

Jornada Técnica

**El efecto de la Agricultura
en la Calidad de los Suelos
y Fertilización de Cultivos**

MERCEDES, MAYO 2010

Serie Actividades de Difusión N°605

TABLA DE CONTENIDO

	Página
Criterios para la Selección de Suelos en el Departamento de Soriano. Proyecto “Calidad del Suelo y Agricultura” <i>Juan H. Molfino, Asesor Privado</i>	1
Avances de Resultados en el Estudio de la Calidad de los Suelos en Agricultura en el Departamento de Soriano <i>Alejandro Morón y Andrés Quincke, INIA La Estanzuela</i>	5
Situación del Potasio en la Agricultura Uruguaya <i>Agustín Núñez, Estudiante Maestría UDELAR</i>	11
Estimaciones del Impacto de la Agricultura y la Ganadería en el Suelo en Uruguay <i>Alejandro Morón, INIA La Estanzuela</i>	15
Más de 25 años de Investigación en Manejo de la Fertilización en Trigo <i>Adriana García Lamothe, INIA La Estanzuela</i>	19
Una Experiencia Privada en la Utilización del Potencial de Mineralización de Nitrógeno en la Fertilización Nitrogenada del Trigo <i>Santiago Arana, IyDA</i>	25
Respuesta a Potasio en Cultivos Extensivos en Suelos de Soriano <i>Carlos Boutes, Asesor Privado, Mónica Barbazán, FAGRO y Licy Beux, CALMER</i>	31
La Fertilización del Trigo en Argentina: la Práctica y las Herramientas Disponibles <i>Hernán Echeverría, INTA Balcarce</i>	37



Jornada Técnica

El Efecto de la Agricultura en la Calidad de los Suelos y Fertilización de Cultivos

Programa:

Block A

Moderadora Ing. Agr. (M.Sc.) Roberto Díaz (INIA La Estanzuela)

09:30-09:45 Objetivos del Trabajo Calidad de Suelos y Agricultura en el Departamento de Soriano. Ing. Agr. (Dr.) Alejandro Morón (INIA La Estanzuela).

09:45-10:05 Criterios para la Selección de Suelos en el Trabajo de Calidad de Suelos y Agricultura en el Departamento de Soriano. Ing. Agr. (M.Sc.) Juan Molfino (asesor privado).

10:05-10:25 Principales Resultados en Propiedades Físicas en el Trabajo de Calidad de Suelos y Agricultura en el Departamento de Soriano. Ing. Agr. (Ph.D.) Andrés Quincke (INIA La Estanzuela).

10:25-11:05 Principales Resultados en Propiedades Químicas y Biológicas en el Trabajo de Calidad de Suelos y Agricultura en el Departamento de Soriano. Ing. Agr. (Dr.) Alejandro Morón (INIA La Estanzuela).

11:05-11:30 Descanso

11:30-12:00 La Situación del Potasio en la Agricultura Uruguaya. Ing. Agr. Agustín Nuñez (estudiante Maestría de Fac. Agronomía-Udelar).

12:00-12:30 Balance de Nutrientes en Diferentes Rotaciones Agrícolas. Ing. Agr. (Dr.) Alejandro Morón (INIA La Estanzuela).

12:30-13:00 Preguntas e intercambio de opiniones.

13:00-14:30 Almuerzo

Block B

Moderador Ing. Agr. (Ph.D.) Jorge Sawchik (INIA La Estanzuela)

14:30-15:10 Resumen de 25 años de Investigación en Fertilización de Trigo. Ing. Agr. (M.Sc.) Adriana García Lamothe (INIA La Estanzuela).

15:10-15:40 Una Experiencia Privada en la Utilización del Potencial de Mineralización de Nitrógeno en la Fertilización Nitrogenada del Trigo. Ing. Agr. Santiago Arana (IyDA).

15:40-16:10 Descanso

16:10-16:40 Respuesta a la Fertilización con Potasio en Cultivos de Invierno y Verano en el Departamento de Soriano. Téc. Agr. Carlos Bautes (asesor privado), Ing. Agr. (Ph.D) Mónica Barbazán (Fac. Agr.-Udelar).

16:40-17:20 La Fertilización de Trigo en Argentina: la Práctica y las Herramientas Disponibles. Ing. Agr. (M.Sc.) Hernán Echeverría (INTA Balcarce, Argentina).

17:20-18:00 Preguntas e intercambio de opiniones.

CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE SUELOS EN EL DEPARTAMENTO DE SORIANO PROYECTO “CALIDAD DEL SUELO Y AGRICULTURA”

Juan Horacio Molfino¹

Introducción

Los trabajos de cartografía de suelos constituyeron en el Uruguay un aporte significativo al conocimiento de este recurso.

Si bien los trabajos nacionales de levantamiento de suelos han tenido un desarrollo importante, sus productos no siempre son lo suficientemente conocidos. Al no haberse abordado de modo sistemático en cuanto a las escalas de trabajo, a la definición previa de las series (es decir las unidades mínimas de mapeo) y a la utilización, en la definición de las leyendas, de diferentes nomenclaturas (números, nombres geográficos, fórmulas pero rara vez las clases taxonómicas), las cartas de suelos son a veces de acceso complicado y manejo difícil por parte de productores y/o técnicos no especializados.

Sin embargo, todos estos estudios tienen un rasgo en común: se trató en todos los casos de brindar una herramienta que fuera de utilidad para el sector agropecuario al permitir interpretaciones agronómicas para diferentes rubros o combinaciones de rubros.

En 1967 la Comisión de Inversiones y Desarrollo Económico (CIDE, creada en 1959) publica un Croquis de Uso y Manejo de los Suelos del Uruguay en el que se separan 13 zonas, con un fuerte énfasis en el aspecto geológico: el criterio predominante fue el material generador de los suelos.

A partir de 1965, gracias a un convenio entre el entonces Ministerio de Ganadería y Agricultura y la Facultad de Agronomía, se intensifican los trabajos de relevamiento y, en 1976, ven la luz la Clasificación de Suelos del Uruguay y la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay (CRSU) a escala 1/1 Millón. Posteriormente, utilizando la nueva clasificación, se realizaron varios trabajos a escalas de mayor detalle en zonas de importancia agrícola con interpretaciones de uso y aptitud potencial.

En forma paralela, se elaboró una cartografía de productividad de tierras (CONEAT) a escala 1/20.000. Este trabajo no se hizo con el objetivo de generar un mapa de suelos sino de separar, en una carta, áreas homogéneas con capacidad productiva similar en términos de carne y lana. La experiencia demostró que, además, permite estimar razonablemente la aptitud agrícola por lo que, desde su creación en 1979, ha tenido amplia difusión.

Por último, a fines de 1980, se iniciaron los trabajos de codificación y sistematización de la información disponible. Se generó una base de datos con la descripción de suelos y los datos analíticos correspondientes y se ingresaron los mapas generados a diferentes escalas a un Sistema de Información Geográfica (SIG). Uno de los productos de este proceso fue la Carta Digital de Suelos de Soriano a escala 1/200.000 (CDSS 1/200 m).

Metodología

A los efectos de seleccionar los suelos más representativos del departamento de Soriano se utilizaron las siguientes fuentes:

- CRSU 1/1 M – 1976
- Cartografía CONEAT – 1979
- CDSS 1/200 m – 1993.

La carta digital a escala 1/200.000 permite diferenciar los componentes dentro de cada unidad de mapeo 1/1.000.000 a partir del relieve, del material generador y de los tipos y porcentajes de suelos que conforman cada unidad.

La superposición de ambas cartas, a través del SIG, posibilita definir los Ambientes Edáficos.

¹ Ing. Agr., M.Sc., Asesor Privado (juanh.molfino@gmail.com)

A través de los Ambientes Edáficos (AE) se busca agrupar suelos con características similares, con relieve semejante, generados sobre un mismo material generador y que tengan también una respuesta vegetal muy parecida.

La definición de los AE implica un esfuerzo de síntesis para poder seleccionar los suelos más representativos. Es una herramienta que tiene un carácter utilitario sin estar atada a una escala determinada.

Los AE permiten rescatar, integrar y simplificar la riqueza de la información generada en las diferentes cartas de suelos, contemplando desde el gran grupo (por ejemplo *Brunosol*) hasta la fase (por ejemplo *moderadamente profunda*) para cumplir los objetivos del proyecto.

La cartografía CONEAT es útil como guía a nivel predial. Por ese motivo también se la consideró en la definición de los AE.

En todos los sitios de muestreo se realizó una descripción detallada de los perfiles de suelos tanto abajo del alambrado (referencia) como en la chacra. Esa descripción permitió incluir cada sitio en uno de los AE seleccionados.

Otra fuente de consulta que se utilizó fueron las imágenes satelitales Landsat, procesadas por el SIG de la DGRNR/MGAP para definir el uso de la tierra, con el fin de delimitar las áreas con mayor actividad agrícola (rastros y cultivos).

Resultados

Dentro de la zona con potencial agrícola se agruparon, en principio, 7 AE; finalmente se trabajó en 5, que son los que mejor representan y diferencian los suelos del departamento con potencial agrícola.

En el cuadro N° 1 se resumen las características de los AE seleccionados, el área que ocupan dentro del departamento de Soriano y los Índices CONEAT mínimos y máximos para cada AE. En el cuadro N° 2 se presentan los tipos de suelos para cada AE, las unidades de la CRSU 1/1M, de la CDSS 1/200 m y los Grupos CONEAT que componen cada AE.

Cuadro 1.

Ambiente Edáfico	Descripción / Características	Área aprox. (%)	Índice CONEAT (mín - máx)
A	Zonas topográficas altas del paisaje con relieve suavemente ondulado, suelos desarrollados sobre sedimentos, profundos, negros, vérticos.	20	140 - 260
B ₁	Zonas topográficas medias del paisaje con relieve ondulado, suelos desarrollados sobre sedimentos apoyados sobre Fray Bentos, profundos, pardo oscuro, texturas finas y medias.	10	215 - 260
B ₂	Similar al anterior, con relieve algo fuertemente ondulado, con texturas medias.	9	190 - 200
C	Relieve fuertemente ondulado, suelos desarrollados directamente sobre Fray Bentos, moderadamente profundos y profundos, pardo oscuro, texturas medias con calcáreo.	6	115 - 165
D	Zonas topográficamente intermedias en el paisaje con relieve ondulado, suelos desarrollados sobre sedimentos con influencia de Cretáceo, profundos, pardos, texturas medias con arena, diferenciados.	9	90 - 115

Cuadro 2.

Ambiente Edáfico	Tipos de Suelos	Unidades CRSU 1/1 M	Unidades CDSS 1/200 m	CONEAT
A	BET v + V	LC	LC – Ri1	10.12
		Ri	LC – Ri2	10.3
		Bq (parte)	LC – Ri1	10.1
		Li	Bq 3 (Palmitas)	11.6 (parte)
			Li1	10.8 + 10.5
B 1	BET + BH + (V)	Bq	Bq1	11.5 + 11.4
			Bq2	
			Bq4	11.6 (parte)
B 2	BET + (BST)	CñN	CñN1	11.7 + 111.8
			CñN2	
C	BEH mp + BET	FB	FB1	11.1
			FB2	11.2
D	BSL + BEL + Ag + P	CC	CC1	9.3
			CC2	9.5
			CC3	

Suelos:

B: Brunosoles E: Eutrícos v: vérticos
 S: Subéutrícos mp: moderadamente profundos
 T: Típicos
 L: Lúvicos

 V: Vertisoles
 H: Háplicos
 R: Rúpticos
 P: Planosoles
 Ag: Argisoles

Unidades CRSU 1/1 M

Bq: Bequeló
 CC: Cuchilla Corralito
 CñN: Cañada Nieto
 FB: Fray Bentos
 LC: La Carolina
 Li : Libertad
 Ri: Risso

Bibliografía consultada

- MGA/OPYPA-CIDE. *Los suelos del Uruguay. Su uso y manejo*. MGA. Montevideo, 1967.
 MGAP/DSF. *Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay a escala 1/1.000.000*. MGAP, Montevideo, 1976.
 MGAP/DSF. *Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay, Tomo III. Apéndice: Descripciones, datos físicos y químicos de los suelos dominantes*. Dirección de Suelos y Fertilizantes. Montevideo, 1979.
 MGAP/DGRNR/CONEAT. *Grupos de Suelos e Índices de Productividad*. MGAP, Montevideo, 1979.
 UNEP-ISRIC-ISSS. *Proceedings of the first Regional Workshop on a Global Soils and Terrain Digital Database and Global Assessment of Soil Degradation*. ISRIC. Wageningen (Holanda), 1988.

- Proyecto SOTER–GLASOD ISRIC-MGAP/DS. *Área piloto de Uruguay: base digital de datos de suelos y terrenos*. MGAP, Montevideo, 1988.
- FAO/PNUD/ISRIC/ISSS. *Proyecto SOTER–GLASOD. Manual de procedimientos*. Roma (Italia), 1992.
- MGAP/DGRNR/DSA - INIA/FPTA. *Carta de suelos digital a escala 1/200.000 del departamento de Soriano*. MGAP, Montevideo, 1993.
- Oldeman, L. R., van Engelen, V. *A world soils and terrain digital database (SOTER) - An improved assessment of land resources*. In *Geoderma* 60 pp.309-325. Wageningen (Holanda), 1993.
- USDA, Soil Survey Division Staff. *Soil Survey Manual. Agriculture Handbook N° 18*. USDA. Washington D.C. (USA), 1993.
- FAO–UNEP–ISRIC. *Soils and Terrain Digital Database for six Countries in Latin America at scale 1: 5.000.000*. ISRIC. Wageningen (Holanda), 1995.
- Base Mundial de Suelos de Referencia. Giras de Reconocimiento en la Región*. WRB/FAO. Buenos Aires (Argentina), 1997.
- MGAP/DSA. *Compendio Actualizado de Información de Suelos del Uruguay (Programa y Base de Datos en formato CD)*. MGAP, Montevideo, 2001.

