacional de Investigadores en cebada cervecera. Colonia. Uruguay. 1991. 138-142 p.

Fisher R.A. 1985. Number of kernels en wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. J. Agric. Sci. Cambridge. 105: 255-267

Fontanetto H., O. Keller, J. Albrect, P. Rufino, J. Borsarelli, M. Sillon, L. Belotti, C. Negro y D. Giailevra. 2009. La importancia del agua edáfica a la siembra como estimador de los rendimientos del trigo en el área central de Santa Fe. Informaciones Agronómicas IPNI. 41:9-10.

Gardner W.K. y R.G. Flood. 1993. Less waterlogging damage with long season wheats. Cereal Res. Comm. 21:337-343

Hoffman E. 2002. Caracterización de cultivares de trigo y cebada. Una herramienta para la toma de decisión en trigo y cebada. Seminario Técnico. EEMAC, Facultad de Agronomía- Paysandú. Versión CDRom.

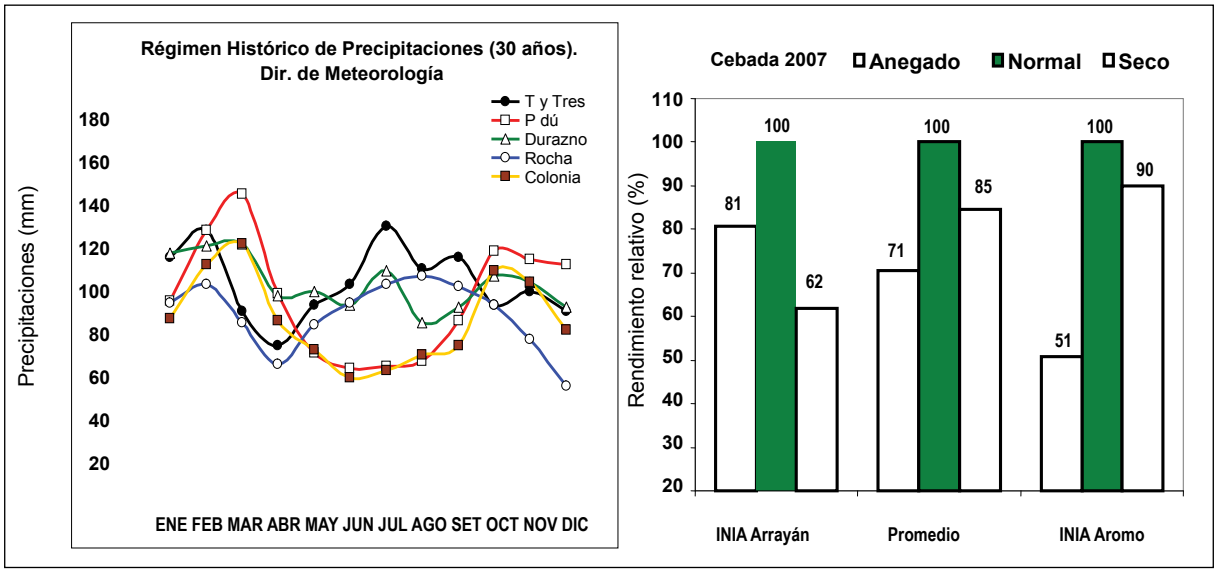


Figura 6. Precipitaciones para distintos departamentos como referencias de diferentes zonas agroecológicas del Uruguay. A: Trabajo MGAP – Agencia Española de cooperación internacional – INIA –FAGRO, Copagran, Empresas de seguros, 2006. B: Cambio relativo de potencial en cebada (libre de enfermedades) para un promedio de 8 cultivares y dos cultivares de comportamiento opuesto frente al estrés hídrico (Hoffman et al., 2008).

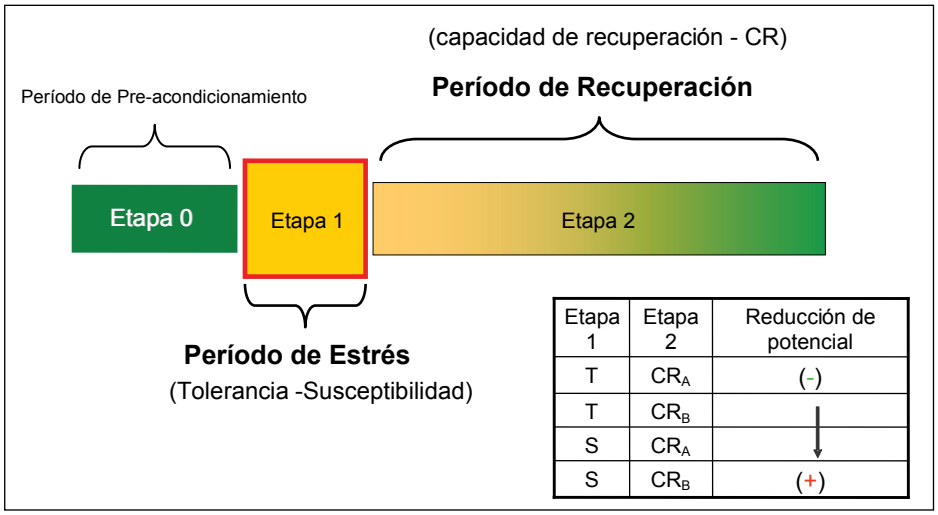


Figura 7. Diagrama de las etapas relacionadas con la respuesta vegetal al estrés hídrico de un cultivar, durante 10 días a partir de Zadoks 32-33. (Proyecto: Susceptibilidad varietal al estrés hídrico – Facultad de Agronomía).

Hoffman E. y O. Ernst. 1990. Efecto de la competencia por luz, sobre el rendimiento en trigo. En II. Congreso Nacional en trigo (AIAMBA). Pergamino Argentina.

Hoffman E. y O. Ernst. 2000. Densidad de siembra en trigo ¿Qué pasa con la siembra en banda? Cangüé 17:4-8.

Hoffman E., O. Ernst y M. Martin. 1991. Efecto de la defoliación sobre el rendimiento en grano y calidad industrial de cebada cervecera. En: 2ª Reunión nacional de investigadores de cebada. Colonia. Uruguay.

Hoffman E., O. Ernst, D. Brassetti, A. Espasandin y G. Siri. 1992a. Respuesta de dos variedades de cebada cervecera al espacio disponible por planta. En: III Reunión nacional de investigadores de cebada. Minas. Uruguay.

Hoffman E. O. Ernst, D. Brassetti, G. Siri y A. Espasandin. 1992b. Modificación por manejo de la curva de crecimiento, su influencia sobre rendimiento, componentes y calidad industrial de cebada cervecera. En: III Reunión nacional de investigadores de cebada. Minas. Uruguay.

Hoffman E., G. Siri y O. Ernst. 1994. Posibilidades de predecir el comportamiento de los nuevos cultivares en función de la caracterización de su crecimiento inicial en condiciones de invernáculo. En: V. Reunión de Investigadores de cebada cervecera, Colonia.

Hoffman E., E. Borghi, A. Castro, N. Olivo, S. Gonzales y L. Viega. 2002b. Definición y concreción del potencial de rendimiento de cebada cervecera en ambientes sin limitantes hídricas y de nitrógeno en primavera. En: Reunión Latinoamericana de Fisiología Vegetal - Congreso Uruguayo de Fisiología Vegetal. Punta del Este. Uruguay.

Hoffman E., A. Castro, A. Benítez y M. Cadenazzi. 2007. Sincronización del macollaje y su relación con el número de espigas y rendimiento para distintos cultivares de cebada cervecera en Uruguay. En: Reunión de Investigadores de Cebada cervecera, Paysandú.

Hoffman E., L. Viega, N. Glison, P. Mesa, R. Fernandez y M. Cadenazzi. 2008. Evaluación del estrés hídrico durante el encañado, en distintos cultivares de cebada cervecera. 2007. Informe técnico a Mesa Nacional de la Cebada. 6p.

Hoffman E., R. Fernandez, A. Baeten y M. Cadenazzi. 2009. Caracterización de cultivares de trigo. Segundo año. Biointa 1002, Biointa 3000, Baguette 11 y Baguette 13, Primer año. Nogal, Baguette 9, Baguette 19, Atlax y Centauro. En: XI Jornada de la Mesa Nacional de Trigo (MNT). Mercedes. 27p.

Hoffman E. y A. Baeten. 2009. Caracterización de cultivares de cebada cervecera. Segundo ciclo de: MOSA 59531 y Madi (Ac 92). Primer ciclo de: Ambev 4, Ambev 31 y Ambev 82 In. Informe técnico a Malterías. 20 p.

Molfino J.H. y A. Califra. 2004a. Evaluación del drenaje natural de las tierras del Uruguay (Primera aproximación). Departamento Estudios Básicos de Suelos y Evaluación de Tierras DSA/RENARE/MGAP.

Molfino J.H. y A. Califra. 2004b. Evaluación del almacenaje natural de las tierras del Uruguay (Primera aproximación). Departamento Estudios Básicos de Suelos y Evaluación de Tierras DSA/RENARE/MGAP.

Setter T.L. y R. Belford. 1990. Waterlogging- how it reduces plant growth and how plants can overcome its effects. Journal of Agriculture-Western Australia 31:51-55

Setter T.L. e I. Waters. 2002 Review of prospects for germplasm improvement for waterlogging tolerance in wheat, barley and oats. Plant and Soil 253:1-34

Zadoks J.C., T.T. Chang y C.F. 1974. A decimal for the growth stage of Cereals. Weed Res. 14: 415-421.

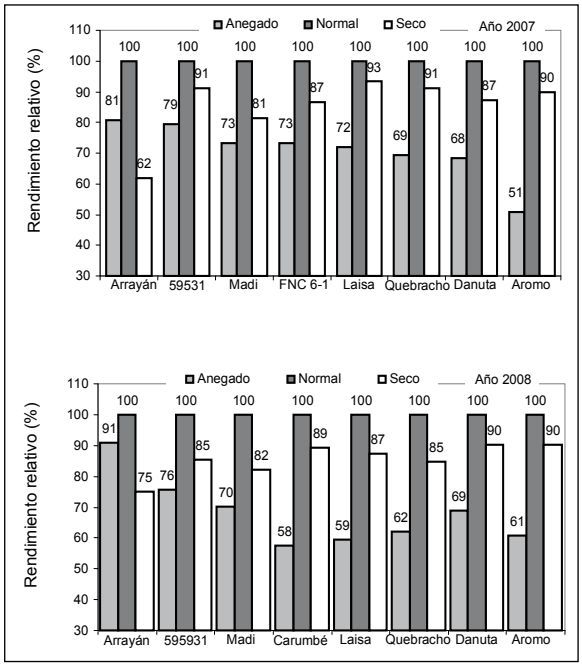


Figura 8. Rendimiento relativo por planta para distintos cultivares de cebada cervecera bajo condiciones de estrés hídrico contrastantes durante el encañado en los años 2007 y 2008 (Proyecto: Susceptibilidad varietal al estrés hídrico. Facultad de Agronomía).