AVANCES DE RESULTADOS EN EL ESTUDIO DE LA CALIDAD DE LOS SUELOS EN AGRICULTURA EN EL DEPARTAMENTO DE SORIANO

Alejandro Morón¹, Andrés Quincke²

Introducción

Desde hace varios años INIA se fijó como una línea de trabajo la necesidad de conocer los impactos ambientales de los sistemas de producción más intensivos y que ocupan áreas significativas del territorio. Dentro de los impactos ambientales se priorizó la calidad de los suelos. Así, en el año 2005 comenzaron los trabajos en los sistemas de producción lechera en los departamentos de Colonia, San José y Florida (Morón et al, 2009a y 2010). En el año 2009 comenzó el trabajo en el área agrícola, siendo su primera fase en el departamento de Soriano. En esta etapa colaboró en el desarrollo del trabajo AUSID (Asociación Uruguaya Pro Siembra Directa).

Soriano integra la región litoral tradicionalmente agrícola y es el departamento más importante en área destinada a la agricultura. Es parte del proceso de intensificación de la producción de granos que se ha desarrollado durante los últimos años en Uruguay.

El objetivo general es generar información para implementar un sistema de monitoreo y control de calidad de los principales suelos bajo producción agrícola en Uruguay, facilitando la certificación ambiental que futuros mercados demanden. Los objetivos específicos son: a) caracterizar el estado actual de la calidad de los suelos, b) obtener niveles de referencia para los indicadores de calidad del suelo, c) estudiar prácticas de uso y manejo que afectan la calidad del suelo, d) generar una primera aproximación a un sistema de control de calidad y recomendaciones de uso y manejo.

En el presente trabajo se presenta un avance de la información de las grandes tendencias del contraste chacra *versus* referencia. Se analizan los indicadores físicos, químicos y biológicos de los suelos destinados a la producción de granos en el departamento de Soriano. No se incluyen los análisis de significación estadística.

Materiales y Métodos

Los suelos de importancia agrícola de acuerdo con la información existente fueron clasificados en 5 ambientes edáficos (Molfino, en esta publicación). Los sistemas de producción agrícola de interés fueron agrupados en tres categorías:

- 1) Sistema mixto convencional (Cult-Past LC): se basa en la rotación cultivo-pastura pero con laboreo mecánico (durante la fase de cultivos).
- 2) Sistema de agricultura continua en siembra directa (Cult Cont SD): utiliza una rotación ininterrumpida de cultivos anuales ("cultivo continuo") y se basa en el uso de la siembra directa.
- 3) Sistema mixto en siembra directa (Cult-Past SD): también se basa en el sistema de siembra directa, pero con la rotación cultivo-pastura.

Mayores detalles sobre la definición de los sistemas de producción pueden encontrarse en Morón et al (2009b).

La consideración conjunta de los 5 Ambientes Edáficos y los 3 Sistemas de Producción determinó la selección de 48 chacras. Existieron dificultades en encontrar chacras para el sistema mixto convencional.

En cada chacra seleccionada se procuró obtener un suelo de referencia o suelo imperturbado, en general ubicado bajo un alambrado viejo próximo al sitio de muestreo. Esto permite analizar el contraste chacra *versus* referencia. Se prestó especial atención a la selección del suelo de referencia para que el mismo no presentara alteraciones. Paralelamente para cada situación de muestreo se elaboró un formulario de levantamiento de datos que contemplaba los principales aspectos de manejo de suelos y nutrientes del predio así como una descripción detallada del tipo de suelo.

¹ Ing. Agr., Dr., INIA La Estanzuela (amaron@inia.org.uy)

² Ing. Agr., PhD., INIA La Estanzuela (aquincke@inia.org.uy)

En cada sitio de muestreo (chacra y referencia) se tomaron 3 muestras de suelo compuestas de no menos de 20 tomas individuales a dos profundidades: 0-7.5 y 7.5-15 cm. Estos sitios de muestreo fueron georeferenciados, tomándose las muestras en el período mayo a octubre del 2009. Las muestras fueron almacenadas y se procedió a la realización de las siguientes determinaciones de laboratorio: pH (H₂O), carbono (C) orgánico, potencial de mineralización de nitrógeno (PMN), fósforo (P) disponible (Bray I), bases intercambiables (Ca, Mg, K, y Na), acidez titulable a pH 7 y textura. En los mismos sitios de muestreo, se tomaron 3 muestras imperturbadas de suelo a la profundidad de 0-7.5 cm con cilindros de PVC (167 cm³) para análisis de densidad aparente y macroporosidad.

Resultados y Discusión

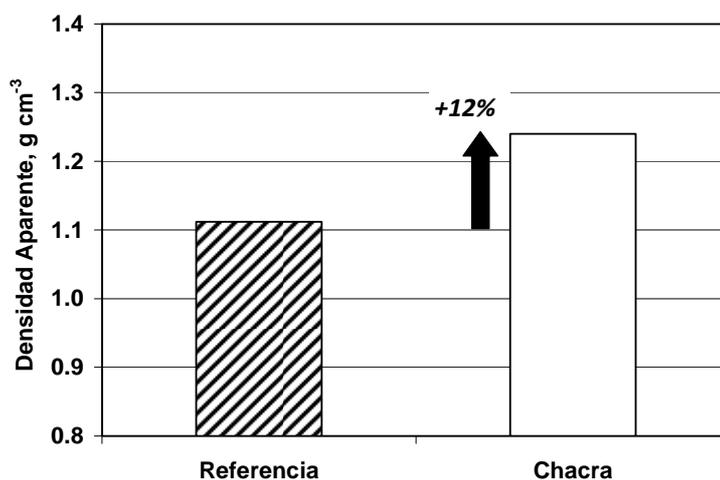


Figura 1. Valores medios de densidad aparente de 48 chacras destinadas a cultivos del departamento de Soriano y respectivos suelos de referencia.

La densidad aparente de los suelos de referencia fue en promedio 1.11 g cm⁻³ (figura 1). Aproximadamente la mitad de los suelos de referencia tuvieron un valor de densidad aparente que se ubicó entre 1.00 y 1.20 g cm⁻³, aunque se encontraron suelos de referencia con niveles menores a 0.95 ó mayores a 1.50 g cm⁻³ (datos no presentados). En los suelos bajo cultivo, el promedio de densidad aparente fue 1.24 g cm⁻³, lo cual resulta en un aumento de 12% de densidad aparente en la chacra respecto a los suelos de referencia (figura 1).

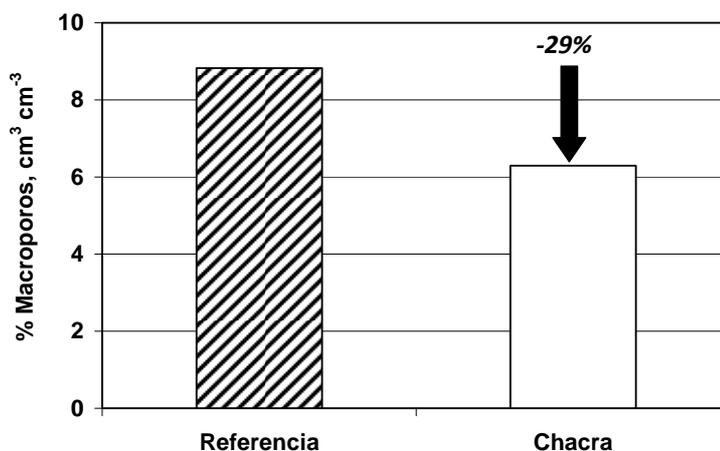


Figura 2. Valores medios de macroporosidad de 48 chacras destinadas a cultivos del departamento de Soriano y respectivos suelos de referencia.

La macroporosidad de los suelos de referencia fue en promedio 8.8% (figura 2), lo cual significa que cada 100 cm³ de suelo habría 8.8 cm³ de macroporos. Aproximadamente la mitad de los suelos de

referencia tuvieron valores de macroporosidad entre 7 y 13%, aunque se encontraron suelos de referencia con niveles menores a 4 ó mayores a 16% de macroporosidad (datos no presentados). En los suelos bajo cultivo, el promedio de macroporosidad fue 6.3%, lo cual resulta en una pérdida relativa de 29% de macroporosidad en la chacra respecto a los suelos de referencia (figura 2). En comparación con lo observado para densidad aparente, la macroporosidad parece ser una propiedad con mayor sensibilidad para detectar cambios en la calidad física del suelo. Esto se explica por el hecho que en el proceso de pérdida de calidad física, los agregados de suelo comienzan a desagregarse, y gradualmente ocurre un cambio en la distribución del tamaño de poros: aumenta el volumen de poros pequeños y disminuye el volumen de macroporos. Pero no ocurre necesariamente una reducción en la porosidad total. Es decir, la densidad aparente puede mostrar cambios relativamente pequeños en las primeras etapas de degradación física del suelo, mientras la macroporosidad se reduce como consecuencia directa de una menor estabilidad de agregados o menor diámetro de agregados.

En la figura 3 se presentan los valores medios de C orgánico en chacras y suelos de referencia. Se observa una disminución del 21 % del C orgánico en la profundidad 0 - 7.5 cm en las chacras en producción respecto al valor medio de la referencia. La disminución del C orgánico en la segunda profundidad es menor (13%). Estas disminuciones de los valores medios del C orgánico pueden considerarse como moderadas y de una magnitud semejante a la observada en otros trabajos nacionales (Morón et al 2009a).

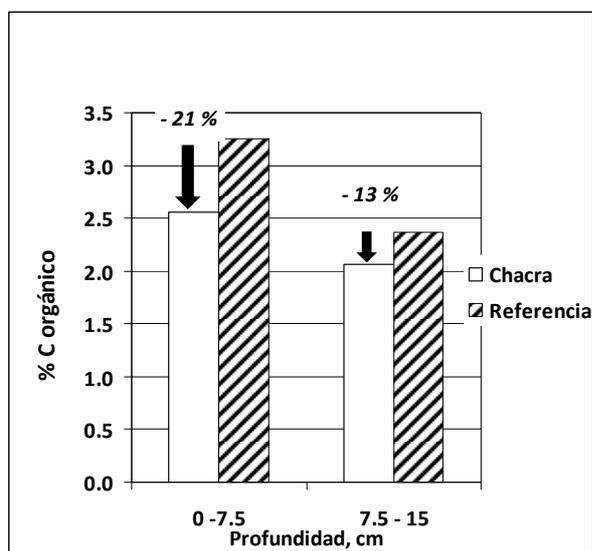


Figura 3. Valores medios de C orgánico de 48 Chacras destinadas a cultivos del departamento de Soriano y respectivos suelos de Referencia según profundidad.

La disminución de los valores medios de PMN de chacras respecto de la media de la referencia son notoriamente más elevadas que las observadas en C orgánico antes mencionadas. Esto se observa tanto en la primera como en la segunda profundidad (figura 4). Esto vuelve a poner de manifiesto la mayor sensibilidad del PMN para detectar diferencias.

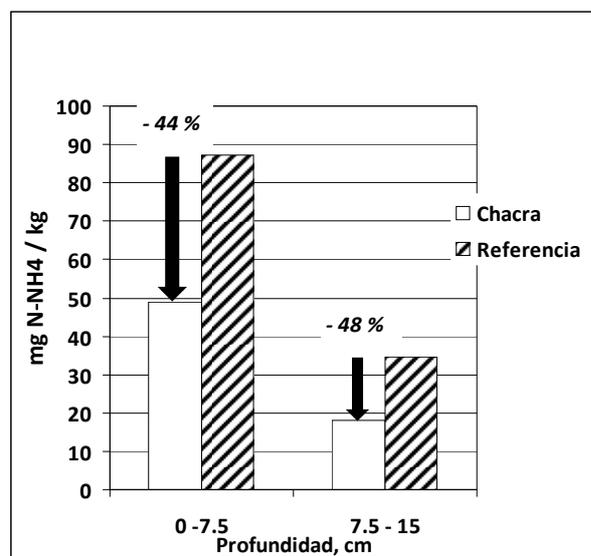


Figura 4. Valores medios de PMN de 48 Chacras destinadas a cultivos del departamento de Soriano y respectivos suelos de Referencia según profundidad.

La figura 5 presenta marcadas disminuciones de las concentraciones de K intercambiable en ambas profundidades. No obstante los valores medios parecen no estar cerca de valores críticos o deficientes para la mayoría de los cultivos. Esto genera interrogantes respecto de la evolución de la disponibilidad del K hacia el futuro en la medida que continúen los mismos sistemas de producción. Esta marcada disminución del K intercambiable en el suelo no es acompañada por otras bases como calcio y magnesio (información no presentada). Los procesos de intensificación agrícola con más cultivos/año y con una alta presencia de soja acentúan el proceso de extracción de K en granos.

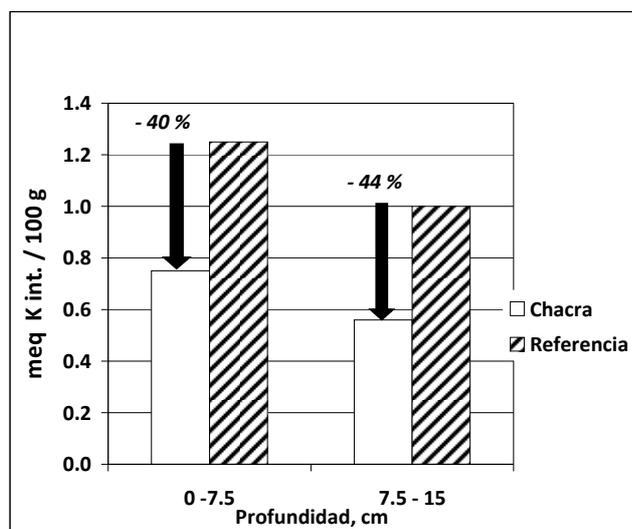


Figura 5. Valores medios de K intercambiable de 48 Chacras destinadas a cultivos del departamento de Soriano y respectivos suelos de Referencia según profundidad

El proceso de acidificación de los suelos consiste en la pérdida de bases intercambiables y su sustitución por hidrógeno en el complejo de intercambio. Esto se traduce en un aumento de la concentración de hidrógeno en la solución del suelo y por tanto en una baja del pH. La agricultura induce un proceso de acidificación (figuras 6 y 7).