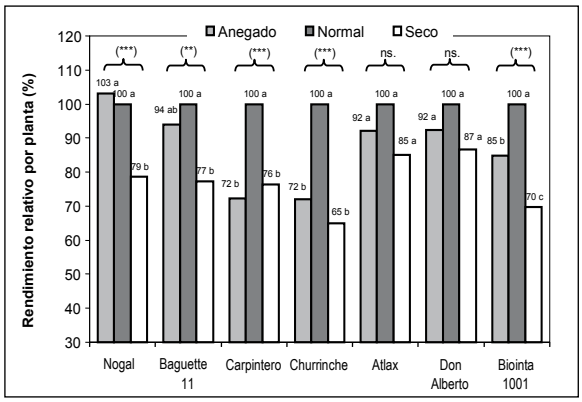


Figura 9. Rendimiento relativo por planta para condiciones de estrés hídrico contrastantes durante el encañado para distintos cultivares de trigo, en el año 2008. (Proyecto: Susceptibilidad varietal al estrés hídrico. Facultad de Agronomía).

Efectos de diferentes estrategias de fertilización sobre los rendimientos, el balance de nutrientes y su disponibilidad en los suelos

Gustavo N. Ferraris[1], Lucrecia Couretot[1], Mirta Toribio[2] y Ricardo Falconi[3]
[1]Area Desarrollo Rural EEA INTA Pergamino, [2]Profertil S.A., [3]El Ceibo Cereales S.A.
nferraris@pergamino.inta.gov.ar

Introducción

El nitrógeno (N) es el principal elemento requerido para la producción de los cultivos de grano en la Región Pampeana Argentina. Deficiencias de este elemento reducen la expansión foliar, provocan su prematura senescencia y afectan la tasa fotosintética, dando como resultado una menor producción de materia seca y rendimiento. Por otra parte, la disponibilidad de N afecta su concentración en el grano, interviniendo en la determinación del contenido proteico, parámetro principal para definir la calidad comercial. La incidencia del N sobre los dos factores, rendimiento y contenido de proteína, hacen que su manejo sea estratégico para la producción de todos los cultivos.

Las estrategias de fertilización con fósforo (P) implementadas en Argentina han determinado un balance negativo por el retiro de cantidades importantes con los granos que no son repuestas al sistema. Por este motivo, desde principios de la década del 80, la disponibilidad de este nutriente en suelos de la región originalmente bien provistos, ha disminuido marcadamente y, como consecuencia, en los últimos años aumentó el uso de fertilizantes fosforados.

El diseño de estrategias que contemplen la reposición de las cantidades de nutrientes exportadas con los granos es prioritario, así como la restitución paulatina mediante fertilización cuando los niveles se encuentren por debajo de los umbrales críticos sugeridos. Las rotaciones de doble cultivo con inclusión de cereales de invierno brindan una buena oportunidad para la implementación de estrategias de reposición de nutrientes, ya que su elevado potencial productivo con frecuencia permite obtener un diferencial de respuesta que compensa la mayor inversión en fertilización.

Las respuestas al agregado de azufre (S) en cultivos de maíz en el sur de Santa Fe y norte de Buenos Aires se han vuelto más frecuentes en las últimas campañas (Fontanetto, 2004; Salvagiotti et al., 2004; Martinez y Cordone, 2005; Ferraris et al., 2005), por lo que la fertilización con este nutriente es habitual en lotes de alta producción.

Las situaciones de baja disponibilidad de N, P y S no ocurren de manera aislada, sino que se combinan de diversas maneras, por lo que es necesario evaluar la respuesta a la fertilización y conocer los cambios de los niveles de nutrientes en los suelos de manera conjunta.

Con el propósito de estudiar la evolución de los rendimientos en el tiempo, el balance de nutrientes y las propiedades químicas del suelo, se diseñó un ensayo de estrategias de fertilización en la secuencia maíz-soja-trigo/soja-cebada/soja. El proyecto se inició en la campaña 2006/07, siendo maíz el primer cultivo implantado, seguido de soja en el ciclo 2007/08 y trigo/soja en 2008/09. Los objetivos planteados durante el tercer año fueron 1. Determinar la evolución de los niveles de N, P, S, MO y pH del suelo de acuerdo con las estrategias de fertilización y los rendimientos obtenidos en los cultivos previos, 2. Evaluar el efecto de diferentes estrategias de fertilización sobre el rendimiento y la calidad de trigo, y sus efectos residuales en soja de segunda, 3. Cuantificar y valorizar el balance de nutrientes luego de cuatro cultivos, y 4. Realizar una evaluación económica integrando toda la secuencia.

Materiales y métodos

El ensayo es conducido en la localidad de Arribeños, partido de General Arenales y se mantendrá por un plazo mínimo de cuatro años, abarcando una rotación maíz- soja – trigo/soja de 2da. – cebada/soja de 2da. Los tratamientos se plantearon en un diseño en bloques al azar, con cuatro repeticiones (Tabla 1).

En el ciclo 2008-09, las variedades sembradas de trigo fueron Baguette 11 Premium y de soja de segunda Nidera 4613 RG. Los fertilizantes fueron agregados a la siembra del primer cultivo (trigo), contemplando las necesidades de la rotación trigo-soja. Las dosis de fertilizante aplicado se presentan en la Tabla 1.

Los fertilizantes nitrogenados, fosforados y azufrados se aplicaron al voleo al momento de la siembra del cultivo de trigo. Como fuentes se utilizaron urea granulada (46-0-0), superfosfato triple de calcio (SFT, 0-20-0) y sulfato de calcio (SC, 0-0-0-18S).

Determinaciones realizadas

En el suelo

Previo a la siembra, se extrajo una muestra compuesta (0-20 cm) de cada parcela en cada uno de los bloques, y sobre ella se determinó el pH y los contenidos de materia orgánica (MO), P disponible (Bray I), N total, N-nitratos y S-sulfatos.

En el cultivo

A cosecha se evaluó el rendimiento y sus componentes, número y peso de los granos. En una muestra de grano de cada parcela se cuantificó el contenido de N, P y S. Con los datos de rendimiento, concentración de nutrientes en grano y dosis aplicada de los mismos se realizó un balance de nutrientes.

Resultados y discusión

Breve descripción de los resultados de años anteriores

A. Primer año de ensayos. Rendimientos de maíz y su efecto sobre el balance de nutrientes y las propiedades químicas del suelo

Se determinaron diferencias significativas entre tratamientos para los rendimientos del cultivo de maíz implantado durante la campaña 2006-07 ($P<0,001$; Figura 1). Los tratamientos de máxima dosis de N alcanzaron los mayores niveles de productividad, no difiriendo significativamente entre sí (Figura 1). Mayor información sobre los resultados de esta campaña 2006/07 están disponibles en Ferraris et al. (2008).

A partir de las dosis de NPS agregadas y la extracción de nutrientes cuantificada en base a los rendimientos y

la concentración de los distintos elementos en grano, se puede establecer el balance de nutrientes (Tabla 2).
Luego de la cosecha de maíz y previo a la siembra de soja, se realizó un análisis completo de suelo por parcela, cuyos datos en promedio se consignan en la Tabla 3.
El P es el nutriente que es más fácilmente cuantificable en cuanto a cambios en su concentración asociados a procesos de ganancia o empobrecimiento en el suelo. Luego de un año del ensayo, los tratamientos de reposición (T3, T4, T5) presentaron un mayor nivel de P en el suelo con relación a los tratamientos de suficiencia. Los rendimientos no se asociaron al nivel de N, S, pH y MO a la cosecha del ensayo (datos no presentados).
Se logró ajustar una relación entre el nivel de P disponible (Bray 1, 0-20 cm) y el balance de P generado en los diversos tratamientos (Figura 2). La inversa de la pendiente de este modelo representa la dosis de P necesaria para elevar la disponibilidad del nutriente en una unidad. Conforme a la función ajustada, sería necesario agregar 10.7 kg P ha^{-1} para incrementar el nivel en el suelo en 1 mg P kg^{-1}.

B. Segundo año de experimentación. Soja de Primera. Campaña 2007/08

En el cultivo de soja, las estrategias de fertilización determinaron diferencias significativas en los rendimientos ($P<0.001$; CV= 6.1 %). El tratamiento de máxima (T5, reconstrucción de P) superó significativamente al resto de los tratamientos fertilizados y, a la vez, éstos superaron al testigo (Figura 3).
El rendimiento de soja del tratamiento con máxima fertilización superó al testigo en un 29%; porcentaje menor al logrado por el rendimiento de maíz con máxima fertilización con respecto al testigo (49%). La respuesta medida en soja superó la magnitud de los incrementos medios directos (es decir, en ensayos de un año que no consideran efectos residuales) observados en la región. Las diferencias en soja serían atribuibles al efecto residual y directo del P y S aportados al antecesor maíz y a la soja del presente año, respectivamente. A la vez, es esperable una mejora en las propiedades físicas y biológicas en los tratamientos de mayores aportes de nutrientes, así como un incremento en la adquisición de otros nutrientes no monitoreados en esta experiencia, como consecuencia de los mayores niveles de crecimiento aéreo y radicular, y el superior aporte de residuos derivados de un tratamiento con mayores rendimientos.
Con los datos de concentración de nutriente en grano, rendimientos y dosis aplicada de cada nutriente es posible conocer el balance para cada tratamiento (Tabla 4). El balance de N fue negativo para todas las estrategias, si no se considera el aporte por fijación biológica (FBN). Aún ponderando los ingresos vía este mecanismo, difícilmente podría ser compensada la extracción de N. En S, los tratamientos testigo y de mínima reflejaron un balance negativo (T1, T2), mientras que aquellos que preveían la reposición sobreestimaron la extracción del nutriente dando como resultado un balance positivo (T3, T4, T5). En el caso de P, tal la tendencia esperada, el

Tabla 1. Tratamientos y dosis (kg ha^{-1}) de nitrógeno, fósforo y azufre aplicados en trigo para la secuencia trigo-soja. Estrategias de fertilización en una secuencia de cultivos, Arribeños, General Arenales. Campaña 2008/09, tercer año de ensayos.

Criterio de fertilización		Nitrógeno (N)	Fósforo (P)	Azufre (S)	Urea (46-0-0)	SPT (0-20-0)	SC (0-0-0-18S)
		kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
T1	Testigo sin fertilización	0 + 0#	0 + 0	0 + 0	0 + 0	0 + 0	0 + 0
T2	Tecnología Uso Actual	46 + 0	16 + 0	0 + 0	100 + 0	80 + 0	0 + 0
T3	Reposición PS Rendimiento objetivo medio	78 + 0	16 + 15	7 + 8	169 + 0	80 + 77	38 + 45
T4	Reposición PS Rendimiento objetivo alto	103 + 0	20 + 22	9 + 11	223 + 0	100 + 108	47 + 63
T5	Reposición S Reconstrucción P Rendimiento objetivo alto	103 + 0	36 + 22	9 + 11	223 + 0	180 + 108	47 + 63

El primer número indica la dosis para trigo y el segundo indica la dosis para soja.

Tabla 2. Balance de nitrógeno, fósforo y azufre (kg ha^{-1}) para los diferentes tratamientos en el primer año de ensayo. Los datos de rendimiento y concentración de nutrientes en grano de maíz fueron ajustados a 13 % de humedad.

Tratamiento		Agregado (kg ha^{-1})			Extracción (kg ha^{-1})			Balance (kg ha^{-1})		
		N	P	S	N	P	S	N	P	S
T1	Testigo	0	0	0	82	23	6.5	-81.9	-22.7	-6.5
T2	TUA	46	16	46	102	27	6.4	-56.2	-10.9	-6.4
T3	PS rep - N diag 10 t	69	30	69	115	26	8.3	-46.3	3.6	9.7
T4	PS rep - N diag 12 t	89	36	89	138	28	9.1	-49	8.3	12.9
T5	PS reconstr - N diag 12 t	89	52	89	154	34	9.7	-65.2	18.4	12.3

Tabla 3. Análisis de suelo (0-20 cm) luego de la cosecha de maíz y previo a la siembra de soja (julio 2007). Los datos son el promedio de cuatro repeticiones.

Tratamiento	MO (%)	pH	N total (%)	$N\text{-}NO_3$ (mg kg^{-1})	P (mg kg^{-1})	$S\text{-}SO_4$ (mg kg^{-1})
T1	2.66	5.8	0.133	5.6	7.6	9.6
T2	2.64	5.6	0.133	6.7	7.8	9.1
T3	2.83	5.7	0.142	7	11.2	8.2
T4	2.72	5.6	0.136	6.2	10.4	9.4
T5	2.53	5.6	0.127	9.2	10.5	10

balance fue muy negativo para T1 (testigo), ligeramente negativo en T2, próximo a la neutralidad en T3 y T4 y marcadamente positivo en el tratamiento de reconstrucción, T5 (Tabla 4). Si el balance de P se relaciona con la disponibilidad de este elemento determinada en el suelo a cosecha (Tabla 5), se puede medir la tasa de cambio en función de la extracción o reposición del nutriente luego de dos años. La inversa de la pendiente que relaciona estos parámetros indica la dosis de P que es necesario agregar para variar en 1 mg kg^{-1} la disponibilidad del nutriente en el suelo. De acuerdo con este análisis, por cada 9.9 kg P ha^{-1} de diferencia entre el agregado y extraído, el nivel de P en suelo cambiaría en una unidad (Figura 4). Esta tasa de cambio, observada luego de dos años, no difiere demasiado del valor registrado para el primer año (Figura 2).

Campaña de trigo/soja 2008/09

Caracterización agroclimática de la campaña

El ciclo 2008-09 se caracterizó por presentar escasas precipitaciones, temperaturas y evapotranspiración potencial (ETP) elevadas, así como baja humedad relativa. Las precipitaciones sumaron 240 mm en el periodo julio-noviembre 2008 y 283 mm en el periodo diciembre 2008-marzo 2009. Sumado a una reducida reserva hídrica inicial, este panorama climático determinó condiciones de sequía permanente en ambos cultivos. Las altas temperaturas provocaron además arrebato y un corto periodo de llenado en trigo, lo que deprimió los rendimientos y provocó altas concentraciones de proteína en grano. En soja, la madurez fue desuniforme, el peso de los granos bajo, y la calidad comercial fue muy afectada.

Rendimientos, balance de nutrientes y cambios en la disponibilidad de P en suelo

A pesar de las condiciones ambientales desfavorables, se cuantificaron diferencias significativas en los rendimientos de trigo ($P<0.001$; CV= 7%) (Figura 5). Dado que la eficiencia de uso de N (EUN) para rendimiento fue baja, de lo cual da cuenta el alto contenido de proteína, los efectos residuales de los nutrientes agregados en los dos años previos habrían sido un factor relevante en la diferencia de rendimiento entre tratamientos. Otra causa del contraste en los rendimientos sería el mayor aporte de residuos en los mejores tratamientos durante los años anteriores, lo que ayudó a conservar la humedad y disminuir la temperatura en el suelo durante las etapas más críticas del cultivo. Es decir, más que una respuesta directa a la fertilización, es probable que factores químicos, físicos y biológicos hayan interactuado para crear un ambiente de mejor crecimiento en los tratamientos con mejor historia de fertilización y rendimiento, contribuyendo a mitigar el estrés hídrico al que se vio sometido el cultivo. Similar reflexión cabría para el comportamiento de la soja de segunda (Figura 6), cultivo en el cual a pesar de los bajos rendimientos, se observaron igualmente diferencias significativas entre tratamientos ($P=0.005$; CV=19.6%).

La productividad acumulada de la secuencia de cultivos acompañó la tendencia de dosis e inversión en fertilizantes (Figura 7), incrementando los rendimientos en forma sistemática. Aún la estrategia de recomposición de P, proyectada para mejorar los niveles del nutriente y los rendimientos del cultivo en el mediano y largo plazo, mostró en este breve ciclo analizado una diferenciación con relación a la estrategia anterior.

Los diferentes tratamientos generaron balances de nu-

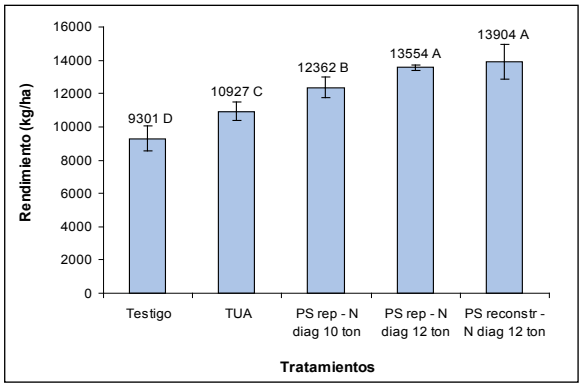


Figura 1. Rendimiento de grano de diferentes estrategias de fertilización aplicadas en maíz. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($\alpha=0.05$). Las barras verticales representan el desvío estándar de la media. Ensayo de estrategias de fertilización en una secuencia de cultivos. Primer año. Arribeños, General Arenales. Campaña 2006/07 (Ferraris et al., 2008).

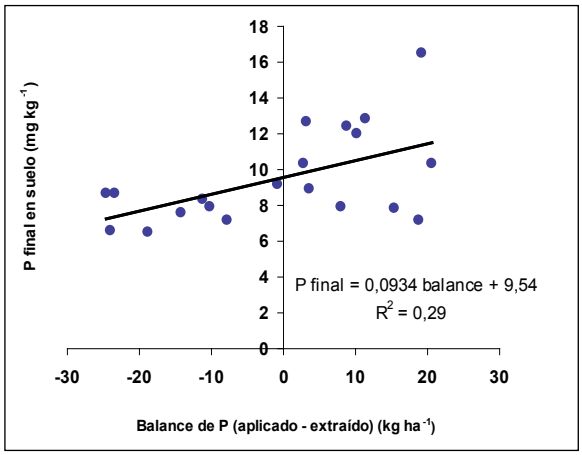


Figura 2. Relación entre el nivel de P en suelo a cosecha (mg kg^{-1}) y el balance de P (aplicado-extraído en kg ha^{-1}) determinado en cada tratamiento. Campaña 2006-07, primer ciclo de cultivo.

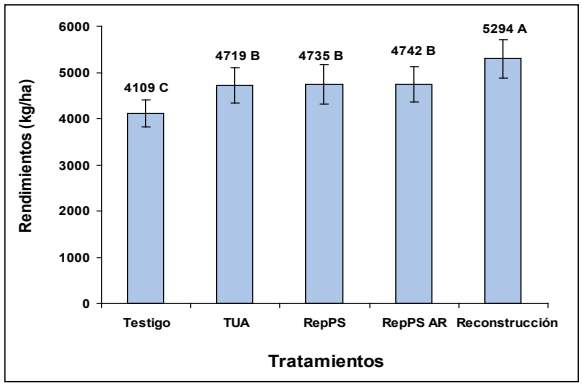


Figura 3. Rendimiento de soja como resultado de diferentes estrategias de fertilización. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($\alpha=0.05$). Las barras verticales representan el desvío estándar de la media. Ensayo de estrategias de fertilización en una secuencia de cultivos. Segundo año de experimentación. Arribeños, General Arenales. Campaña 2007/08.

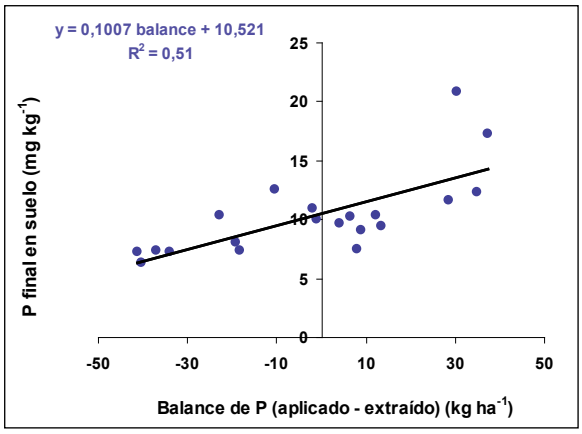


Figura 4. Relación entre el nivel de P en suelo a cosecha (mg kg^{-1}) luego de dos años –secuencia maíz-soja- y el balance de P (aplicado-extraído en kg ha^{-1}) determinado en cada tratamiento. Campaña 2007-08, segundo ciclo de cultivo.

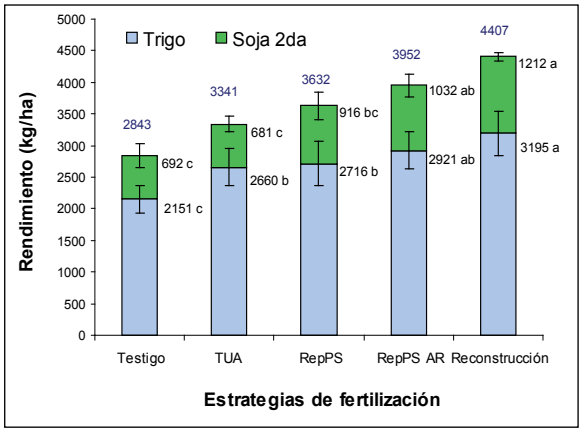


Figura 6. Rendimiento (kg ha^{-1}) de grano de trigo y soja de segunda por la implementación de diferentes estrategias de fertilización en una secuencia de cultivos. Dentro de cada cultivo, letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos (α=0.05). Las barras verticales representan el desvío estándar de la media. Ensayo de estrategias de fertilización en una secuencia de cultivos. Tercer año de experimentación. Arribeños, General Arenales. Campaña 2008/09.

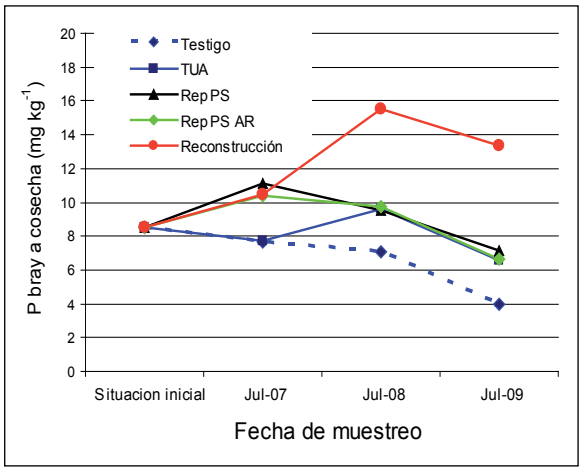


Figura 8. Evolución del P disponible en suelo (Bray-1, 0-20 cm) luego de tres campañas y cuatro cultivos. Los valores presentados son el promedio de cuatro repeticiones.