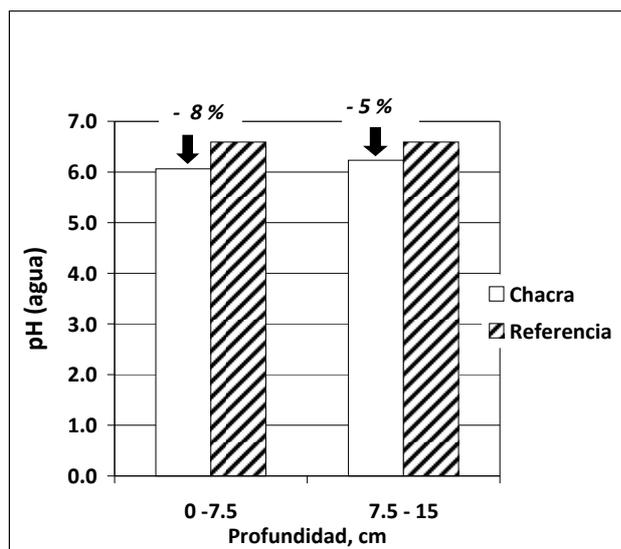


Figura 6. Valores medios de pH de 48 Chacras destinadas a cultivos del departamento de Soriano y respectivos suelos de Referencia según profundidad.

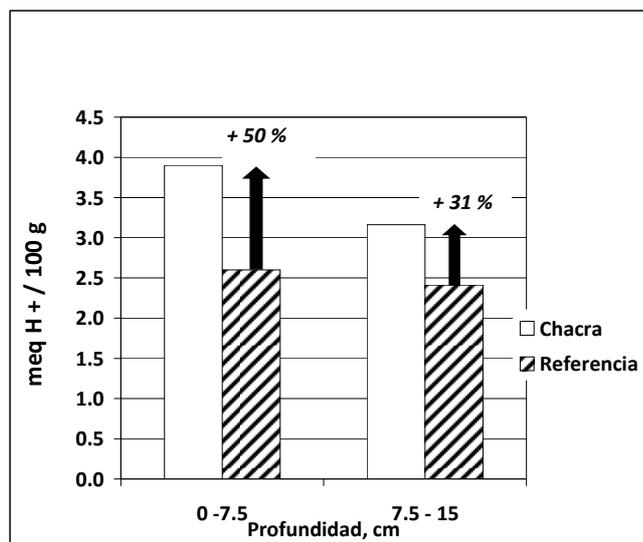


Figura 7. Valores medios de Acidez titulable o potencial hasta pH 7 de 48 Chacras destinadas a cultivos del departamento de Soriano y respectivos suelos de Referencia según profundidad.

Bibliografía citada

- Molfino, J. 2010. Criterios para la selección de suelos en el departamento de Soriano. Proyecto "Calidad del Suelo y Agricultura" (en esta publicación).
- Morón, A.; Molfino, J.; Ibañez, W.; Sawchik, J., Califra, A.; Lazbal, E.; La Manna, A.; Malcuori, E. 2009a. La Calidad de los Suelos Bajo Producción Lechera en Uruguay. In: Resúmenes Simposio Efectos de la Agricultura, la Lechería y la Ganadería en el Recurso Natural Suelo: Impactos y Propuestas. INIA Actividades de Difusión N° 587 p.31-34.
- Morón, A.; Molfino, J.; Ibañez, W.; Sawchik, J., Califra, A.; Lazbal, E.; La Manna, A.; Malcuori, E. 2010. Valores de referencia para la calidad de los suelos de las principales áreas bajo producción lechera de Uruguay. (en prensa).
- Morón, A.; García, A.; Molfino, J.; Dabalá, L.; Quincke, A.; Berger, A. 2009b Calidad de Suelos y Productividad en Sistemas Agrícolas de Soriano. In: Jornada ASUSID Rotaciones, Cultivos de Invierno, Barbechos con y sin Cobertura: que pasa en el Suelo luego de 15 años de Agricultura Continua. 7 p.

SITUACIÓN DEL POTASIO EN LA AGRICULTURA URUGUAYA

Agustín Núñez¹

Introducción

La intensificación agrícola ocurrida en los últimos años ha generado la necesidad de un mayor conocimiento sobre factores determinantes del rendimiento, que históricamente no eran un problema en el Uruguay. Tal es el caso del potasio, macronutriente principal cuyo contenido en los suelos uruguayos no representaba en general una limitante y que actualmente ha demostrado ser deficiente en algunas situaciones.

El objetivo del presente resumen es brindar una idea de la situación del potasio en suelos del Uruguay, las interrogantes que surgen a partir de los conocimientos existentes y plantear los trabajos que se planea desarrollar para responder esas interrogantes.

Situación nacional

En la última década ha ocurrido un aumento sostenido del área agrícola, impulsado por un crecimiento exponencial del cultivo de soja. Como consecuencia de este proceso, se están produciendo granos sobre suelos históricamente marginales para la agricultura.

El aumento de la agricultura se ha dado, no sólo por una mayor área, sino también por una intensificación de las rotaciones en áreas tradicionalmente agrícolas. La fase de cultivos ha aumentado frente a la fase de pasturas, llegando a practicarse agricultura continua en un porcentaje importante del área agrícola. Se observa también un aumento significativo del número de cultivos por año, pasando según Grasso (2010) de 1,1 en el año 2000 a 1,5 cultivos por el ejercicio 2009/2010.

El crecimiento de la agricultura, sumado a un aumento del rendimiento de los cultivos, genera una mayor extracción de nutrientes. A excepción del fósforo y el nitrógeno, en general la fertilización con otros elementos es escasa o nula, generándose un balance claramente negativo de nutrientes.

Tal es el caso del potasio; las recomendaciones nacionales para este nutriente, dada la escasa respuesta encontrada, se limitaban a cultivos exigentes (papa, remolacha), en suelos arenosos o muy cultivados (Oudri et al., 1976). Estos autores plantean como nivel crítico de potasio intercambiable el valor de 0,3 meq/100g de suelo.

En el cuadro siguiente, se presenta la cantidad de potasio extraída en el grano de los diferentes cultivos. Se destaca la soja por ser altamente extractiva en potasio y por ser el cultivo que ocupa mayor superficie.

Cuadro 1. Extracción de potasio en el grano según cultivo.

Cultivo	kg K/t MS de grano	1999-2001 (kg K/ha)	2007-2009 (kg K/ha)
Soja	19,1	28,52	30,74
Girasol	5,6	4,95	5,97
Cebada	5	10,22	12,46
Trigo	4	8,51	10,41
Sorgo	4	10,60	14,42
Maíz	3,97	11,33	14,79

Fuente: IPNI Cono Sur (2007), DIEA (2010)

Suponiendo una rotación trigo/soja, anualmente estaríamos retirando en el grano un promedio de 41 kilogramos de potasio por hectárea. Al no haber entradas de potasio en el sistema vía fertilizante, el balance es negativo y el potasio en el suelo podría disminuir y en algunos suelos llegar a valores limitantes para el desarrollo de los cultivos.

¹ Ing. Agr., cursando Maestría, UDELAR.

Potasio en suelos de Uruguay

Los suelos de Uruguay se caracterizan por su alta variabilidad, la cual se refleja en los niveles de potasio presentes. A modo de ejemplo, se presentan los datos de las unidades de suelo más representativas de Soriano.

Cuadro 2. Potasio disponible en los suelos dominantes de las principales unidades de suelo del departamento de Soriano (Carta de Suelos 1:1.000.000).

UNIDAD MILLÓN	K int (meq/100g)
Bequeló	1,5
Risso	1,1-1,6
Fray Bentos	1,0
Cañada Nieto	0,9
Cuchilla de Corralito	0,4-0,8
La Carolina	0,2-0,8
SG-Guaycurú	0,4

Fuente: MAP (1976)

Hernández et al. (1988) estudiaron 13 suelos de Uruguay, encontrando que la capacidad de suministro de potasio en el corto y largo plazo presentaba diferencias importantes entre suelos. Según los autores, los suelos se diferencian no sólo por su capacidad de suministrar potasio, si no también en la capacidad de mantener el suministro en el tiempo y en la respuesta a la fertilización. Encontraron que el contenido y el tipo de arcilla presente estaban altamente correlacionados con la capacidad de suministro y con la eficiencia de utilización del fertilizante agregado.

El contenido de potasio de un suelo depende no sólo de su riqueza en potasio (la cual está dada por el material madre que generó las arcillas), si no también por la historia de uso de cada suelo. Es necesario entonces conocer el estado actual del potasio en los suelos y como podría ser su evolución.

Datos relevados por INIA sobre la calidad de suelos bajo lechería o agricultura en los departamentos de Colonia, Florida y Soriano, muestran disminuciones importantes en los niveles de potasio intercambiable aunque sin alcanzar los niveles críticos tradicionalmente mencionados (Morón et al. 2006, Morón et al. 2008, Morón et al. 2009). No hay evidencias que permitan conocer como seguirá evolucionando el potasio, si seguirá disminuyendo al mismo ritmo que lo viene haciendo o se ha alcanzado un equilibrio.

Además Morón y Baethgen (1996), en un relevamiento de cultivos de maíz en la cuenca lechera sur y en Young, encontraron que aproximadamente el 50% de los cultivos presentaba contenidos de potasio en plantas deficientes. Esto ocurrió aún en suelos con niveles medios a altos de potasio (0,60 y 0,44 meq/100g). De acuerdo con los autores, podría haber un efecto de la competencia de otros nutrientes (principalmente magnesio) en la absorción vegetal; aunque no descartan la posibilidad de que sea necesaria una revisión de los niveles críticos utilizados.

En el mismo sentido, Bautés et al. (2009), en suelos sobre Areniscas Cretácicas, encontraron respuesta a la fertilización potásica en cebada aún en suelos con niveles suficientes de potasio intercambiable. Almada (2006) sin embargo no encontró efecto del potasio sobre el rendimiento de maíz en tres suelos de Durazno con niveles de potasio intercambiable de 0,26, 0,26 y 0,51 meq/100g.

Cano et al. (2007) evaluaron la respuesta al potasio en un cultivo de maíz sobre un Argisol con 0,16 meqK/100g.

Cuadro 3. Respuesta a la fertilización con potasio en maíz.

Tratamiento	Rendimiento (kg/ha)	K en hoja (%)
Testigo	2638 b	0,38 c
125 kgKCl/ha	6290 a	0,90 ab
225 kgKCl/ha	6467 a	1,03 a

Fuente: Cano et al. (2007)

A pesar de la alta respuesta encontrada, no se alcanzaron los niveles de suficiencia de potasio en hoja recomendados, por lo que podría ser necesario en estos casos ir aumentando gradualmente los niveles de potasio en el suelo (Cano et al., 2007).

Consideraciones finales

Parece indudable que existen situaciones donde la fertilización potásica se hace imprescindible. Sin embargo, hay casos que no son tan claros o en donde no se sabe si la respuesta es rentable.

Es necesario saber si los suelos son o no capaces de mantener el suministro de potasio en niveles suficientes, aún sin fertilización. Para esto hay que conocer como será la evolución de la disponibilidad del potasio según el suelo y el sistema productivo. Es esperable diferencias importantes entre suelos.

En el caso de utilizar fertilizante, parece claro que no todos los suelos se comportarán de igual forma. Sería importante conocer el comportamiento de los diferentes suelos para tener idea de qué eficiencia del fertilizante se puede esperar y cual debería ser la estrategia de fertilización.

Para lograr una aproximación a estas interrogantes, se planea llevar a cabo una serie de trabajos que permitan conocer la dinámica del potasio en el suelo, ya que según la bibliografía es ésta (más que el contenido de potasio en sí) la que determina la disponibilidad de este nutriente para las plantas.

Se buscarán además indicadores que permitan caracterizar los suelos según su comportamiento, de manera de lograr información que sea aplicable en situaciones productivas.

Bibliografía citada

- Almada, P. 2006. Fertilización P y K de maíz en tres suelos de Durazno. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 65p.
- Bautes, C.; Barbazán, M.; Beux, L. 2009. Fertilización potásica inicial y residual en cultivos de secano en suelos sobre Areniscas Cretácicas y transicionales. *Informaciones Agronómicas*. 41:1-8.
- Cano, J.D.; Ernst, O.; García, F. 2007. Respuesta a la fertilización potásica en maíz para grano en suelos del noroeste de Uruguay. *Informaciones Agronómicas*. 36:9-12.
- DIEA, MGAP. 2010. Series históricas. Agricultura. Área sembrada país. Uruguay. <http://www.mgap.gub.uy/portal/hgxpp001.aspx?7,5,60,O,S,0,MNU;E:42;4;MNU;>
- Grasso, A. (ed). 2010. Encuesta Agrícola "Primavera 2009". DIEA, MGAP, Uruguay. 32p.
- Hernández, J.; Casanova, O.N.; Zamalvide, J.P. 1988. Capacidad de suministro de potasio en suelos de Uruguay. *Boletín de investigación* 19. Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay. 20p.
- IPNI Cono Sur. 2007. Cálculo de requerimientos nutricionales-Versión 2007. <http://www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf>.
- Ministerio de Agricultura. 1976. Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay Descripciones, datos físicos y químicos de los suelos dominantes. MAP. Dirección de Suelos.
- Morón, A.; Baethgen, W. 1996. Relevamiento de la fertilidad en los suelos bajo producción lechera en Uruguay. Serie Técnica 73, INIA La Estanzuela, Uruguay. 16p.
- Morón, A.; Molfino, J.; Sawchik, J.; Califra, A.; Lazbal, E.; La Manna, A.; Malcouri, E. 2006. Calidad del Suelo en las Principales Áreas de Producción Lechera de Uruguay: Avances en el Departamento de Colonia. In: CD XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta-Jujuy, Argentina. pp9-13.
- Morón, A.; Molfino, J.; Sawchik, J.; Califra, A.; Lazbal, E.; Ibáñez, V.; La Manna, A.; Malcouri, E. 2008. Calidad de suelos en las principales áreas de producción lechera de Uruguay: Avances en el Departamento de Florida. In: Jornada Técnica Calidad de Suelos. Serie Actividades de Difusión N°556, INIA La Estanzuela, Uruguay. pp1-6.
- Morón, A.; García, A.; Molfino, J.; Dabalá, L.; Quincke, A.; Berger, A. 2009. Calidad de Suelos y Productividad en Sistemas Agrícolas de Soriano. In: Jornada AUSID "Que pasa en el suelo luego de 15 años de agricultura continua". 7 Octubre 2009. Soriano, Uruguay. 7p.
- Oudri, N.; Castro, J.L.; Doti, R.; Carbonell de, A.S. 1976. Guía para fertilización de cultivos. MAP-CIAAB-DSF. 47p.

ESTIMACIONES DEL IMPACTO DE LA AGRICULTURA Y LA GANADERÍA EN EL SUELO EN URUGUAY*

Alejandro Morón¹

Actualmente existe un interés creciente en los problemas ambientales dentro de los cuales se destaca el recurso suelo. Adicionalmente a su consideración agronómica como recurso natural para la producción de alimentos, fibras, etc. su relación con gases atmosféricos de efecto invernadero como CO₂ y N₂O ha incrementado sustancialmente su estudio y consideración a nivel internacional. Los conceptos de calidad del suelo, salud del suelo y sustentabilidad han sido objeto de diversos trabajos en los cuales las definiciones de dichos términos son relativamente similares. Doran & Parkin (1994) definieron la calidad del suelo como la capacidad del suelo de funcionar dentro de un ecosistema sosteniendo la productividad biológica, manteniendo la calidad del ambiente y promoviendo la salud animal y vegetal.

En Uruguay, los principales procesos que determinan la pérdida de calidad de los suelos debido al uso agrícola y ganadero son: a) erosión, b) balance negativo de carbono (C), c) balance negativo de nitrógeno (N) y d) pérdida de porosidad (compactación). Durante la última década la agricultura uruguaya viene atravesando un fuerte proceso de intensificación. En la ganadería, en forma más heterogénea, también existen áreas o sectores donde la intensificación se ha hecho presente. La intensificación genera fuertes interrogantes sobre el impacto en el recurso suelo. Esto genera la necesidad de contar con indicadores que permitan registrar los impactos de las diversas prácticas de uso y manejo. El o los indicadores a utilizar deben tener sensibilidad para detectar cambios, capacidad de integrar objetivos, facilidad de medir e interpretar y ser accesible a muchos usuarios. Sin lugar a dudas, a nivel internacional, el indicador individualmente más estudiado, mas utilizado, es el C orgánico, principal constituyente de la materia orgánica del suelo. Una limitante que presenta el C orgánico como indicador es su baja sensibilidad. Generalmente se acepta que como mínimo se necesitan 5 años para que el indicador C orgánico detecte cambios significativos en el suelo. ¿Cómo conocer el efecto de determinadas prácticas de uso y manejo de suelos o de sistemas productivos sobre el C orgánico del suelo? Sin lugar a dudas lo más exacto y preciso es instalar y mantener ensayos de largo plazo. También es posible realizar seguimientos u monitoreos de determinadas situaciones productivas. Los ensayos de largo plazo constituyen material experimental muy valioso y en muchos casos generadores de información casi insustituible. Pero, debe aceptarse, que difícilmente los experimentos de largo plazo puedan multiplicarse en forma amplia para contestar interrogantes de diferentes suelos y manejos. También existen situaciones de cambios rápidos e importantes a nivel productivo (ejemplo soja) que generan interrogantes que difícilmente puedan responderse ágilmente con experimentos de largo plazo. Los modelos de simulación son alternativas, que cuando están calibrados y validados, pueden dar respuesta rápida a muchas interrogantes u alternativas de uso y manejo de diferentes suelos.

El presente trabajo tiene como objetivo utilizar tres herramientas con amplio respaldo científico y antecedentes para prever el impacto de la ganadería y diferentes rotaciones agrícolas en el C orgánico del suelo. Estas herramientas se utilizan en un Brunosol éútrico típico de la Unidad Ecilda Paullier-Las Brujas.

Los modelos Roth-C y Century mostraron una buena performance cuando fueron comparados con otros modelos para analizar la capacidad predictiva en experimentos de largo plazo (Smith et al, 1997). A nivel nacional el modelo Century fue validado con el experimento de largo plazo de Rotaciones de INIA La Estanzuela (Baethgen et al, 1993, Baethgen & Morón, 2000).

Se utilizan las siguientes herramientas:

IPCC (2006): Coeficientes del IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático) publicados por IPCC (2007). Con el objetivo de calcular la emisión de CO₂ el IPCC elaboró un sistema basado en coeficientes provenientes de una exhaustiva revisión y posterior síntesis para estimar los cambios de stock de C orgánico del suelo que se producen con ciertos usos y manejos. La situación inicial o punto de partida son pasturas naturales. Se utilizan diferentes coeficientes con sus respectivas variaciones para un período de 20 años, para la profundidad de 0-30 cm y sin considerar el factor erosión. Se pronostica la evolución de 4 alternativas: 1) pastura natural severamente degradada, 2) pasturas mejoradas, 3) agricultura continua con laboreo convencional, y 4) agricultura continua con siembra directa. La figura 1 presenta los resultados para estas alternativas. Son claros los contrastes que se generan en el nivel de C orgánico en el suelo. Las pasturas

* Publicado en INIA, Serie de Actividades de Difusión N°587, 2009.

¹ INIA LA Estanzuela. E-mail: amoron@inia.org.uy

naturales severamente degradadas pueden afectar tanto al suelo como la agricultura con laboreo convencional. La siembra directa presenta una media superior a la agricultura con laboreo convencional y puede llegar a mantener aceptables niveles de C orgánico en su rango superior de la variabilidad presentada.

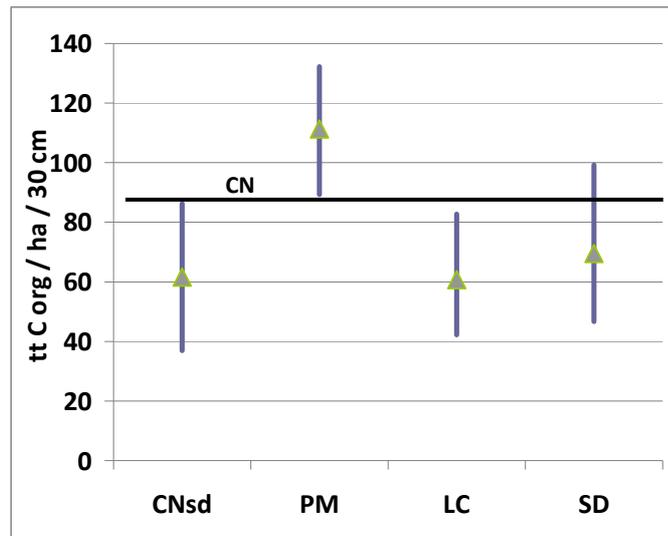


Figura 1. Estimación de la evolución (media \pm 2 ds) del C orgánico de un Molisol en un período de 20 años según coeficientes IPCC (2006) de uso y manejo. CNsd = campo natural severamente degradado, PM = pastura mejorada, LC = agricultura con laboreo, CN = campo natural.

Roth-C 26.3: Modelo Roth-C 26.3 con origen en la Estación Experimental de Rothamsted de Inglaterra publicado por Coleman & Jenkinson (2005). Este modelo se utiliza para estimar la evolución del C orgánico en 0-15 cm de profundidad para 2 grandes usos:

a) El efecto de la introducción de la ganadería en las pasturas naturales. En este uso se define una etapa inicial que comienza en el año 1617 (introducción de la ganadería) hasta al año 1900. Para esta etapa se estimó una utilización promedio del ganado de la producción de las pasturas naturales del 20 %. La segunda etapa sobre pasturas naturales se definió desde el año 1900 hasta el año 2009, asignándole una utilización promedio del ganado del 50 % de la producción de las pasturas naturales.

b) El segundo gran uso es la agricultura. A partir del efecto acumulado de la ganadería hasta el 2009 se estima la evolución del C orgánico de diferentes rotaciones agrícolas para un periodo de 60 años (2009-2069): soja continua, trigo continuo, soja-trigo, soja-trigo/pastura. Para el cultivo de trigo se asumió un rendimiento de 2500 kg grano / ha y para la soja 1900 kg grano /ha. Para la rotación con pasturas la rotación base es de 6 años con 3 años de soja-trigo y luego 3 años de pastura de gramínea y leguminosas. En promedio la producción total de parte aérea de las pasturas fue de 9058 kg de materia seca por año y se consideró una utilización por parte de los animales de 65 % El modelo Roth-C no considera el efecto de la erosión ni formas o tipos de laboreo.

La Figura 2 presenta las evoluciones estimadas con el Roth-C para el efecto de introducción de la ganadería. Se presenta un mayor efecto negativo sobre el contenido de C orgánico del suelo en el segundo período (1900-2009) donde la utilización del ganado es superior. La principal explicación estaría en el menor ingreso de C vegetal al suelo. En la Figura 3 se presentan los efectos de diferentes rotaciones agrícolas. El cultivo continuo de soja presenta el mayor efecto de degradación y en segundo lugar el trigo continuo. La rotación de 2 cultivos por año con soja-trigo presenta una situación notoriamente mejor pero se debe recordar que no está considerado el efecto erosión. La rotación de soja-trigo con pasturas tiene un efecto positivo sobre el C orgánico presentando incrementos sobre el valor de origen.

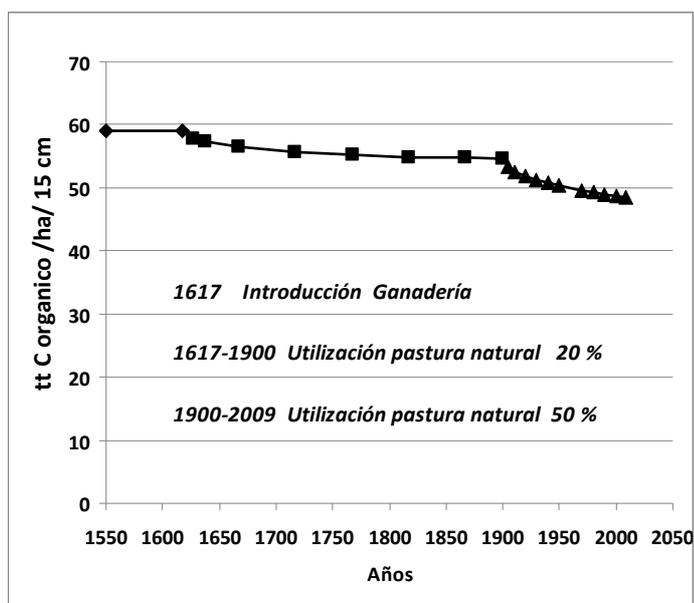


Figura 2. Evolución del C orgánico del suelo de un Brunosol éútrico de la Unidad Ecilda Paullier-Las Brujas (Coneat 161, Molisol) con pasturas naturales después de la introducción de la ganadería. Según Modelo Roth-C.

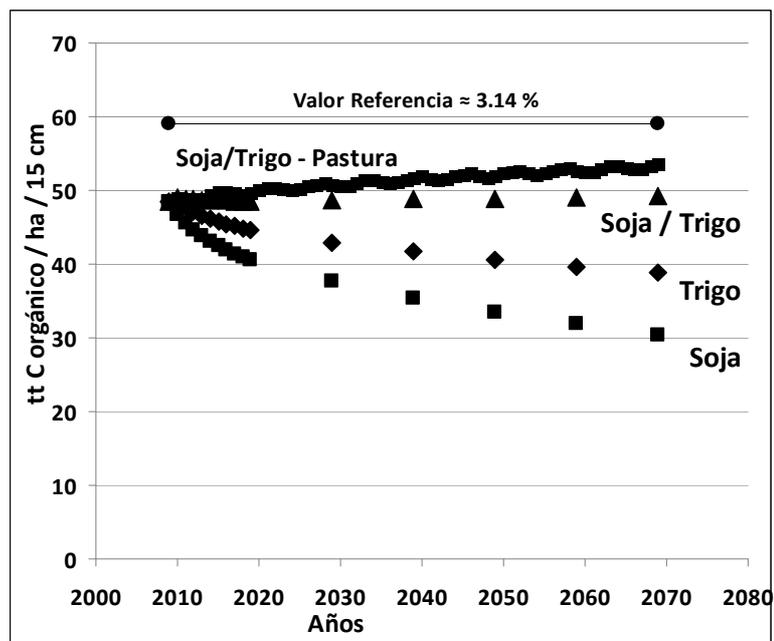


Figura 3. Evolución del C orgánico del suelo partiendo de un campo natural en un Brunosol éútrico de la unidad EP-LB (Coneat 161, Molisol) para diferentes rotaciones agrícolas. Modelo Roth-C, no considera erosión.

Century v 4.0 Modelo Century v 4.0 con origen en la Universidad de Colorado (USA) publicado por Metherell et al (1993). Los niveles de información solicitados por el modelo para realizar las simulaciones son notoriamente superiores a los del modelo Roth-C. Las alternativas de uso ganadero y agrícolas simulados con este modelo son exactamente las mismas que fueron mencionadas anteriormente para el modelo Roth-C. Se diferencia en que las estimaciones son para la profundidad de 0-20 cm y se estimó la evolución del C orgánico en siembra directa en situación de no-erosión y con erosión. La erosión fue estimada por la USLE (García Percha et al, 2005) corregida por el factor 0.75 según Hill et al (2008). Las productividades de los cultivos y de las pasturas son estimadas por modelo Century.

La Figura 4 presenta las diferentes rotaciones agrícolas incluyendo el efecto erosión. Como se puede observar las tendencias generales son similares a la observada para las simulaciones del modelo Roth-C.

Las simulaciones de las rotaciones agrícolas Century así como las de Roth-C ambas parten de una pastura natural. Las diferentes rotaciones muestran en forma definida tendencias hacia puntos de equilibrio en los niveles de C orgánico. Aunque el punto de arranque no sea una pastura natural estas rotaciones van a tender hacia los mismos puntos de equilibrio en el transcurso del tiempo.