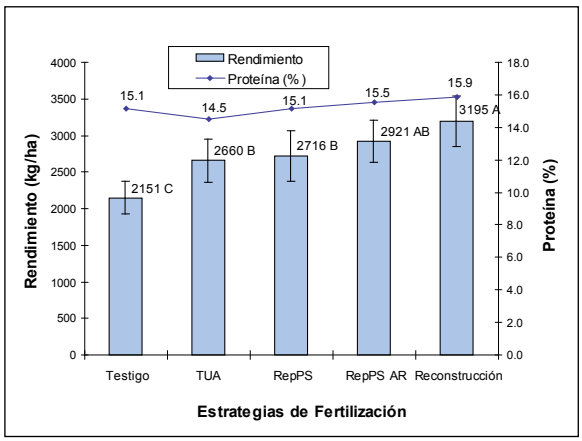


Figura 5. Rendimiento (kg ha^{-1}) y concentración de proteína (%) en grano de trigo como resultado de diferentes estrategias de fertilización. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos (α=0.05). Las barras verticales representan el desvío estándar de la media. Ensayo de estrategias de fertilización en una secuencia de cultivos. Tercer año de experimentación. Arribeños, General Arenales. Campaña 2008/09.

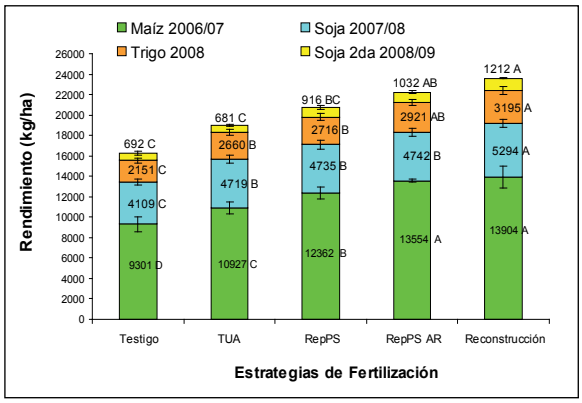


Figura 7. Producción media (kg ha^{-1}) por cultivo acumulada en una secuencia maíz – soja – trigo/soja de diferentes estrategias de fertilización. Dentro de cada cultivo, letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos (α=0.05). Las barras verticales representan el desvío estándar de la media. Arribeños, General Arenales. Campaña 2008/09.

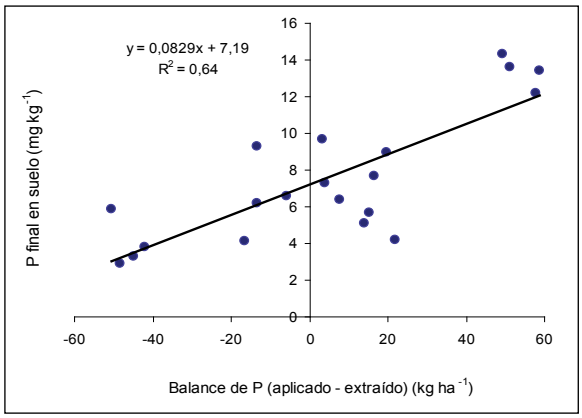


Figura 9. Relación entre el nivel de P en suelo a cosecha (mg kg^{-1}, 0-20 cm) y el balance de P (aplicado-extraído en kg ha^{-1}) utilizando los valores provenientes de cada parcela, luego de tres campañas –cuatro cultivos-. Arribeños, General Arenales, julio de 2009.

trientes más favorables con relación a los años anteriores, producto de un rendimiento observado menor al estimado al diseñar las estrategias (Tabla 7). El balance fue negativo para N si no se contemplan los aportes por FBN. En el caso de S, las estrategias confirmaron la tendencia observada en años previos de balance negativo en T1 y T2, y positivo en T3, T4 y T5. Para el caso de P, solo el testigo reflejó un balance negativo, dada la escasa extracción realizada por los cultivos durante esta campaña.

Luego de la cosecha de soja y previo a la siembra de trigo, se realizó un análisis completo de suelo por parcela, cuyos datos promediados se consignan en la Tabla 8. Es curioso observar como, después de un año de escasos aportes de residuos y modesta extracción de P, los valores de materia orgánica aumentan (Tablas 5 y 8) y los de este nutriente disminuyen (Tablas 5 y 7, Figura 8) con relación a la campaña precedente. Como hipótesis podría sugerirse una menor mineralización de la fracción orgánica, motivada por un otoño e invierno con bajas temperaturas y muy escasas precipitaciones. La reducción en la disponibilidad de S-sulfatos para esta campaña apoyaría este razonamiento. Es posible que un menor aporte por mineralización fuera la causa de la reducción en el nivel de P en todos los tratamientos, si bien el P orgánico no es una fuente de abastecimiento importante en suelos con larga historia agrícola en la región noroeste de Buenos Aires.

Después de tres secuencias y cuatro cultivos, la relación entre la disponibilidad final de P y el balance acumulado en cada parcela permite presentar una medida de la tasa de cambio del nutriente en el mediano plazo, sugerir qué dosis es necesario agregar para recomponer la disponibilidad del nutriente a un nivel que se fije como objetivo, y servir de base como criterio de recomendación. La inversa de la pendiente de esta relación sugiere la tasa de cambio. La dosis que surge como necesaria para incrementar la disponibilidad de P en 1 mg kg^{-1} después del ciclo 2008/09 alcanza a 12 kg P y es mayor a la propuesta en años anteriores (10.7 y 9.9 kg P para los registros de 2007 y 2008 luego de uno y dos años de ensayo, respectivamente) producto de un bajo nivel final de P en un año de balance positivo para la mayoría de las estrategias (Figura 9).

Análisis económico

En la Tabla 8 se presentan los aportes de nutrientes realizados en cada estrategia. A su vez, se analiza la diferencia de rendimiento, su valoración económica y el costo adicional de pasar a una estrategia mejorada con relación a la anterior (i.e. T2 vs T1, T3 vs T2 y así sucesivamente), lo mismo que el beneficio o perjuicio económico que origina este incremento en la fertilización. En maíz, incrementar la fertilización mejoró el resultado económico para todas las estrategias. En soja de primera y el trigo posterior, los tratamientos T2 y T5 aumentaron la rentabilidad con relación a la estrategia precedente. Por su parte, en soja de segunda T3, T4 y T5 incrementaron la rentabilidad con relación al tratamiento anterior. Como resumen de toda la secuencia, mejorar la estrategia de fertilización otorgó un beneficio marginal, siendo los tratamientos más destacados T2 y sorprendentemente, la estrategia de reconstrucción de P (T5), favorecidos en ambos casos por el excelente resultado obtenido en el cultivo de soja

Tabla 4. Balance de nitrógeno, fósforo y azufre (kg ha^{-1}) para los diferentes tratamientos en el segundo año de ensayo. Los datos de rendimiento y concentración de nutrientes en grano fueron ajustados a 13 % de humedad.

Tratamiento		Agregado (kg ha^{-1})			Extracción (kg ha^{-1})			Balance (kg ha^{-1})		
		N	P	S	N	P	S	N	P	S
T1	Testigo	0	0	0	238	15.4	5.8	-238	-15.4	-5.8
T2	TUA	0	16	0	271	22.8	6	-271	-6.8	-6
T3	PS rep - N diag 10 t	0	22	12	279	23.3	7.5	-279	-1.3	4.5
T4	PS rep - N diag 12 t	0	26	15	272	24.2	7.8	-272	1.8	7.2
T5	PS reconstr - N diag 12 t	0	42	15	306	27.8	8.3	-306	14.2	6.7

Tabla 5. Análisis de suelo (0-20 cm) luego de la cosecha de soja y previo a la siembra de trigo (julio 2008). Los datos son promedio de cuatro repeticiones.

Tratamiento	MO (%)	pH	N total (%)	$N\text{-}NO_3$ 0-40 cm (kg ha^{-1})	P (mg kg^{-1})	$S\text{-}SO_4$ (mg kg^{-1})
T1	2.39	5.7	0.12	42.9	7.1	9.8
T2	2.27	5.6	0.114	39.5	9.6	9.1
T3	2.39	5.5	0.12	40.4	9.6	10.1
T4	2.25	5.6	0.113	43.8	9.8	10.7
T5	2.17	5.6	0.109	36.5	15.5	10.6

Tabla 6. Balance de nitrógeno, fósforo y azufre (kg ha^{-1}) para los diferentes tratamientos en el tercer año de ensayo. Los nutrientes fueron aplicados a la siembra de trigo, pero contemplan las necesidades del doble cultivo. La extracción surge de contabilizar las cantidades removidas por el doble cultivo trigo-soja. Los datos de rendimiento y concentración de nutrientes en grano fueron ajustados a 13 % de humedad.

Tratamiento		Agregado (kg ha^{-1})			Extracción (kg ha^{-1})			Balance (kg ha^{-1})		
		N	P	S	N	P	S	N	P	S
T1	Testigo	0	0	0	84.9	8.3	4.1	-82.6	-8.1	-4.2
T2	TUA	46	16	0	93.1	10.6	4.6	-29.1	6.4	-4.2
T3	PS rep - N diag 10 ton	78	31	15	109.5	11.1	5.6	-9.3	20.6	10
T4	PS rep - N diag 12 ton	103	42	20	122.6	11.9	6	-18.9	29.3	13.8
T5	PS reconstr - N diag 12 ton	103	58	20	141.5	14.6	7.2	-20	45.5	13.9

(Figura 3). T3 y T4 mostraron su mejor performance en maíz lo cual se trasladó a toda la secuencia.
Estos resultados evidencian cómo el maíz es un cultivo apropiado para incrementar las dosis de fertilizante con el objetivo de mejorar la fertilidad, ya que es probable obtener una consecuente mejora en los rendimientos que permita pagar los mayores costos de fertilización. Como atenuante cabe acotar que la siembra de maíz se correspondió con una excelente campaña climática, en contraste con la sequía que afectó a la secuencia trigo/soja, siendo ésta la rotación alternativa al maíz con alta demanda de nutrientes y fuerte expectativa de respuesta a la fertilización.

Consideraciones finales

* Las estrategias de fertilización impactaron en los rendimientos, modificaron el balance de nutrientes y se correlacionaron con los niveles finales de P en suelo.
* Estrategias de suficiencia, reposición o reconstrucción de P generaron cambios previsibles en su disponibilidad en el suelo. Luego de tres años de experimentación, la tasa de cambio fue de 1 mg kg^{-1} de P Bray (0-20 cm) por cada 12 kg P ha^{-1} de diferencia entre agregado y extracción. Este valor es superior con relación al observado a la cosecha de los cultivos precedentes, después de uno (10.7 kg P ha^{-1}) o dos (9.9 kg P ha^{-1}) años de experimentación.
* El incremento en las dosis de fertilización como resultado de pasar a una estrategia superior en todos los casos mejoró la rentabilidad de la secuencia analizada globalmente. El cultivo de maíz lideró esta tendencia, apareciendo como el cultivo más apropiado para mejorar la estrategia de fertilización con el objetivo de mejorar la fertilidad. De acuerdo con los resultados obtenidos, es factible obtener un incremento en los rendimientos de maíz que permita amortizar los mayores costos de fertilización.

Agradecimientos

A Profertil S.A. por la financiación de esta investigación y a El Ceibo Cereales (Arribeños, Buenos Aires) por prestar un campo de su propiedad para la realización de este ensayo de larga duración.

Referencias

Martinez F. y G. Cordone. 2005. Avances en el manejo de la fertilización de cultivos y fertilidad de suelos en el sur de Santa Fe. Simposio "Fertilidad 2005: Nutrición, Producción y Ambiente". Rosario, 27-28 Abril. INPOFOS Cono Sur-Fertilizar A.C. pp. 3-11.

Ferraris G., L. Couretot, M. Toribio y R. Falconi. 2008. Efecto de diferentes estrategias de fertilización sobre el rendimiento de maíz y el balance de nutrientes en el noroeste de la Provincia de Buenos Aires Campaña 2006/07. Informaciones Agronomicas 37:20-22.

Ferraris G., F. Gutierrez Boem, P. Prystupa, F. Salvagiotti, L. Couretot y D. Dignani. 2005. Fertilización azufrada en maíz. Actas VIII Congreso Argentino de Maíz. Rosario, Sante Fe, Argentina.

Fontanetto H. 2004. Nutrición de los cultivos y manejo de la fertilidad del suelo en la región central de Santa Fe. *En*: Actas Fertilidad de Suelos para una Agricultura Sustentable. INPOFOS Cono Sur. Pag. 19-25.

Salvagiotti F., G. Gerster, S. Bacigaluppo, J. Castellarín, C. Galarza, N. González, V. Gudelj, O. Novello, H. Pedrol y P. Vallote. 2004. Efectos residuales y directos de fósforo y azufre en el rendimiento de soja de segunda. Ciencia del Suelo 22:92-101. ■

Tabla 8. Dosis de nitrógeno, fósforo y azufre aplicados en diferentes estrategias de fertilización en una secuencia maíz – soja – trigo/soja. Para cada cultivo se analiza, con relación a la estrategia inmediata precedente, el incremento marginal de rendimiento, costo e ingreso marginal de la fertilización y el resultado económico de esta comparación. La descripción de las estrategias fue presentada en la Tabla 1.

	Estrategias de Fertilización				
	T1	T2	T3	T4	T5
	Maíz				
Dosis N (kg ha^{-1})	0	46	69	89	89
Dosis P (kg ha^{-1})	0	16	30	36	52
Dosis S (kg ha^{-1})	0	0	18	22	22
Δ Rendimiento		1626	1435	1192	350
Costo Marginal ($ ha^{-1})		279	243	127	121
Ingreso Marginal ($ ha^{-1})		707	624	519	152
Resultado ($ ha^{-1})		428	382	392	31
	Soja Primera				
Dosis N (kg ha^{-1})	0	0	0	0	0
Dosis P (kg ha^{-1})	0	16	22	26	42
Dosis S (kg ha^{-1})	0	0	12	15	15
Δ Rendimiento		609	16	7	553
Costo Marginal ($ ha^{-1})		121	86	38	121
Ingreso Marginal ($ ha^{-1})		579	15	6	525
Resultado ($ ha^{-1})		458	-70	-32	404
	Trigo				
Dosis N (kg ha^{-1})	0	46	78	103	103
Dosis P (kg ha^{-1})	0	16	16	20	36
Dosis S (kg ha^{-1})	0	0	7	9	9
Δ Rendimiento		509	57	205	275
Costo Marginal ($ ha^{-1})		279	130	122	121
Ingreso Marginal ($ ha^{-1})		300	33	121	162
Resultado ($ ha^{-1})		21	-97	-1	41
	Soja Segunda				
Dosis N (kg ha^{-1})	0	0	0	0	0
Dosis P (kg ha^{-1})	0	0	15	22	22
Dosis S (kg ha^{-1})	0	0	8	11	11
Δ Rendimiento		-11	235	115	181
Costo Marginal ($ ha^{-1})		0	143	57	0
Ingreso Marginal ($ ha^{-1})		-10	223	109	171
Resultado ($ ha^{-1})		-10	80	52	171
Δ Rentabilidad acumulada (cuatro cultivos, tres campañas)		897	295	411	648

Nota: Precios utilizados para este análisis: Superfosfato triple 393 U$S/ton; Urea 410 U$S/ton; Sulfato de Calcio 150 U$S/ton; Maíz $45/q; Soja $ 95/q; Trigo $60/q; Gastos comercialización granos 15%.

Tabla 7. Análisis de suelo (0-20 cm) luego de la cosecha de soja de segunda (julio 2009). Los datos son promedio de cuatro repeticiones.

Tratamiento	MO (%)	pH	N total (%)	N-NO_3 (kg ha^{-1})	P (mg kg^{-1})	S-SO_4 (mg kg^{-1})
T1	2.61	6.1	0.132	34.8	4	7.7
T2	2.66	5.9	0.134	37.3	6.6	8.8
T3	2.75	5.9	0.138	42.3	7.1	11.3
T4	2.7	5.9	0.135	42.3	6.7	8.9
T5	2.76	5.9	0.138	44.3	13.4	10.3

Manejo del suelo y rotación con pasturas: Efecto sobre la calidad del suelo, el rendimiento de los cultivos y el uso de insumos

Guillermo Siri Prieto y Oswaldo Ernst
Facultad de Agronomía. Estación Experimental Dr. Mario A, Cassinoni, Paysandú, Uruguay
siriprieto@fagro.edu.uy; oernst@fagro.edu.uy

Introducción

Los cambios en la calidad del suelo, producidos por los sistemas agrícolas, pueden valorarse directamente en base al efecto sobre la conservación del recurso para que futuras generaciones puedan vivir de la actividad, en términos de productividad o incremento de la rentabilidad del sistema en el largo plazo (Hulugalle y Scott, 2008). Para esto es necesario disponer de información que permita cuantificar el efecto acumulado de diferentes combinaciones de manejo sobre el rendimiento de los cultivos y su relación con indicadores de calidad de suelo.

El sistema de laboreo y la rotación de cultivos son prácticas de manejo con reconocida capacidad de modificar la calidad del suelo. La implementación de sistemas de producción en los que los cultivos anuales rotan con pasturas perennes y no se laborean, mejoran los indicadores de calidad del suelo y reducen la erosión (García-Préchac et al., 2004); pero no siempre esto se asocia a mejoras en el rendimiento de los cultivos. Si la nutrición no es una limitante mayor, la adopción de la siembra sin laboreo tiene relativamente bajo impacto en cultivos de invierno en suelos bien drenados o estaciones de crecimiento secas (Martens, 2000; Diaz-Zorita et al., 2002; Zentner et al., 2002; Triplett y Dick, 2008). Por otro lado, muchos estudios concluyen que el rendimiento es afectado negativamente por el no laboreo del suelo en años húmedos y suelos con drenaje pobre (López-Bellido et al., 1996; López-Bellido et al., 2000). Las características climáticas de Uruguay, con un promedio de 1100 a 1400 mm de precipitaciones anuales según la zona, su variabilidad, la baja conductividad del agua de los suelos determinada por el horizonte Bt y la regularidad relativa de la demanda atmosférica, hace probable la existencia de déficit hídrico estival y frecuentes excesos invernales.

Por otro lado, la rotación cultivos-pasturas con laboreo ha determinado mejoras en rendimiento en grano y disminución de su variabilidad anual (Pierce y Rice, 1988; Mc Ewen et al., 1989; Diaz Rosello, 1992; García-Préchac et al., 2004). El efecto positivo se atribuye a distintas causas, dentro de las cuales se encuentran: mayor aporte de nitrógeno (N), mejora en la condición física del suelo y menores problemas sanitarios. Resultados similares se han logrado con la incorporación de leguminosas anuales como cultivos de cobertura y secuencias diversificadas de cultivos (Rasmussen et al., 1997; Krupinsky et al., 2004).

En el presente artículo se analizan y discuten resultados obtenidos en un experimento de largo plazo instalado en 1993 en la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni de la Facultad de Agronomía, con énfasis en el efecto combinado del laboreo o no del suelo con la rotación o no de fases agrícolas con fases de pasturas perennes. Se tomará como referencia para la discusión el tratamiento que incluye agricultura con laboreo en rotación con pasturas que fue definido como "testigo tecnológico" cuando se inició el programa de investigación.

Materiales y métodos

La información corresponde a los primeros 12 años (1993-2005) para las propiedades del suelo y uso de insumos y de 15 años (1993-2008) para rendimiento de los cultivos de uno de los experimentos de largo plazo instalados en la EEMAC, en el que se evalúa el impacto de la inclusión o no de pasturas (CC= cultivos continuos, ROT = rotación con pasturas) y del tipo de laboreo (LC= laboreo convencional y NL= no laboreo) sobre algunas propiedades del suelo. En los tratamientos CC, se realizaron 19 cultivos, siendo 8 de invierno (5 de trigo, 2 de cebada y 1 de avena) y 11 de verano (4 de soja, 3 de girasol, 2 de sorgo y 2 de maíz), lo que implica 1.58 cultivos por año y una relación de cultivos de verano/inverno = 1.38. En el caso de los tratamientos con/sin inclusión de pasturas, se realizaron 11 cultivos en la fase agrícola: 5 de trigo, 1 de cebada, 1 de soja, 2 de girasol, 1 de sorgo y 1 de maíz). El número de cultivos por año fue de 1.57 y la relación de cultivos de verano/invierno, de 0.83. Para el caso de los tratamientos con pasturas (festuca + trébol blanco + lotus), éstas ocuparon 5 años de la rotación pastura-cultivo en dos periodos: I (1996-1998) y II (2003-2005). Mayor información sobre el ensayo se puede encontrar en Ernst y Siri Prieto (2009 a y b) y Siri Prieto y Ernst (2009).

Resultados

Efectos sobre la producción de biomasa y los contenidos de C y N del suelo

En la Tabla 1 se presenta la biomasa aérea y radicular producida por los cultivos y/o pasturas en la rotación con o sin pasturas. El sistema de CC produjo un 67% más de residuos agrícolas en comparación con la ROT (68.6 vs. 41.0 Mg ha^{-1}, respectivamente), explicado por la cantidad de cultivos en uno y otro sistema. Si se anualiza el aporte de C al sistema, no hubo diferencias entre rotaciones (5.86 vs. 5.71 Mg ha^{-1} año^{-1}). Si se suma la biomasa radicular producida estimada de los cultivos anuales, la diferencia entre CC y ROT fue de 32 Mg ha^{-1}. Sin embargo, el aporte neto de las pasturas (5 años) al sistema en estos primeros 12 años fue de 22.6 Mg ha^{-1} (aporte de raíces más restos secos aéreos). Como resultado final, la diferencia en el aporte de biomasa al sistema comparando estos dos tratamientos fue de solo 9.4 Mg ha^{-1} a favor de CC. Del total de la biomasa producida, el 36% fue explicado por la biomasa radicular en el sistema ROT, siendo en CC solo del 14%. Esta diferencia se explica por la diferencia en la relación parte aérea/raíz (PA/R) que existe entre especies anuales y perennes. Según Bolinder et al. (2007), la relación PA/R para el caso de las pasturas (gramíneas + leguminosas) es aproximadamente 1.5, siendo 6.0 para el caso de los cultivos anuales. Este diferente potencial de fijar carbono en profundidad a través de la producción de biomasa radicular explica el aumento del COS en la fase pastura de la rotación.

El forraje consumido por los animales en los 5 años de producción de la pastura (dos periodos) fue de 21.4 de los 25.6 Mg ha^{-1} de biomasa aérea total producida, dejando solo como entradas de biomasa aérea por esta vía 4.2 Mg ha^{-1} (Figura 1). El consumo animal representó el 84% del forraje aéreo producido. Parte del C fijado por las pasturas es devuelto vía las excretas. Utilizando las ecuaciones de Vu et al. (2008), la entrada de C por vía excreta animal (considera el contenido de fibra de la mezcla forrajera) sería de 6.0 Mg^{-1} en todo el período (28% del C retornaría al sistema), por lo que el total de biomasa estimada aportada al sistema suelo sería de 76.1 Mg ha^{-1} (70.1 + 6.0) en los 12 años.