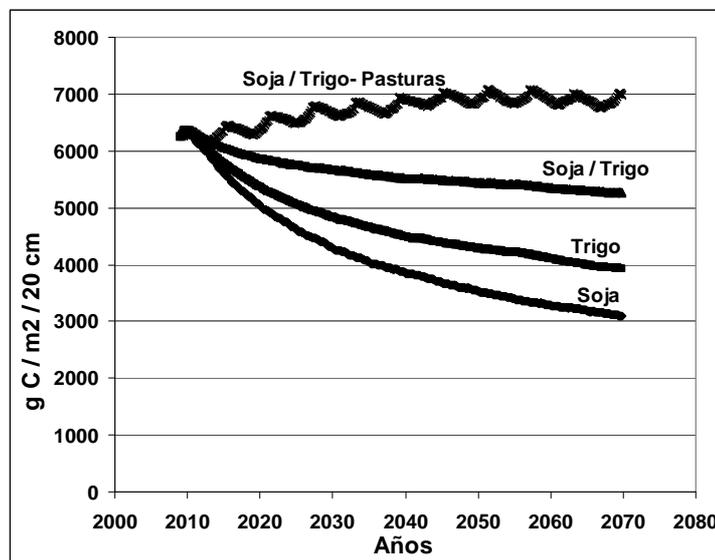


Figura 4. Evolución del C orgánico del suelo para diferentes rotaciones agrícolas en siembra directa en un Brunosol éútrico de EP-LB (Molisol). Century V4.0 considerando la erosión. Valor Referencia = 7880 g C/m²/20cm.

Bibliografía citada

- Baethgen, W.E.; Morón, A. 2000. Carbon Sequestration in Agricultural Production Systems of Uruguay: Observed Data and CENTURY Model Simulation Runs. Anales de la V Reunión de la Red Latinoamericana de Agricultura Conservacionista, Florianópolis, Brasil, CD Rom
- Baethgen, W.E.; Morón, A.; Díaz-Rossello, R.M. 1994. Modeling long term soil organic changes in six cropping systems of SW Uruguay. International Soil Science Society Transcripts, Vol 9:300-302. Acapulco, México.
- Coleman, K., Jenkinson, D.S. (2005) ROTHC-26.3 A model for the turnover of carbon in soil. Model description and windows users guide. In: http://www.rothamsted.bbsrc.ac.uk/aen/carbon/mod26_3_win.pdf
- Doran, J.W., Parkin, T.B. 1994. Defining and Assessing Soil Quality. In: Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. SSSA Special Publication Number 35. p 3-21
- Gracia Préchac, F.; Clérici, C.; Hill, M. 2005. Modelo de estimación de erosión de suelos en Uruguay y región sur de la Cuenca del Plata. Versión 5.0 para Windows. In: <http://www.fagro.edu.uy/~manejo/EROSION%205/PARA%20WEB/erosion.htm>
- Hill, M; García Prechác, F.; Terra, J.; Sawchik, J. 2008. Incorporación del efecto del contenido de agua en el suelo en el modelo USLE/RUSLE para estimar erosión en el Uruguay. Agrociencia Vol. XII N° 2: 57-67
- IPCC. 2007. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. CD -Rom
- Metherell, A.K.; Harding, L.A.; Cole, C.V.; Parton, W.J. 1993. Century Soil Organic Matter Model Environment. Technical Documentation Agroecosystem Version 4.0. USDA-ARS. Fort Collins Colorado. <http://www.nrel.colostate.edu/projects/century/>
- Smith, P.; Smith, J.U.; Powlson, D.S.; McGill, W.B.; Arah, J.R.M.; Chertov, O.G.; Coleman, K.; Franko, U.; Frohling, S.; Jenkinson, D.S.; Jensen, L.S.; Kelly, R.H.; Klein-Gunnewiek, H.; Komarov, A.S.; Li, C.; Molina, J.A.E.; Mueller, T.; Parton, W.J.; Thornley, J.H.M.; Whitmore, A.P. 1997. A Comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long term experiments. Geoderma 81: 153-225.

MÁS DE 25 AÑOS DE INVESTIGACIÓN EN MANEJO DE LA FERTILIZACIÓN EN TRIGO

Adriana García Lamothe¹

El objetivo de este trabajo es describir a grandes rasgos el curso de la investigación en manejo de la fertilización del cultivo de trigo conducida en INIA-La Estanzuela (antes Centro de Investigaciones Agrícolas “Alberto Boerger” - MAGP) alineada con la evolución del cultivo en los sistemas productivos.

Características del clima y suelos del área agrícola tradicional

La región litoral oeste, centro sur y este son climáticamente las de mayor aptitud para el cultivo. La temperatura media invernal es 10.7 ° C y a la de la floración ocurre con menos de 20 °C. Hay una tendencia hacia el aumento del volumen de precipitaciones anuales, en promedio alcanzan los 1300 mm distribuidas a lo largo del año. No obstante es frecuente el exceso de agua en el suelo entre mayo y setiembre y humedad relativa alta que propicia el desarrollo de enfermedades que atacan al cultivo afectando su productividad. Los suelos dominantes son de texturas medias, profundidad y diferenciación variable, capacidad de almacenaje de agua (media), desarrollados a partir de materiales madre de diferentes edades geológicas. En su estado natural son deficientes en fósforo (P) y ricos en potasio (K).

Evolución del cultivo de trigo en la agricultura uruguaya

En el siglo XX el trigo fue el cultivo de mayor área, casi un monocultivo en la primera mitad del siglo. En la segunda mitad se comenzó a rotar el cultivo con otros cultivos y pasturas mixtas perennes (gramíneas-leguminosas). El área de trigo disminuyó de casi 900 mil hectáreas a mediados de la década del 50 a la mitad en años siguientes, y con oscilaciones se mantuvo en ese orden durante el resto del siglo. A principio del siglo XXI el área con trigo llegó a un mínimo de 117 mil ha para luego crecer muy por encima de ese valor y ser en la actualidad el segundo cultivo en área de siembra después de soja.

El incremento reciente de la producción total de trigo se explica más por el aumento en el área sembrada que por incremento en la media nacional, si bien ésta última mantiene una tendencia creciente. Esta de 1935 a 1945 osciló entre 0.5 y 0.9 tt/ha, quince años después llegó a máximos de 1.2 tt/ha hacia los 80 a 2t t/ha y en el 2009 superó las 3 tt/ha. La evolución de la media nacional es atribuible al mejoramiento genético y el desarrollo tecnológico (fertilizantes, pesticidas, plaguicidas, maquinaria, etc.).

El área sembrada en el 2009 fue 546 mil ha (DIEA), 15 % mayor que el año anterior y evidencia un crecimiento continuo desde el 2006. Este crecimiento se atribuye al aumento del valor de los granos, potenciado en Uruguay por la política de retenciones a las exportaciones de trigo y soja de Argentina que ha alentado a productores y empresas del país vecino a hacer agricultura en nuestro país.

Evolución del uso de fertilizantes

La preocupación respecto al buen uso de los fertilizantes en Uruguay radica fundamentalmente en tres aspectos, por un lado, la necesidad de aumentar la productividad para ser competitivos en los mercados internacionales, además minimizar el efecto negativo de la agricultura en la calidad del suelo y por último, el peso de los fertilizantes en la estructura de costos de producción al tener que importar las materias primas para producirlos. En el cultivo de trigo los fertilizantes constituyen cerca de la mitad de los costos directos de producción.

Cuando el cultivo de trigo comenzó a sembrarse en forma extensiva se hizo en tierras de escasa o nula historia agrícola sin fertilización, basado en el aporte de nutrientes del suelo tras el laboreo convencional. Ese manejo en el largo plazo condujo a erosión química y física de los suelos y a la necesidad de aportar nutrientes para mantener la productividad del cultivo. Entonces a partir de los años 60 con la adopción de rotaciones de cultivos con pasturas perennes se logró mitigar la erosión de

¹ Ing. Agr., M.Sc., INIA La Estanzuela (agarcia@inia.org.uy)

los suelos. Contribuyó en este sentido la fertilización con P de las pasturas y el N proveniente de la fijación biológica (FBN) de las leguminosas presentes en ellas. La FBN significó una economía de N que ayudó a la rápida adopción de los sistemas de la rotación cultivo-pastura y los sistemas agrícola-ganaderos.

Actualmente la pérdida de competitividad de la ganadería respecto a la agricultura tiende al aumento de sistemas de agricultura continua. El consumo de fertilizantes crece anualmente y de mantenerse la expansión de la frontera agrícola, y a medida que se reduzca la cada vez más la capacidad de aportar nutrientes del suelo, la tasa de incremento seguirá en aumento. Entre el 2000 y el 2007 Uruguay duplicó la importación de fertilizantes y se quintuplicó la salida de divisas por ese concepto.

Líneas de Investigación en nutrición mineral y uso de fertilizantes en Trigo

A partir de los años 60 La Estanzuela junto con Facultad de Agronomía iniciaron experimentos de respuesta a N-P-K, y la información generada se resumió en la Guía para Fertilización de Cultivos del CIAAB de 1976. La guía definía índices para el N según el tipo de suelo y edad de la chacra (vieja > 4 años con cultivos; nueva hasta 4 años, y campo recién roturado virgen o con pradera con leguminosas) que junto al cultivo antecesor, permitían una recomendación de N para el cultivo en cuestión. Para trigo la recomendación con índice 0 (máxima respuesta a N) variaba entre 40 y 90 kg de N/ha (antecesor remolacha azucarera o sorgo, respectivamente) y sugería bajar la dosis de 10 a 20 kg ante posible vuelco. Para una relación de precios insumo:producto = 4 (valor al que históricamente ha tendido) la recomendación promedio era 70 kg de N/ha en chacras viejas, 40 en chacras nuevas, y no aplicarlo N en campos recién roturados.

Para el P se fijaron 4 índices: el 0 (rango de 0-7 ppm P-Bray-I) muy limitante en P; 1 (rango 7-12 ppm) con respuesta importante; 2 (rango 12-16 ppm) con respuesta importante en cultivos exigentes y por último 3 (>16 ppm) sin respuesta a P. Para trigo la recomendación de P dependía mayormente del índice (60, 40, 20 y 0 kg de P₂O₅/ha).

En general fue muy escasa la respuesta a potasio (K) en esos experimentos regionales por lo que la guía cita tres valores de referencia: alto, medio y bajo, y la recomendación para cada caso de: no fertilizar, hacerlo en cultivos exigentes o agregar una dosis fija adecuada, respectivamente. Un valor > a 0.30 milieq de K intercambiable./100 g de suelo era considerado alto.

Nuevos trigos: nuevas curvas de respuesta a N y estrategias de fertilización

Al comienzo de la década de los 80, La Estanzuela liberó las primeras variedades de ciclo largo y doble propósito (forraje-grano) lo que hizo necesario revisar las prácticas de manejo entre ellas, la fertilización y en particular la nitrogenada. Estos trigos sembrados temprano podían o no ser pastoreados según la necesidad de forraje del productor, la posibilidad de "piso" o la ecuación económica coyuntural. Cuando no se pastoreaban, la respuesta a N podía estar limitada por el vuelco; en cambio, cuando se pastoreaban, el rendimiento tendía a caer, aún retirando a tiempo a los animales (previo a Z3.1), pues gran parte del N absorbido era extraído por la ingesta y la devolución (orina) no era uniforme o en otro portero.

Entre 1981 y 1985 se evaluaron estrategias de fertilización para aumentar la eficiencia de uso del N (EFUN) para producir grano y se concluyó que ésta era mayor al aplicar la mayor parte o todo el N hacia el fin del macollaje (post-pastoreo) y no antes (siembra o Z 2.2) si pastoreara o no al cultivo. En el primer caso, el N favorecía el rebrote del cultivo y era mayor el rendimiento final en grano; en el segundo, aparte de un posible efecto sobre la reducción de pérdidas de N aplicado al quedar expuesto por menos tiempo a fenómenos naturales, se reducía el vuelco, era menor el agotamiento del agua del suelo en años secos, mayor la proporción de macollos fértiles, entre otros aspectos beneficiosos. La fertilización con N a la siembra no favorecía la implantación del cultivo ni aumentaba el rendimiento en grano, de modo que la aplicación de N podía retrasarse hasta el inicio del macollaje o más tarde, sin perjudicar el rendimiento. Por supuesto el N temprano tenía efecto positivo sobre el momento y cantidad de oferta de forraje para el ganado (11 kg de MS/ha por kg de N aplicado). Cabe acotar que los sistemas de producción usados para este estudio rotaban cultivo con pasturas y el laboreo convencional.

Paralelamente a la liberación de trigos de ciclo largo, La Estanzuela comenzó a seleccionar germoplasma de CIMMYT y en 1984 se liberó el cultivar Estanzuela Cardenal de ciclo corto que fue un

hito para la evolución del rendimiento y para el manejo del cultivo. Estanzuela Cardenal significó un salto en el potencial de rendimiento de casi el doble (7t t/ha) lo que revolucionó al manejo del cultivo al permitir adoptar un paquete tecnológico antes económicamente inviable. El cultivar era no obstante, susceptible a enfermedades a hongos por lo que en 1985 y 86 se estudió y cuantificó la interacción entre la respuesta a N y la protección con fungicidas, y a su vez la interacción del control de malezas. El impacto de esa interacción sobre la respuesta en grano al N fue tal promovió un plan piloto de trigo (MAGP) que promovió la rápida adopción de fungicidas y aumento de las dosis de N utilizadas. La EFUN pasó de valores promedio de 10 kg de grano/por Kg de N agregado a valores de más de 30 kg de grano con buenas estrategias de manejo del fertilizante.

Debido a los requerimientos cada vez mayores de N y una EFUN en promedio menor a 40 % cuando se aplicaba el N a la siembra y algo mayor a Z 2.2 según el año, se evaluó también para estos cultivares el fraccionamiento del N. Si bien no era previsible un efecto significativo en la reducción de pérdidas de N debido al ciclo corto, se observó que en el promedio de los años, si la mitad del N era aplicado al inicio del encañado, la EFUN era mayor, y en el peor de los casos igual que si todo el N se agregaba do a la siembra o Z2.2. El resultado se atribuyó a menor incidencia de enfermedades y plagas, mayor agua en el suelo a floración en períodos secos, mayor supervivencia de macollos y granos por espiga, entre otros aspectos.