En la Figura 2 se presentan los cambios en el carbono y N del suelo medidos al inicio (1993) y en el 2005 en respuesta al laboreo o no del suelo combinados con rotación con pastura o cultivos continuos. Sólo hubo una tendencia a una menor concentración de carbono en el sistema de cultivos continuos con laboreo convencional (Figura 2 AB). Sin embargo, promediando por tipo de laboreo (NL o LC), el efecto fue significativo. Los sistemas de NL tuvieron un 7% más de concentración y cantidad de COS que los de LC (24.4 *vs.* 22.8 g kg^{-1} y 52.6 *vs.* 49.0 Mg ha^{-1}, respectivamente). El efecto de rotar cultivos con pasturas se cuantificó como una tendencia sólo sobre la cantidad de carbono del suelo. Si bien otros trabajos han mostrado un efecto positivo de las pasturas sobre el COS (Díaz-Roselló, 1992; Arshad *et al.*, 2004; Hermle *et al.*, 2008), la ausencia de diferencias entre CC y ROT podría estar explicada por: una mayor producción de biomasa en los tratamientos de cultivos continuos como fuera presentado en la Tabla 1; la mayoría de la producción de biomasa aérea generada por las pasturas fue consumida por los animales, con poco retorno de C vía heces (solo 6 Mg ha^{-1}); las pasturas estuvieron sólo en 5 de los 12 años del experimento.

Es de destacar la disminución del N total por ha en los primeros 18 cm del suelo. Esta reducción en la concentración de N en el suelo luego de 12 años de agricultura continua está asociada a la evolución del balance aparente acumulado de N durante el período (Figura 3).

El balance aparente de N, medido como la diferencia entre el ingreso de N por fertilizantes más la fijación simbiótica y las salidas de N en los productos, fue positivo y creciente con la inclusión de las pasturas. La fijación de N por las leguminosas durante las dos fases de pastura se estimó en 90 kg N ha^{-1} año^{-1} (Ernst y Siri-Prieto, 2009). Si bien el balance aparente de N sólo contabiliza salidas asociadas a la producción de grano, el sistema CC tuvo un descenso de casi 550 kg N ha^{-1}, lo que representa una pérdida de 46 kg N ha^{-1} año^{-1} (Figura 2). Si bien en los últimos 7 años de la rotación (2001-2008) de cultivos continuos predominó el cultivo de soja (7 cultivos), éste igualmente presentó un balance negativo de N por una mayor extracción de N en el grano que por fijación simbiótica. Las consecuencias de esta pérdida en la cantidad de N total en el suelo explicarían las mayores necesidades de fertilización nitrogenada asociadas a sistemas de producción agrícolas puros.

Tabla 1. Biomasa aérea y radicular producida por los cultivos y/o pasturas en respuesta a la inclusión o no de pasturas en el experimento de largo plazo en Paysandú, Uruguay (1993-2005). Los valores son promedios de los tipos de laboreo (Adaptado de Ernst y Siri-Prieto, 2009a).

	CC	ROT
	--- Mg ha^{-1}----	
	Producción de Cultivos	
Biomasa aérea	68.6 (5.71)	41 (5.86)
Biomasa radicular	10.9 (0.91)	6.5 (0.93)
Subtotal Total	79.5	47.5
	Producción de Pasturas	
Biomasa aérea	0	4.2 (0.84)
Biomasa radicular	0	18.4 (3.68)
Subtotal Total	0	22.6
Total	79.5	70.1
Raíces totales	10.9 (14%)	24.9 (36%)

Valores entre paréntesis corresponden al aporte de C anualizado (Mg ha^{-1} año^{-1})

Rendimiento de los cultivos

Uno de los indicadores a considerar en la evaluación de la sostenibilidad del sistema de producción es la productividad y variabilidad anual asociada. Cuando los sistemas pierden productividad o sus rendimientos son muy variables entre años, no son sostenibles en el tiempo y, por lo tanto, es necesario modificar aquellas variables que se identifican como responsables de los resultados.

En la Figura 4 se presenta la evolución de los rendimientos relativos de cultivos de invierno (trigo y cebada) y de verano (girasol, maíz, soja y sorgo), para sistemas con y sin laboreo combinados con rotación agricultura-pastura o agricultura continua.

Tanto los cultivos de invierno como los de verano, integrados en una secuencia, tuvieron rendimientos menores sin laboreo que con laboreo en los primeros años del experimento, pero mostraron un comportamiento relativo creciente con los años de implementado el sistema sin laboreo. Entre los años 2000 y 2008, todos los cultivos tuvieron mayores rendimientos en los tratamientos sin laboreo que en aquellos con laboreo, tanto en agricultura continua como en la rotación cultivos-pastura. El efecto positivo fue mayor en cultivos de verano que en los de invierno y en agricultura continua que en la rotación cultivos-pastura. Se podría concluir que la siembra sin laboreo representó una clara ventaja para los cultivos de verano en sistemas de agricultura continua; tuvo menor impacto sobre los

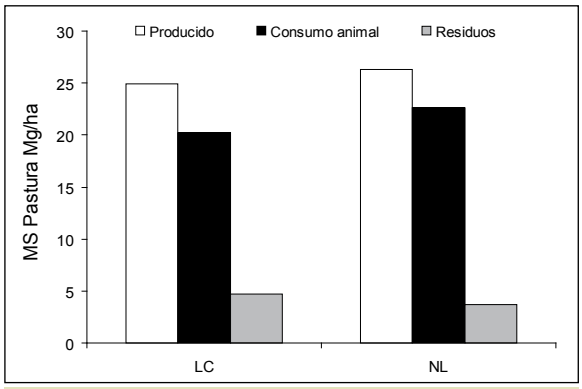


Figura 1. Producción, consumo animal y residuos aéreos de la MS de pastura (Mg ha^{-1}) sumando las dos fases según el sistema de laboreo en el experimento de largo plazo en Paysandú, Uruguay (1993-2005) (LC= laboreo convencional y NL = no laboreo) (Ernst y Siri-Prieto, 2009a).

rendimientos de los cultivos de invierno y no mostró un efecto positivo de importancia en sistemas integrados de agricultura con pastura perennes.

Entre los años 1994 y 2008, los rendimientos de siete cultivos de trigo indican que el único tratamiento significativamente diferente a los demás fue el de agricultura continua con laboreo convencional (Figura 5).

Es de destacar que sin laboreo, el rendimiento medio de trigo de 15 años de agricultura continua (AC-NL) no fue afectado negativamente por los dos sistemas que rotan cultivos con pasturas perennes. No hubo una interacción significativa con los años, exceptuando 2005, cuando todos los tratamientos recibieron la misma cantidad de fertilizante nitrogenado y que será comentado en el apartado siguiente.

Uso de insumos

El cambio de un esquema productivo basado en el laboreo y quema de rastrojos a uno sin laboreo y con retención de rastrojos sobre el suelo, determina respuestas a nivel de la comunidad de malezas, en la incidencia de enfermedades causadas por hongos necrotróficos y en la entomofauna. En nuestro sistema productivo no son problemas nuevos, sino que adquieren una mayor o menor relevancia al modificarse el ambiente. En la medida que el sistema se hace más agrícola, existen menos tiempos para manejar los efectos residuales de un cultivo sobre otro, por lo que la solución a los problemas se implementa con el uso de agroquímicos. En la Tabla 2 se presenta el uso medio de distintos insumos en tres sistemas de producción para el período 1993-2005.

La agricultura sin laboreo en rotación con pastura tuvo los mejores indicadores en cuanto a cantidad de insumos requeridos durante el período. Esto se refleja además en el ingreso de energía fósil requerida para producir. La mayor eficiencia de uso de la energía ingresada al sistema la tuvieron los tratamientos sin laboreo. El sistema agrícola produjo más energía en el período y mantuvo una eficiencia similar al sistema agricultura-pastura sin laboreo. La alta eficiencia de uso de la energía fósil consumida en los tres sistemas evaluados es responsabilidad de la implementación del doble cultivo anual. Mientras que la eficiencia energética de los cultivos de invierno estuvo entre 0.7 y 0.8 MJ consumido/MJ producido, la de soja y sorgo de segunda varió entre 0.10 y 0.17 MJ consumido/MJ producido respectivamente. Los cultivos de segunda recibieron menos fertilizante, menos laboreo y produjeron más energía por unidad de superficie, mejorando la eficiencia del sistema en su conjunto. Esta alta eficiencia aparente de los sistemas evaluados resulta en un aumento de la captación de energía solar del doble cultivo anual con relación a un cultivo por año pero, con el manejo actual, tiene incorporado un subsidio de exportación de nutrientes (N y fósforo) del suelo.