Cuando a partir de la década de los 90, comenzó la adopción de la siembra directa (SD) la inquietud sobre si la validez de las recomendaciones de fertilización en los nuevos sistemas motivó nuevos trabajos de investigación que confirmaron el beneficio de aplicar buena parte del N a fin del macollaje, en este caso con implicancia importante en la calidad del grano obtenido, pues se reducía el riesgo de obtener baja proteína era aparentemente mayor en estos sistemas con SD que en los de laboreo tradicional.

A su vez para aumentar la EFUN se evaluaron fuentes de liberación controlada con inhibidores de la nitrificación u otros mecanismos, que además ofrecían la ventaja práctica y económica de obviar una operación. Estas fuentes de N fueron más eficientes que la urea en siembras tempranas y períodos otoño-invierno con exceso de agua, pero no lo suficiente como para que la relación costo-beneficio las hiciera más rentables que la urea (no habiendo un costo asociado a el efecto ambiental). En cuanto a fuentes líquidas de N como el UAN, cada vez más utilizado en la producción, en el promedio de los años resultó tan eficiente como la urea, aunque con ventajas prácticas de manejo, rapidez y uniformidad de aplicación.

Indicadores utilizados para las recomendaciones de N

Paralelo a los trabajos para mejorar la EFUN fue el esfuerzo por encontrar indicadores de disponibilidad de N que permitiesen ajustar la cantidad del nutriente a aplicar al trigo. Se comenzó al inicio de la década de los 80 estudiando al nitrato, su variabilidad en el suelo, el número de tomas requerido para una muestra compuesta representativa, su variación en la topografía, en profundidad y respecto al manejo anterior. La utilidad del nitrato como indicador para ajustar la fertilización del cultivo se observó era relativa, pues si bien permitía establecer la disponibilidad de N en el momento del muestreo, su variabilidad temporal, que no era buen indicador de la capacidad de aporte de N del suelo. De hecho no se correlaciona estrechamente con el potencial de mineralización de N (PMN por incubación anaeróbica de 7 días) aún cuando el origen del nitrato sea principalmente la mineralización de residuos orgánicos. No obstante finalizado el macollaje una concentración del anión en el suelo mayor o igual a 20 ppm significa una gran capacidad de reponer N y baja la probabilidad de encontrar respuesta al nutriente. Debajo de ese nivel sin embargo, la variabilidad de la relación nitratos – rendimiento trigo no permite recomendar dosis de N a aplicar.

La utilidad limitada del nitrato como indicador de la disponibilidad futura de N y el beneficio de fraccionar buena del nutriente finalizado el macollaje llevó a explorar otros indicadores como: el estatus nutricional del cultivo. Se estudió la posibilidad de usar la concentración de nitrato en la base del tallo pero la variabilidad de esa medida según la hora de muestreo y condiciones de día se consideraron una complicación práctica para su adopción.

Entre 1991 y el 2000 se condujeron experimentos a campo para ajustar curvas de respuesta a N a Z 3.0 - 3.1 en parcelas con diferentes disponibilidad de N inicial, con el objetivo primero de establecer niveles críticos de N en plantas (%N) que sirviesen de guía para decidir la necesidad de fertilización para cierto rango de rendimiento esperado. Esa información complementada con otra de experimentos posteriores (casi 100 curvas de respuesta) permitió ajustar un modelo de recomendación de dosis para

el óptimo económico (DOE) con base en el % de N en plantas a Z3.0 (%N) y el rendimiento esperado. La metodología se validó a campo y se consideró la más precisa para ajustar la fertilización a pesar de sus limitaciones. Un resultado colateral interesante y útil fue que al fertilizar al trigo con la DOE estimada a través del modelo, la proteína en el grano era adecuada para panificación (>11%) lo que significaba que el % de proteína en el grano era un buen indicador de la historia de disponibilidad de N del cultivo y podía contribuir a mejorar el manejo futuro del N.

A partir de 1998 se calibró un medidor manual de clorofila (Minolta SPAD 502) con más de 400 datos promedio de 30 lecturas cada uno, para estimar el % de N en el campo y evitar la complicación de manejo de la muestra y la demora en el resultado del análisis de laboratorio. La estimación del SPAD resultó suficientemente buena en el rango de respuesta a N como para recomendar su uso a campo.

No obstante una de las mayores limitaciones del diagnóstico foliar fue y sigue siendo estimar el rendimiento que se va a obtener cuando buena parte de éste se concreta luego de Z3.0. Otra, que el % N de las plantas varía con estreses bióticos y abióticos y puede conducir a errores en las recomendaciones, y lo mismo ocurre cuando el muestreo se hace a destiempo, antes o después de Z3.0. A esas limitantes tradicionales debe agregarse que la SD está arrojando valores de % de N en planta altos que frecuentemente no se asocian con una capacidad de aporte de N similar avanzado el ciclo del cultivo. Teniendo en mente las últimas limitantes, pues la primera (estimar el rendimiento) es común a todos los métodos, y el hecho que el Balance de N está siendo cada vez más usado en la producción por razones prácticas fundamentalmente, en el 2008 se procuró mejorar al método del Balance de N incorporando un medida objetiva del aporte de N proveniente de la mineralización, uno de los elementos que debe considerar. Si bien el potencial de mineralización de N (PMN) se utiliza desde hace una década para caracterizar chacras en cuanto al aporte de N, no había valores de disponibilidad de N asociados a esa propiedad del suelo, capaz de ser utilizados en el balance. La información de experimentos de caracterización de la respuesta N en cultivares comerciales y líneas experimentales de trigo conducida entre el 2001 y el 2008 donde existían datos de PMN permitió ajustar una regresión entre esos valores y el N absorbido por el trigo sin fertilizar (testigos) del tipo *lineal-plateau* (lineal hasta PMN=50 ppm). Actualmente se está validando la metodología, pero siempre manteniendo la recomendación de fraccionar parte del N a fin del macollaje.

Nuevas viejas interrogantes

El énfasis de la investigación en fertilización de trigo se ha puesto en el manejo del N por el impacto que tiene sobre el rendimiento y la calidad del grano y por ende, sobre el margen bruto/ha. La respuesta a P y K fue estudiada en décadas pasadas con sistemas de producción diferentes, la siembra directa era impensable y los rendimientos del trigo mucho menores a los actuales. La escasa movilidad del P en el suelo y la residualidad de los fertilizantes fosfatados utilizados por años en las praderas y/o como fertilización basal de cultivos, aumentó la concentración de P en los suelos agrícolas llevándola a valores entre 10 ppm y 15 ppm (P Bray-I). Con la actual expansión de la agricultura a suelos más marginales vuelven a aparecer valores de P muy limitantes (< a 4 ppm) en los suelos. Parece difícil levantar esos niveles con SD, pero de no lograrse es posible que la productividad del trigo se vea afectada. A este hecho debe sumarse el mayor índice de cosecha de los cultivares nuevos de trigo que es acompañado por sistemas radicales menos voluminosos que exploran menos el suelo y por ese motivo requieren más P presente en el mismo. Por otro lado la compactación, asociada al tipo de suelo comienza a ser un problema a tener en cuenta. El nivel crítico de P para trigo con SD es 18 ppm, razón por la cual la investigación deberá enfocarse ahora en aumentar esos macro nutrientes poco móviles como el P y el K en situaciones de deficiencia.

La intensificación agrícola implica mayor extracción de nutrientes por los cultivos. Las prácticas de fertilización durante años han contemplado solo al N y P. Una consecuencia de ese manejo es la aparición cada vez más frecuente de síntomas típicos de deficiencia de nutrientes como azufre (S) y/o de K. En 1998 INIA inició estudios de respuesta a S en trigo con el objetivo de mejorar la calidad panadera del grano. Esta línea de investigación evaluaba estrategias de fertilización tardía de N (momentos, dosis, fuentes) y la interacción con otros nutrientes que se sabía podía afectar la calidad del grano, entre ellos el S. Los resultados dejaron en evidencia que no era raro que el S aumentara el rendimiento en grano, aún en suelos de texturas y fertilidad media. La respuesta era más frecuente luego de barbechos prolongados, cultivos muy extractivos, suelos erosionados, compactados con pobre estructura. La dosis óptima de S varió entre 10 y 40 Kg/Ha, dosis más altas (50 kg/ha) tuvieron en general efecto negativo. El incremento en rendimiento osciló entre 6 y 15 % y la eficiencia (kg de

grano/kg de S aplicado) entre 4 y 28. La concentración de sulfato en el suelo no demostró ser buen indicador de la probabilidad de respuesta a S, si bien con valores mayores a 6 ppm de S-SO₄ ésta era poco probable. La fuente usada fue CaSO₄ pero en el 2009 se vio que la respuesta a S podía ser más consistente con K₂SO₄, sugiriendo que la interacción entre la respuesta a K y S debería estudiarse con profundidad en sistemas de producción, con cultivos muy extractivos de ambos nutrientes.

El uso de fertilizantes N-P-K se abandonó hace décadas en el cultivo de trigo. El K era hasta hace poco considerado suficiente en la mayoría de los suelos agrícolas y aún lo es en muchos suelos del litoral si bien ha caído el contenido original de K intercambiable. Desde hace unos años empezaron a aparecer síntomas típicos de la escasez de K lo que motivó que en el 2008 se reiniciara el estudio sistemático de la respuesta a K en cultivos de invierno. Resultados preliminares sugieren que 0.3 meq. de K int. /100 g no es hoy el nivel de suficiencia (sin respuesta a K) y debe ser revisado, y de hecho se está haciendo en conjunto con Facultad de agronomía y asociaciones de productores pues con valores de K int. de 0.32 a 0.44 meq./100 g de suelo y texturas franco-arenosas a arenosas se ha encontrado respuesta a KCl, e incluso con valores más altos en suelos de textura franca asociados en este caso a problemas de compactación.

Los estudios de respuesta a oligoelementos son escasos y discontinuos debido a que los resultados han sido erráticos y muy dependientes del año y del cultivar. Tal vez el efecto más consistente en trigo se ha determinado para la fertilización con Zinc, un elemento relativamente inmóvil y de contenido marginal en los suelos del litoral (entre 0.5-1 ppm).

Desafíos futuros

Independientemente de la creciente atención hacia nutrientes menos estudiados, no se ha dejado de lado al N. Las líneas de investigación actual no obstante, están más enfocadas al manejo de la fertilización del sistema, tendiendo a la sustentabilidad de éstos y por consiguiente a la reducción de la dependencia de fertilizantes sintéticos a través del uso de abonos verdes y/o el manejo por ambientes considerando propiedades físicas, químicas y topográficas que permitan aumentar la EFUN.

La información a que hace referencia el texto puede encontrarse en las Series Técnicas de INIA N° 54 y 144 y artículos del autor en Jornadas de Cultivo de Invierno, Web y otras revistas INIA.

UNA EXPERIENCIA PRIVADA EN LA UTILIZACIÓN DEL POTENCIAL DE MINERALIZACIÓN DE NITRÓGENO EN LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA DEL TRIGO

Santiago Arana¹

La mayor parte del área agrícola de Uruguay presenta condiciones agroclimáticas (temperatura, radiación y precipitaciones) favorables para la producción de cultivos de invierno, siendo el trigo el de mayor área sembrada. A diferencia de otras zonas productoras de trigo en el mundo, en Uruguay, la disponibilidad hídrica no es una limitante frecuente para alcanzar altas producciones de grano (Corsi, 1982), siendo el nitrógeno (N) uno de los principales factores que determina el rendimiento. Los sistemas de producción mixtos que caracterizaron la producción agrícola de Uruguay durante casi 40 años, generaban condiciones de alta capacidad de mineralización de N luego del ciclo de pasturas con leguminosas (García Préchac et al, 2004). Sin embargo, en los últimos años se han generalizado rotaciones agrícolas puras en siembra directa, que disminuyen la capacidad de aporte de N de los suelos, haciendo al sistema más dependiente de la aplicación de fertilizantes nitrogenados (Hoffman et al). Por otro lado, cualquiera de los potreros de producción de un campo uruguayo presenta gran variabilidad en los diferentes factores que afectan el crecimiento y el rendimiento de los cultivos (de Wit, 1992). Generalmente, estos factores están relacionados con el tipo de suelo y sus características físicas y químicas (profundidad, textura, pH, infiltración de agua, posición topográfica, etc.) y se generan “zonas” o “ambientes” dentro del potrero que presentan grandes diferencias en su productividad.

En consecuencia, cada vez resulta más importante disponer de modelos de ajuste de la fertilización nitrogenada que nos permitan maximizar la productividad, optimizar el retorno económico y minimizar los impactos ambientales, contemplando unidades de manejo más pequeñas y diferentes entre sí.

Hasta la fecha, los modelos de fertilización nitrogenada de trigo utilizados en Uruguay manejan criterios de suficiencia para N, correlacionando valores de parámetros de ajuste (contenido de nitratos en el suelo y de N en planta) con la fertilización a realizar en diferentes estadios fenológicos (Baethgen, 1992, García Lamothe, 1998, Hoffman et al). Si bien estos modelos están validados para las condiciones de Uruguay, su aplicación en empresas agrícolas que manejan superficies importantes y dispersas resulta dificultosa desde el punto de vista operativo. Se requieren tomar muestras de suelo o planta de cada situación de manejo (potrero o ambiente según el caso), en tres momentos a lo largo del ciclo del cultivo. La sincronización necesaria para obtener las muestras en el estado fenológico preciso, enviarlas al laboratorio, recibir el resultado, ajustarlo y coordinar la aplicación de fertilizante de los tres parámetros de ajuste en tiempo y forma resulta complejo en muchos casos. Además, la variabilidad que presentan los indicadores de suelo con las precipitaciones (por lixiviación o escurrimiento) y los indicadores de planta con el desarrollo (reducción del % de N a medida que avanza el encañado), exigen precisión en los muestreos que muchas veces es difícil de lograr por problemas logísticos o climáticos. La otra limitante que surge de la utilización de la corrección por N en planta es el acotado rango de rendimientos esperados que contempla. La curva de corrección a de mayor rendimiento en Z30 es de 4500 kg grano/ha, pero cuando se maneja tecnología de dosis variable (VRT) existen ambientes con potenciales mayores.