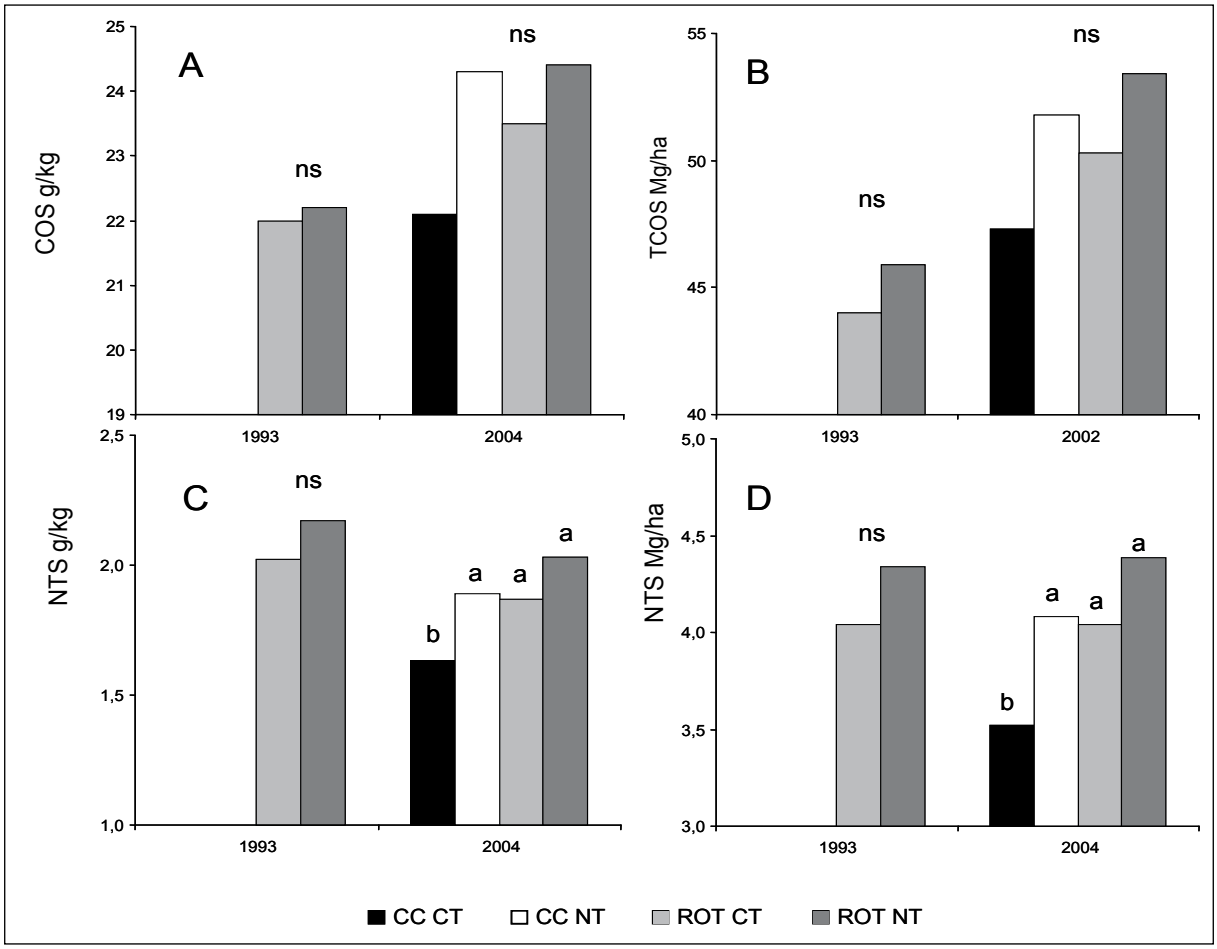


Figura 2. Concentración de carbono orgánico del suelo (A), cantidad total de carbono orgánico del suelo (B), concentración de N total del suelo (C) y cantidad total del N del suelo (D) en los primeros 18 cm de profundidad según la inclusión o no de las pasturas (CC= cultivos continuos, ROT = rotación con pasturas) y el efecto del tipo de laboreo (LC= laboreo convencional y NL = no laboreo) en dos momentos del experimento de largo plazo en Paysandú, Uruguay (1993-2005) (Adaptado de Ernst y Siri-Prieto, 2009a).

Una proporción importante de las diferencias resultan del 40% del tiempo que el suelo estuvo con pasturas, con bajos ingresos de insumos y menores necesidades de nutrientes como el N.
El ingreso de N por fijación simbiótica es uno de los principales efectos residuales positivos que se pierden al separar geográficamente los sistemas de producción (Figura 6).
La información muestra que, ajustando la cantidad de N a agregar a cada cultivo con los indicadores en dosis recomendadas para Uruguay, el sistema de agricultura continua recibió más fertilizante nitrogenado que el sistema que rota con pasturas, ambos sin laboreo.
Cuando se evaluó el comportamiento de cultivos a la misma cantidad de N agregado, el rendimiento de maíz y de trigo sembrados como cultivos cabeza de rotación fue significativamente superior en rotación agricultura-pastura que en agricultura continua (Figura 7).
El déficit de N de los sistemas de producción agrícola no sólo está indicando mayores requerimientos de fertilizantes nitrogenados para los cultivos, sino que estaría determinando pérdidas en la cantidad de N total del suelo en el mediano-largo plazo. Es en procura de mitigar este efecto negativo que se estudia la posibilidad de incorporar N vía simbiótica con cultivos de cobertura en secuencias de cultivos con largos períodos de barbecho.

Consideraciones finales

Los resultados sugieren que luego de transcurridos 12 años de la aplicación de 4 tecnologías para la producción de grano y/o forraje, solo la agricultura continua (CC) con laboreo no cumplió con los objetivos de mantener y/o aumentar la calidad del suelo medido en algunas propiedades químicas del mismo. Sólo por pasar de laboreo convencional a no laboreo, el carbono total del suelo en los primeros 18 cm de profundidad aumentó 10% (4.5 Mg ha^{-1}), significando una tasa de mejora en este perfil del suelo de 375 kg ha^{-1} $año^{-1}$. Esta mejora en la ganancia de carbono en el sistema se debería a: 1. Un sistema de rotación muy intenso, con 19 cultivos en 12 años, resultando en una alta producción de biomasa generada en el periodo (6.63 Mg ha^{-1} $año^{-1}$), que representa una entrada de C de 2.65 Mg ha^{-1} $año^{-1}$; 2. Bajas tasas de pérdida de suelos generadas en el periodo de estudio (1993-2005), principalmente por la baja erodabilidad del suelo, baja pendiente y alta frecuencia de cultivos por año (1.8).
Al cambiar de un sistema de rotación con pastura con laboreo convencional a un esquema de agricultura continua con laboreo, el descenso de N medido en los primeros 18 cm fue de 520 kg ha^{-1}, que representa una pérdida de 43 kg N ha^{-1} $año^{-1}$. Estos datos confirman los resultados analizados en el balance aparente de N, que mostraron un descenso de casi 550 kg N ha^{-1}. Si bien en agricultura continua sin laboreo el descenso fue menor (300 kg N ha^{-1}), es una tendencia generada en sólo 12 años de la aplicación de este sistema, por lo que se requiere un mayor uso de fertilizante nitrogenado para mantener los niveles de N de suficiencia para los cultivos.

Bibliografía

Arshad M.A., A.J. Franzluebbers y R. H. Azooz. 2004. Surface-soil structural properties under grass and cereal production on a Mollic Cyroboralf in Canada. Soil and Tillage Research 79:15-23.
Bolinder M.A., H.H. Janzen, E.G. Gregorich, D.A. Angers y A.J. VandenBygaart. 2007. An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. Agriculture. Ecosystems & Environment. 118:29-42.
Díaz-Roselló R.M. 1992. Evolución de la materia orgánica en rotaciones de cultivos con pasturas. Investigaciones Agronómicas 1:103-110.
Diaz-Zorita M. G., A. Duarte y J. H. Grove. 2002. A review of no-till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina. Soil and Tillage Research 65:1-18.
Ernst O. y G. Siri-Prieto. 2009a. Impact of perennial pasture and tillage systems on carbon input and soil quality indicators. Soil and Tillage Research 105:260-268.
Ernst O. y G. Siri-Prieto. 2009b. Manejo del suelo y rotación con pasturas: efecto sobre rendimiento de cultivos, su variabilidad y el uso de insumos. En: Primer Simposio Nacional de Agricultura de Secano. Universidad de la República. Facultad de Agronomía.125-140.
García-Préchac F., O. Ernst, G. Siri-Prieto y J. A. Terra. 2004. Integrating no-till into crop–pasture rotations in Uruguay. Soil and Tillage Research 77:1-13.
Hermle S., T. Anken, J. Leifeld y P. Weisskopf. 2008. The effect of the tillage system on soil organic carbon content under moist, cold-temperate conditions. Soil Till. Res. 98:94-105.
Hulugalle N.R. y F. Scott. 2008. A review of the changes in soil quality and profitability accomplished by sowing rotation crops after cotton in Australian Vertisols from 1970 to 2006. Australian Journal of Soil Research 46:173-190.
Krupinsky J.M., D.L. Tanaka, M.T. Lares y S.D. Merrill. 2004. Leaf Spot Diseases of Barley and Spring Wheat as Influenced by Preceding Crops. Agron. J. 96:259-266.
López-Bellido L., M. Fuentes, J.E. Castillo, F.J. López-Garrido y Fernández. 1996. Long-term tillage, crop rotation, and nitrogen fertilizer effects on wheat yield under Mediterranean conditions. Agron. J. 88: 783-791.
López-Bellido L. R. J. López-Bellido, J. E. Castillo y F.J. López-Bellido. 2000. Effects of tillage, crop rotation, and nitrogen fertilization on wheat under rainfed mediterranean conditions.

Tabla 2. Uso de insumos en cuatro sistemas de producción durante 12 años, Paysandú, Uruguay 1993-2005. (Ernst y Siri-Prieto, 2009)

	Agricultura-pastura	Agricultura-pastura	Agricultura continua
	Laboreo convencional	Sin laboreo	Sin laboreo
Fertilizante			
Nitrógeno (kg ha^{-1})	349	431	775
Fósforo (kg ha^{-1})	214	230	425
Herbicidas			
Glifosato (l ha^{-1})	0	22	38
Metsulfuron metil (g ha^{-1})	6	6	11
Atrazina (kg ha^{-1})	6	6	7
Alfa metolaclor (kg ha^{-1})	2	3	6
Insecticidas			
Clorpirifos (g ha^{-1})	960	480	480
Endosulfan (l ha^{-1})	0,53	0,53	3
Maquinaria			
Gasoil (l ha^{-1})	633	377	713
Labores (horas)	51	31	60
Consumo total de energía fósil (MJ ha^{-1} $año^{-1}$) *	7520	6226	7856
Producción de energía (MJ ha^{-1} $año^{-1}$)	35809	36623	49100
Eficiencia aparente (MJ consumido/MJ producido)	0,21	0,17	0,16

** Incluye la energía requerida para la producción de los insumos necesarios.*

Agron. J. 92:1054-1063.
Martens D.A. 2000. Nitrogen cycling under different soil management systems. Advances in Agron. 70: 143-191
Mc Ewen J., R.J. Darby, M.V. Hewitt y D.P. Yeoman. 1989. Effects of field beans, fallow, lupins, oats, oilseed rape, peas, ryegrass, sunflowers and wheat on nitrogen residues in the soil and on the growth of a subsequent wheat crop. J. Agric. Sci. 115:209-219.
Pierce F.J. y C.W. Rice. 1988. Crop rotation and its impact on efficiency of water and nitrogen use. En: W.L. Hargrove, ed. Cropping strategies for efficient use of water and nitrogen. Madison, WI: ASA, CSSA, and SSSA, 1988:21-42 ASA Spec. Publ. 15.
Rasmussen P.A., R.W. Rickman y B.L. Klepper. 1997. Residue and fertility effects on yield of no-till wheat. Agron. J. 89: 563-567.
Siri-Prieto G. y O. Ernst. 2009. Cambios en el contenido de carbono y nitrógeno del suelo: ¿Hacia dónde va el sistema? En: Primer Simposio Nacional de Agricultura de Secano. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 111-124
Triplett G.B. y W.A. Dick. 2008. No-tillage crop production: a revolution in agriculture! Agron. J. 100: 153-165.
Zentner R.P., D.D. Wall, C.N. Nagy, E.G. Smith, D.L. Young, P.R. Miller, C.A. Campbell, B.G. McConkey, A.A. Brandt, G.P. Lafond, A.M. Johnston y D.A. Derksen. 2002. Economics of crop diversification and soil tillage opportunities in the Canadian Prairies. Agron. J. 94:216-230.

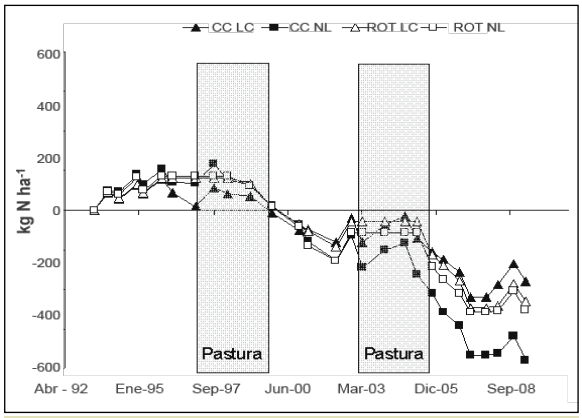


Figura 3. Balance aparente de N en el sistema según el tipo de laboreo (LC o NL) y la inclusión o no de pastura (ROT y CC) en el experimento de largo plazo iniciado en 1993, EEMAC, Uruguay, período 1993-2008 (Siri-Prieto y Ernst, 2009).

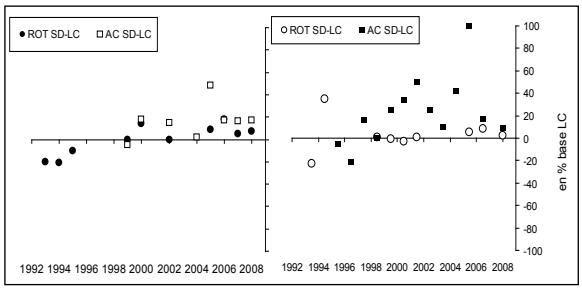


Figura 4. Rendimiento en grano relativo en relación al tratamiento con laboreo para cultivos de invierno (izquierda) y cultivos de verano (derecha) en el experimento de largo plazo iniciado en 1993, EEMAC, Uruguay, período 1993-2008. Ernst y Siri-Prieto, 2009. *Referencias: ROT = rotación, CC = agricultura continua, NL-LC = no laboreo- laboreo convencional*

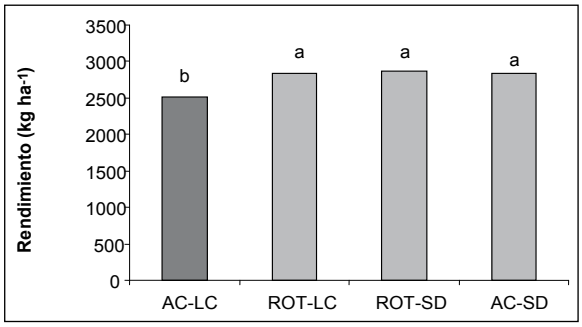


Figura 5. Rendimiento de trigo (media de mínimos cuadrados de siete cultivos entre 1994 y 2008) con laboreo en agricultura continua (CC-LC) o en rotación con pasturas (ROT-LC) y en siembra directa en agricultura continua (CC-NL) o en rotación con pasturas sin laboreo (ROT-NL) en el experimento de largo plazo iniciado en 1993, EEMAC, Uruguay. (Ernst y Siri-Prieto, 2009)

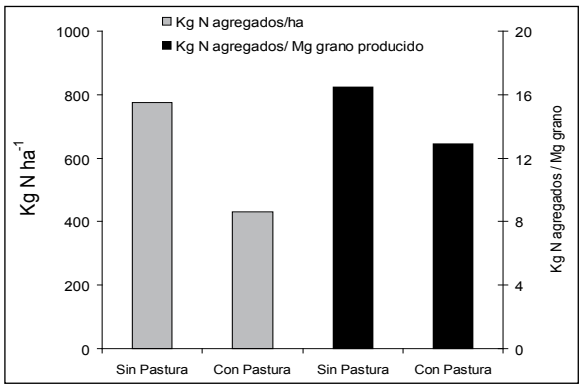


Figura 6. Nitrógeno agregado como fertilizante en 12 años (1993-2005) en sistemas agrícolas con y sin rotación con pasturas perennes (festuca, trébol blanco y lotus) y su eficiencia de uso en el período medida como N agregado por tonelada de grano producido. Experimento de largo plazo iniciado en 1993, EEMAC, Paysandú. Uruguay. (Ernst y Siri-Prieto, 2009)

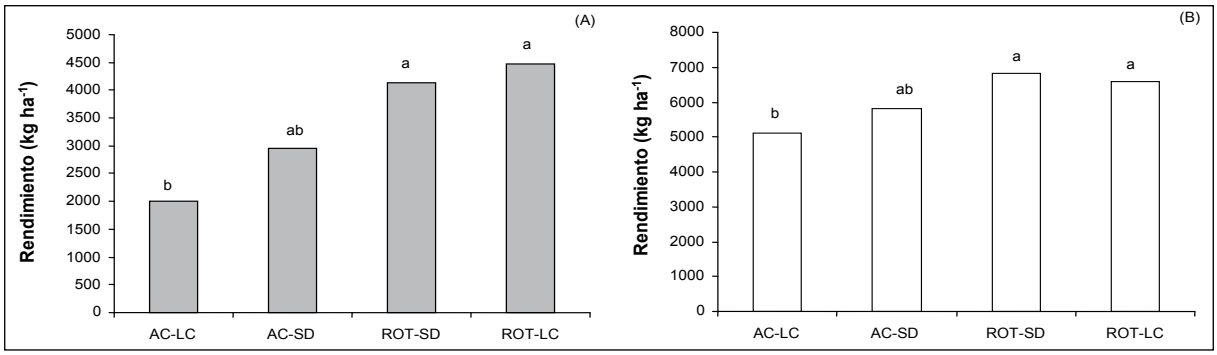


Figura 7. Rendimiento de grano de trigo (A) y (B) maíz sembrados como cabeza de rotación con laboreo (rotación-laboreo), sin laboreo (rotación- siembra directa), agricultura continua sin laboreo (agricultura-siembra directa) y agricultura continua con laboreo (agricultura-siembra directa) a igual dosis de N al cultivo (Ernst y Siri-Prieto, 2009).

Publicaciones de IPNI

Las siguientes publicaciones se encuentran disponibles con un costo nominal

Título de la Publicación (Vea el catalogo completo de publicaciones de IPNI en www.ipni.net/lasc)	Costo U$S	Costo $ arg.
Manual de manejo del cultivo de soja. Aborda temáticas de fenología, manejo, nutrición y fertilidad, malezas, enfermedades y plagas del cultivo.	16	60
Simposio Fertilidad 2009. Actas del Simposio organizado por IPNI y Fertilizar en Rosario en Mayo de 2009.	16	60
Simposio Fertilidad 2007. Actas del Simposio organizado por IPNI y Fertilizar en Rosario en Mayo de 2007.	8	30
La Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe: Resultados y conclusiones de los primeros seis años 2000-2005. Resumen y discusión de los principales resultados obtenidos en la Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe (Argentina).	3	10
Cómo se desarrolla una planta de soja. Edición en español de la guía fenológica y de manejo publicada por Iowa State University.	4	15
Cómo se desarrolla una planta de maíz. Edición en español de la guía fenológica y de manejo publicada por Iowa State University.	4	15
Síntomas de deficiencias nutricionales de trigo, maíz y soja. Set de tres posters que muestran y describen los síntomas de deficiencia de nutrientes en los tres cultivos.	4	15
Manual de Fertilidad de Suelos. Publicación didáctica sobre uso y manejo de suelos y fertilizantes.	12	45
Simposio Fertilidad 2005. Nutrición, Producción y Ambiente. Actas del Simposio organizado por IPNI y Fertilizar en Rosario en Abril de 2005.	4	15
Simposio Fertilidad 2004. Fertilidad de Suelos para una Agricultura Sustentable. Actas del Simposio organizado por IPNI y Fertilizar en Rosario en Abril de 2004.	4	15

Vea el catálogo completo de publicaciones de IPNI en www.ipni.net/lasc

Formas de pago de publicaciones

Argentina

- Giro Postal o Telegráfico, a través de Correo Argentino o Envío de dinero a través de Western Union.

Los datos para realizar su envío son los siguientes:
DESTINATARIO: Sra. Laura Nélida Pisauri - DNI: 17.278.707
DIRECCION: Av. Santa Fe 910 (B1641ABO) Acassuso – Buenos Aires – Argentina
AGENCIA DE CORREOS DE DESTINO: Sucursal Acassuso, Buenos Aires, Argentina.

- Depósito Bancario en Banco Galicia, Cta.Cte. Nº 3856/4 053/5 Sucursal Olivos a nombre de INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE.
- Transferencia Bancaria a INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE, Banco Galicia, Suc. Olivos, Cta.Cte. Nº 3856/4 053/5, CBU 0070053520000003856451 CUIT 30-70175611-4.

Solicitamos nos haga saber por teléfono, fax o e-mail, la opción elegida y nos envíe los datos para acreditar su pago (No.de giro y fecha, o datos de depósito o transferencia bancaria).

Otros Países

Envío de dinero a través de Western Union, según instrucciones para el envío indicadas más arriba.

Para adquirir las publicaciones de IPNI Cono Sur:

1. Además del costo de la/s publicaciones, deberá tener en cuenta los gastos de envío, que son variables de acuerdo al peso en gramos (g): hasta 100 g (equivale a 1 publicación) $10; entre 100 - 500 g (equivalen a 3/5 publicaciones) $35; entre 500 - 1000 g $50 y de 1000-2000 g $60
2. Deberá enviarnos el comprobante de pago a nuestra oficina de IPNI Cono Sur por Fax: 011-4798-9939 o por mail a Lpisauri@ipni.net
3. Indicar si solicita Factura A ó B, a nombre de quien extenderla, dirección completa y CUIT.

Ante cualquier consulta enviar mail a: Lpisauri@ipni.net o llamar al (54 - 011) 4798 9939/9988

Congresos, Cursos y Simposios

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

XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo
"El Suelo, Pilar de la Agroindustria en la Pampa Argentina"
Lugar y fecha: Rosario, Santa Fe. 31 Mayo - 4 Junio de 2010.
Información: www.suelos.org.ar - www.suelosrosario2010.com.ar

Propiedades del suelo bajo diferentes usos de la tierra – SUCS/ISTRO
Lugar y fecha: Colonia, Uruguay. 12-14 Julio 2010.
Información: www.fagro.edu.uy – www.eemac.edu.uy

X Conferencia Internacional en Agricultura de Precisión
Lugar y fecha: Denver, Colorado, EE.UU. 18-21 Julio 2010.
Información: www.icpaonline.org

XIX Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo
Lugar y fecha: Brisbane, Australia. 1-6 Agosto 2010.
Información: www.19wcss.org.au

ISCO Chile 2010 - Conservación de Suelos y Aguas para la Seguridad Alimentaria
Lugar y fecha: Santiago, Chile. 8-12 Noviembre 2010.
Información: http://www.iscochile2010.cl/

XXII CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

"El Suelo, Pilar de la Agroindustria en la Pampa Argentina"

Rosario, Santa Fe, Argentina. 31 Mayo - 4 Junio de 2010
Mayor información: www.suelosrosario2010.com.ar - www.suelos.org.ar

REUNION SUCS/ISTRO

"Propiedades del suelo bajo diferentes usos de la tierra"

Colonia, Uruguay. 12-14 de Julio de 2010
Mayor información: www.fagro.edu.uy – www.eemac.edu.uy

XVI ISCO 2010 – CHILE

"Conservación de Suelos y Aguas para la Seguridad Alimentaria"

Santiago, Chile. 8-12 de Noviembre de 2010
Mayor información: www.iscochile2010.cl

¡Importante!

Renovación de Suscripción 2010

IPNI International Plant Nutrition Institute

www.ipni.net/lasc

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

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

Tel./Fax: (54) 011-4798-9939/9988 Correo Electrónico: Lpisauri@ipni.net

Nombre y Apellido: .....

Institución o Empresa: .....

Principal Actividad: .....

Calle: ..... Nro.: ..... C.Postal: .....

Localidad: ..... Provincia: .....

E-mail: ..... Teléfono: .....

FECHA LÍMITE PARA ENVIAR LA SUSCRIPCIÓN: 30 Abril 2010
EN CASO CONTRARIO SERÁ DADO DE BAJA COMO SUSCRIPTOR
¡MUCHAS GRACIAS!