Materiales y métodos

Debido a estas dificultades en la aplicación del modelo existente, nos propusimos desarrollar un modelo diagnóstico y recomendación de fertilización nitrogenada de trigo que permitiera reducir el número de muestreos a campo, disponer de un presupuesto de la dosis de fertilizante con mayor antelación y adecuar los rendimientos objetivos a ambientes de mayor potencial con el fin de utilizarlo en esquemas de agricultura sitio específica, utilizando VRT. Por la adaptación a los requerimientos planteados se decidió desarrollar un **modelo de balance**, este tipo de método consiste en establecer la necesidad de fertilización a través de una ecuación en la que, por un lado se consideran los requerimientos de N del cultivo (Nobjetivo), y por otro, la cantidad de N disponible en el ambiente, la diferencia entre los requerimientos y la oferta ambiental es lo que es necesario aplicar como fertilizante nitrogenado (Ecuación A) con los debidos ajustes por eficiencia de uso.

¹ Ing. Agr., IyDA (sarana@adinet.com.uy)

A) $N_{fertilizante} = N_{objetivo} - N_{disponible}$

Nobjetivo - es la cantidad total de N requerido para alcanzar el rendimiento que implique una eficiencia de uso marginal de N cercana a 10:1. Este parámetro se estima para cada ambiente de producción mediante modelos de simulación agronómica (Ceres-Wheat) que posteriormente son validados a campo, la metodología es similar a la utilizada en el modelo Triguero (Satorre y Menéndez, 2001).

A su vez, el **Ndisponible** se compone de varios factores:

Nsiembra – Es el N del suelo como nitrato medido a la siembra, en este caso se utiliza muestreo 0-20 cm y se multiplican por un factor de corrección que pondera la cantidad de materia orgánica de ese suelo en 0-20 cm con la de todo el perfil. Para esto se utilizan los descriptores de suelos típicos para cada ambiente, este factor se corrige por un 50% de eficiencia. (Carta de Reconocimiento de los Suelos del Uruguay, Tomo III, MGAP).

Nrastrajo – Dependiendo del tipo de rastrojo se trata de un proceso de mineralización o inmovilización de N. Este componente se estima de acuerdo a los trabajos sobre dinámica del N en los rastrojos (Morón, 1999) Mediante este componente considera la acción de rastrojos contrastantes sobre la disponibilidad de N.

NfertP – Cuantifica la cantidad de N aportado a la siembra junto con el fertilizante fosforado. Depende del tipo de fertilizante utilizado y se corrige por una eficiencia de uso del 50%.

Nmineralizado – Es el factor que permite estimar la capacidad de aporte de N por el suelo a lo largo del ciclo del cultivo y donde no se tenía información al comenzar el trabajo. La bibliografía concuerda en la pertinencia del Potencial de Mineralización (PMN) del suelo como indicador para estimar el N aportado por el suelo por mineralización en sistemas productivos (Calviño y Echeverría, 2003, Morón y Sawchik, 1998). Esta técnica, que consiste en incubación anaeróbica durante 7 días, ha demostrado ser un indicador suficientemente sensible a los cambios en manejo y estable en distintos momentos de muestreo. A nivel nacional, se cuenta con antecedentes de la relación entre el PMN y la capacidad de aporte de N del suelo (García Lamothe, 2004, Morón y Sawchik, 1998), así, valores de menos de 30 ppm se asocian a un bajo potencial de suministro de N, mientras que superiores a 60 ppm indican altos potenciales de mineralización.

Con el objetivo de avanzar en la relación existente entre el PMN y el N absorbido por el cultivo se analizaron una serie de datos de chacras comerciales de trigo entre los años 2005 y 2009. Se seleccionaron chacras que no hubieran sufrido adversidades (enfermedades, heladas, granizo, viento, plagas, malezas, déficit de otros nutrientes, etc.), cuyo cultivar, población y fecha de siembra estuvieran dentro de las situaciones utilizadas normalmente en la producción y que hubieran alcanzado intercepción completa de radiación en el estado de hoja bandera. Se tomaron registros productivos y fenológicos del cultivo (antecesor, fecha de siembra, cultivar, población, fertilización y momento de fertilización, etc.). En todos los casos se tomaron muestras de suelo a una profundidad de 0-20 cm que se enviaron a analizar al laboratorio de suelos de INIA y se analizó P Brayl, Nitratos y PMN. Dentro de las chacras comerciales, se utilizaron dos tipos de datos, los muestreos dirigidos y los promedios de chacra.

- a) Muestreos Dirigidos: En chacras con caracterización ambiental, se marcaron puntos georeferenciados en zonas representativas de cada ambiente. Previo a la siembra se tomaron muestras compuestas por 10 sub-muestras de suelo en un radio de 30 m en torno al punto. Previo a la cosecha se cortaron 5 muestras de 2 metros lineales por dos surcos en el entorno de cada punto, secándose las muestras y luego trillándolas en forma manual o con trilladora estacionaria.
- b) Promedio de Chacra: La información utilizada es del análisis de suelo correspondiente a la chacra, obtenido mediante muestreos de suelo representativos de toda la chacra con no menos de 10 sub-muestras por chacra. El rendimiento corresponde al rendimiento promedio final de la chacra corregido a 14% de HR.

Para estimar la correlación entre el PMN y el Nmin se calculó el Nabsorbido (como sucedáneo de Nobjetivo) tomando como referencia que por cada 1000 kg de grano se requieren 30 kg de N (García, 2007). De esta forma, despejando la ecuación de balance, el Nmineralizado es igual al residual no explicado entre el Nabsorbido y todas las otras formas de N evaluadas (Ecuación B).

$$B) N_{mineralizado} = N_{absorbido} - (N_{siembra} - N_{fertP} - N_{fertilizante} +/- N_{rastrajo})$$

Resultados y Discusión

Durante los años 2005 y 2008, utilizando datos de muestreos dirigidos, se estudió la relación entre el PMN y el Nmineralizado. Los datos conjuntos se presentan en la Figura 1 donde la función de mejor ajuste es una lineal con plateau a partir de PMN mayores a 53. El grado de asociación entre el factor del modelo Nmineralizado y el PMN es alta ($r^2=0.73$), y, en la primer fase de la función (hasta $PMN = 53$), por cada unidad de incremento en el PMN, el trigo absorbe del suelo, producto de la mineralización de la materia orgánica del mismo durante el ciclo del cultivo, 1,95 kg de N. Este valor ya contempla la eficiencia de uso del nitrógeno mineralizado.

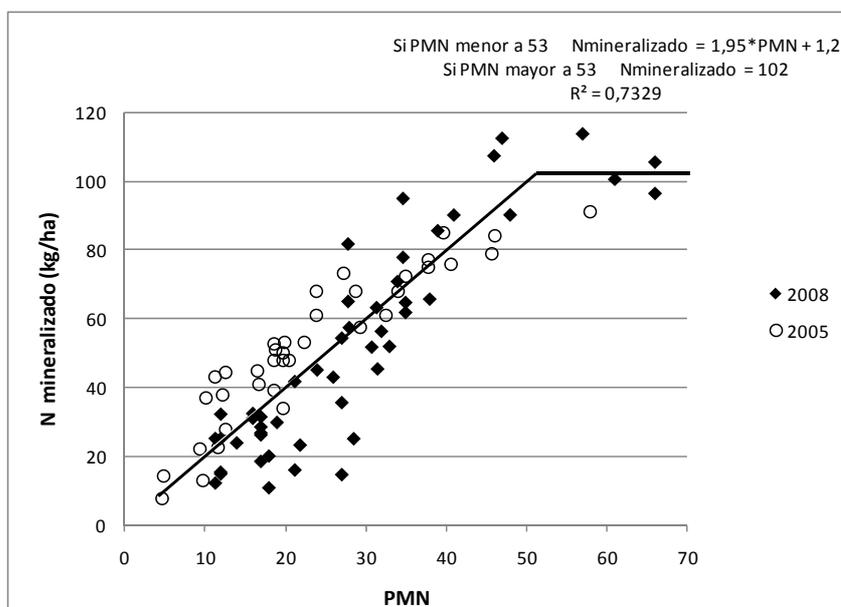


Figura 1. Relación entre el Nmineralizado (kg/ha) y el PMN para dos años de muestreos dirigidos, 2005 con círculos vacíos y 2009 con rombos llenos.

Si bien la asociación entre las variables es buena, se observa una dispersión mayor en los valores medios y bajos de PMN, donde se concentran la mayoría de las chacras agrícolas. Este comportamiento ya había sido observado por García Lamothe (2004). La saturación de la respuesta a valores de PMN altos es algo que se ha reportado en la bibliografía (García Lamothe, 2004, Sainz Rosas et al, 2008) y que parece verificarse en este caso.

Utilizando datos de promedios de 465 chacras o ambientes, durante los años 2006 y 2007 (Figura 2), la relación continúa siendo consistente, con incrementos del Nmineralizado de 1.74 kg N por cada unidad de PMN, muy similares a los obtenidos con muestreos dirigidos. El menor ajuste de los datos ($r^2= 0.46$) refleja la heterogeneidad de las unidades de muestreo igual que el mayor intercepto.

En resumen, el modelo de balance de fertilización nitrogenada utilizado actualmente (Ecuación C) contempla del Nmineralizado mediante la ecuación de la Figura 1.

$$C) N_{\text{fertilizante}} = N_{\text{objetivo}} - (N_{\text{fertP}} - N_{\text{siembra}} - N_{\text{mineralizado}} \pm N_{\text{rastrojo}})$$

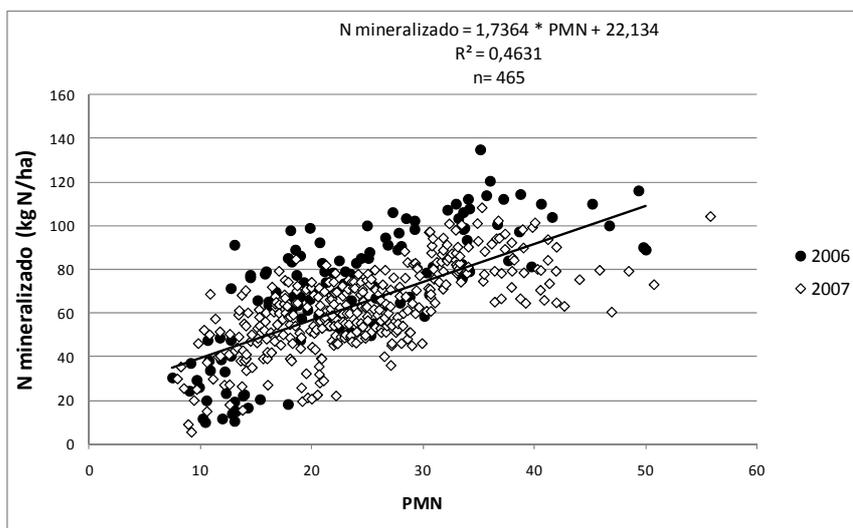


Figura 2. Relación entre el N mineralizado (kg/ha) y el PMN para dos años de datos promedio de chacras, 2007 con rombos vacíos y 2006 con círculos llenos.

Validación del modelo

Para validar el modelo desarrollado, se plantearon una serie de ensayos a campo, en predios comerciales, en los que se utiliza tecnología VRT. En 29 ambientes diferentes (sitio * año), ubicados en 5 campos de los departamentos de Río Negro, Soriano, Flores y San José. Se utilizó la fertilización sugerida por el modelo (Nt) como testigo y franjas contiguas con dosis de N menores (N-) y mayores (N+) a la recomendada, el desvío promedio de la Nt fue de 17 kg N para N+ y 15 kg N para N-. Pevio a madurez de cosecha, cada situación fue cosechada en forma manual siguiendo la metodología descrita en el punto a). En cada caso, se calculó el rendimiento relativo a Nt y se calculó la eficiencia de uso de nitrógeno marginal (EUN marg) como los kg de diferencia en rendimiento entre Nt y el tratamiento/kg de diferencia de N aplicado. De esta forma, se puede estimar la eficiencia con que convirtió en grano el desvío de N, tanto si se aplica por debajo o por encima de la dosis Nt.

Los resultados de EUN marg (Figura 3) muestran que, en un 25% de los casos, la EUN marg del tratamiento N- estuvo por debajo de la EUN objetivo (10 kg grano/ kg de N), o sea que, en un 75% de los casos, la aplicación de una dosis mayor hubiera permitido tener retornos mayores al objetivo. Dicho de otra manera, al fertilizar por debajo de Nt, se está “perdiendo” de producir con EUN mayores a 10 kg grano/kg N en un 75% de los casos. Por el contrario, un 65% de los casos con tratamiento N+ estuvo por debajo del EUN objetivo, indicando que, de haber fertilizado por encima del modelo, solamente hubiera tenido resultados por encima del esperado en el 35% de los casos. En promedio, la EUN marg de los tratamientos N+ fue de 7,2 kg grano/ kg N y la EUN marg de los tratamientos N- fue de 22,8 kg grano/ kg N.

Si bien los resultados son promisorios, este modelo, aún se encuentra en fase de desarrollo, utilizando los propios datos productivos para mejorar la confianza con que se está utilizando. Actualmente, la enorme variedad de ambientes donde se aplica, hacen que los supuestos en que se basa sean muchas veces la mejor hipótesis disponible, pero está aún lejos de validarse. El desafío planteado, con el apoyo de INIA y empresas asesoradas, es perfeccionar el modelo y validarlo para la mayor cantidad de situaciones posibles.

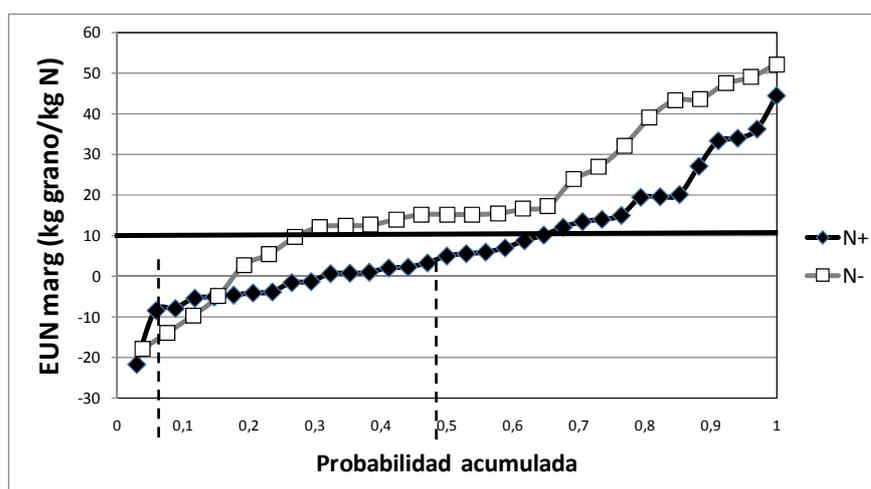


Figura 3. Probabilidad acumulada de obtener EUN marg (Kg grano marginal /kg N marginal) para tratamientos con dosis superior al tratamiento recomendado (N+) y dosis inferior al tratamiento recomendado (N-). Las líneas punteadas marcan los puntos de corte con la EUN marg objetivo.

Agradecimientos

A. Morón, A. Quincke, A. García y J. Díaz de INIA, sus aportes y comentarios y por el uso de su infraestructura para la trilla de muestras. A Trisur Agro SRL, Mariles SRL y otras empresas asesoradas por la confianza y colaboración para llevar adelante los trabajos de campo.

Bibliografía citada

- Baethgen, W. 1992. Fertilización nitrogenada de cebada cervecera en el litoral oeste del Uruguay. INIA La Estanzuela. Serie Técnica N° 24. 59 p.
- Calviño, P. y Echeverría, H.E. 2003. Incubación anaeróbica del suelo como diagnóstico de la respuesta a nitrógeno del maíz bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo* 21: 24-29
- Carta de Reconocimiento de los Suelos del Uruguay. Tomo III. MGAP
- Corsi, W.C. 1982. Regionalización agroclimática de Uruguay para cultivos. EEA La Estanzuela. C.I.A.A.B.
- de Wit, C.T. (1992) Resource Use Efficiency in agricultura. *Agricultural Systems* 40: 125-151
- García Lamothe A. 1998. Fertilización con N y potencial de rendimiento en trigo. In: Kohli, M.M.; Martino, D. (eds). "Explorando Altos Rendimientos de Trigo". La Estanzuela, Uruguay, Octubre 20-23, 1997, CIMMYT – INIA, p 207-247.
- García Lamothe, A. 2004. Manejo de la fertilización con nitrógeno en trigo y su interacción con otras prácticas agronómicas. INIA- Uruguay Serie técnica N° 144.
- García F. 2007. Cálculo de requerimientos de nutrientes de los cultivos. IPNI
- García Préchac, F.; Ernst, O; Siril G; Terra J. A. 2004. Integrating no-till in Crop-Pasture rotation in Uruguay, *Review .Soil & Tillage Research* 77:1-13.
- Hoffman, E; Perdomo, C.; Ernst, O. Fertilización nitrogenada en cultivos de invierno. *Cangüé*, v. 10, p. 33-36.
- Morón, A.; 1999. Descomposición de Rastrojos de Cultivos y Pasturas. In: Curso de Actualización Técnica Siembra Sin Laboreo de Cultivos y Pasturas. Facultad de Agronomía (EEMAC), INIA, PROCISUR.
- Morón, A. y Sawchik, J. 1998. Indicadores de calidad del suelo Serie de actividades de difusión no 159. pp1-3.
- Sainz Rozas, H.; Calviño, P.; Echeverría, H.; Barbieri, P.; Redolatti, M.; 2008. Contribution of Anaerobically Mineralized Nitrogen to the Reliability of Planting or Presidedress of Soil Nitrogen Test in Maize. *Agronomy Journal*, V 100, issue 4. Pp 1020-1025
- Satorre, E. y Menéndez, F. 2001. Usando el modelo CERES – Trigo para evaluar la respuesta del cultivo a la disponibilidad de nitrógeno, el cultivo antecesor y la profundidad del suelo en el sudoeste pampeano. *Actas IV Congreso Nacional de Trigo*. Córdoba. Argentina.

RESPUESTA A POTASIO EN CULTIVOS EXTENSIVOS EN SUELOS DE SORIANO

C. Baudes¹, M. Barbazán² y L. Beux³

Introducción

La reiterada observación de clorosis en hojas basales de cultivos comerciales sembrados en algunos suelos desarrollados sobre Areniscas Cretácicas y transicionales condujo a cuestionarse si se trataba de deficiencia de potasio (K). En plantas de maíz con amarillamiento y necrosis en hojas inferiores estos síntomas fueron confirmados con el dato del análisis de laboratorio, constatando que plantas con síntomas presentaron menor concentración de K total que plantas sin síntomas (0.5 y 1.0 % de K total, respectivamente). Con el propósito de estudiar si el problema era el K, entre 2007 y 2010 se instalaron 30 ensayos de respuesta a K en varios suelos sobre material cretácico en los departamentos de Soriano y Flores. En este resumen se presentan los datos de fertilización inicial de 25 ensayos, y el efecto residual en el cultivo siguiente de 32 sitios, mientras se procesa información de 18 experimentos residuales de reciente cosecha en 2009-2010.

Materiales y Métodos

Durante los años 2007, 2008 y 2009 se instalaron 29 experimentos de respuesta a K en cultivos de cebada, soja, maíz, girasol y sorgo. Estos sitios se ubicaron en los principales tipos de suelos de la Unidad Cuchilla de Corralito, Unidad Villa de Soriano, Bequeló y Risso, según la Carta de Reconocimiento de Suelos (escala 1:1000.000, MAP/DSF, 1976). Los tratamientos fueron cinco dosis de potasio aplicado a mano en superficie, usando cloruro de potasio (KCl): 0, 30, 60, 120 y 240 kg/ha de K₂O. En todos los sitios se usó un diseño de bloques completos con parcelas al azar y tres repeticiones, con parcelas de 3 x 6 m. Todos los ensayos fueron realizados en chacras comerciales, y, excepto por la cantidad de K aplicada y la cosecha, el resto de las prácticas agronómicas y la fertilización de otros nutrientes fueron realizadas por el productor, de acuerdo a su programa de manejo de cultivos recomendado.

El muestreo de suelos se realizó previo a la instalación de los ensayos (por bloques) y después de la cosecha (por parcela). Las muestras (12-15 tomas a 15 cm de profundidad) se analizaron para pH y bases intercambiables según Isaac y Kerber, 1971, materia orgánica por el método de Walkley y Black (1982) y P asimilable por Bray-1 (Bray y Kurtz, 1945). En todos los ensayos la cosecha se realizó en forma manual. Información más detallada de estos estudios pueden encontrarse en Baudes et al, 2009.

Los rendimientos de trigo, cebada y soja fueron corregidos a 13.0 % de humedad; sorgo, maíz y girasol a 14 %. Los análisis de varianza fueron realizados para cada sitio, usando el procedimiento GLM de SAS (SAS, 1985). La suma de cuadrados fue separada en contrastes ortogonales.

¹ Asesor Privado.

² Dpto. Suelos y Aguas, FAGRO

³ Dpto. Técnico de CALMER

Cuadro 1. Identificación de sitios, K intercambiable, cultivo anterior y tipo de cultivo y fecha de siembra.

ID sitio	K int. meq/100 g	Cultivo anterior †	Cultivo	Hibrido/Varietal	Siembra
INVIERNO 2007					
1 LF	0.37	Sj-Cb-Sj-Av-Sj	cebada	I Ceibo	Jun 07
2 ER	0.18	Tr-Sor-Sj	cebada	Danuta	Jun 07
3 ES	0.24	Sj-Cb-Sj-Av-Sj	cebada	I. Ceibo	Jun 07
VERANO 2007-2008					
4 Pir1	0.48	Prad-Sj1Tri/Sj2-Cb/Sj2	maíz	NK 900	Oct 07
5 Pend	0.34	Prad-Prad-Sgo	soja	A 6001	Oct 07
6 LM8B	0.42	Mz-Sj1-Tr/Sj2	maíz	DM 2740	Nov 07
7 LM8B	0.31	Mz1-Av-Sj1-TR/Sj2-Av	soja	ADM 5.8i	Nov 07
8 Manc1	0.56	Tr/Sj2-Cb/Sj2	soja	A 4910	Nov 07
9 ML14B1	0.30	Prad-Prad-Prad	soja	A 6019	Nov 07
10 ML14C1	0.25	Prad-Prad-Prad	soja	A 6019	Nov 07
11 LF2	0.32	Sj-Cb-Sj-Av-Sj2-Cb	soja 2a	A 6126	Dic 07
12 LF	0.27	Sj-Cb-Sj-Av-Sj2-Cb/Sj2	sorgo	DK 39T	Dic 07
13 ES	0.34	Sj-Cb-Sj-Av-Sj-Cb	sorgo 2a	MS 102	Dic 07
INVIERNO 2008					
14 Pir2	0.48	Tr/Sj2-Cb/Sj2-Mz1	cebada	Ac Madi	Jun 08
15 ML14B	0.30	Prad-Prad-Sj1	cebada	I. Arrayán	Jun 08
16 Pend	0.34	Prad-Prad-Sgo-Sja1	cebada	Ac Madi	Jun 08
17 Aren1	0.80	Cb/Sj2-Tri/Sj2--Cb	trigo	Biointa 3000	Jun 08
18 LM8B	0.31	Mz1-Av-Sj1-TR/Sj2	trigo	Golia	Jun 08
19 Manc2	0.56	Tr/Sj2-Cb/Sj2	trigo	Baguette 13	Jun 08
VERANO 2008-2009					
20 LM8B2	0.28	Mz1-Avn-Sj1-TR/Sj2Av-Sj1	maíz	SPS 2720	Nov 08
21 LM9	0.33	Tr/Sj2-Cb/Sj2	maíz	NK 900	Nov 08
22 Manc3	0.59	Tr/Sj2-Cb/Sj2-Tr	maíz 2a	DK 647	Nov 08
23 Aren2	0.80	Cb/Sj2-TrSj2--Cb	soja 2a	TJ 2055	Nov 08
24 LM8C	0.42	Mz-Sj1-TrSj2-Mz	soja	TJ 2049	Nov 08
25 Pir3	0.48	Tri/Sj2-Cb/Sj2-Mz1-Cb	soja 2a	A 5777	Nov 08
26 ES2	0.27	Sj-Cb-Sj-Av-Sj-Cb/Sor2	soja	A 6019	Nov 08
27 ER2	0.19	Tr-Sor-Sj1-Cb/Sj2	girasol	DK 3810	Nov 08
INVIERNO 2009					
28 LM9_2	0.33	Cb/Sj2-mz1	trigo	I. Tijereta	Jun 09
29 ES3	0.24	Sj2-Av-Sj2-Sj1	cebada	I. Ceibo	Jun 09

† Sj: soja; Cb: cebada; Av: avena; Sor: sorgo; Tr: trigo; Mz: maíz; Prad: pradera; TR: trébol rojo

Resultados

Respuesta a la aplicación inicial de potasio

Aunque en la mayoría de los sitios se observó un incremento en el rendimiento en grano debido al agregado de K, sólo en ocho sitios hubo respuesta significativa ($P \leq 0.10$) a la fertilización reciente con K (Cuadro 2). Los contrastes ortogonales muestran que en general hubo respuesta hasta la dosis de 60 unidades de K_2O (Cuadro 2). En algunos de estos sitios la respuesta era esperable porque el suelo presentaba valores cercanos a los sugeridos como críticos para suelos de texturas medias a livianas (Hernández, 1997).

Cuadro 2. Efecto de la fertilización con KCl en el rendimiento de cultivos de invierno y verano.

ID sitio	Cultivo	K int meq/100 g	K ₂ O (kg/ha)					Efecto K	0 &resto	30 vs+60	60 vs+120	120 vs. 240
			0	30	60	120	240					
LF	cb	0.37	1209	1757	2949	2896	3134	0.001	0.001	0.002	0.749	0.330
ER	cb	0.18	3193	3032	3577	3611	4340	0.009	0.064	0.006	0.118	0.024
ES	cb	0.24	1211	1578	2083	2401	2592	0.006	0.002	0.023	0.11	0.408
ES2	sgo 2	0.26	2157	2385	3052	2570	2850	0.497	0.217	0.337	0.475	0.609
LF2	sj 2	0.32	1168	1195	1353	1335	1876	0.219	0.086	0.053	0.135	0.015
LM8B	sj1	0.30	3383	3415	3328	3715	3819	0.533	0.506	0.477	0.171	0.767
Manc1	sj1	0.56	1708	2177	1692	1823	1859	0.562	0.486	0.167	0.595	0.912
ML14B1	sj	0.33	1238	1255	1498	1564	1613	0.185	0.116	0.066	0.570	0.788
ML14C1	sj	0.30	1047	1192	1310	1230	961	0.233	0.323	0.844	0.140	0.115
Pend	sj1	0.34	1668	1686	1594	1570	1543	0.246	0.473	0.408	0.065	0.383
Pir1	mz1	0.48	5606	5864	5693	6214	6144	0.275	0.222	0.476	0.121	0.372
LM8AC	mz1	0.43	3212	3591	3395	3509	3549	0.751	0.258	0.686	0.634	0.900
LM8B	tr	0.20	731	1485	1296	1126	1367	0.087	0.015	0.289	0.817	0.343
ML14B2	cb	0.30	3774	3090	3486	3501	3349	0.556	0.216	0.300	0.862	0.709
Pend	cb	0.34	2901	2609	2966	2871	2902	0.733	0.779	0.214	0.747	0.911
Pir2	cb	0.48	2997	2807	2823	3229	3050	0.381	0.914	0.252	0.143	0.449
ML14C2	cb	0.25	2979	3846	3394	3370	3667	0.025	0.007	0.062	0.510	0.190
AREN	tr	0.80	2981	3727	3626	3200	3849	0.271	0.096	0.634	0.785	0.158
LM8B2	mz2	0.31	6028	6573	6834	6267	7082	0.827	0.423	0.853	0.857	0.434
LM9	mz1	0.33	1776	1926	5095	6314	6933	0.001	0.001	0.001	0.044	0.426
Manc3	mz2	0.59	8888	8882	9366	9049	9539	0.889	0.627	0.526	0.920	0.559
LM8AC	sj1	0.42	4756	4595	5158	5050	4732	0.589	0.686	0.258	0.448	0.435
ES3	sj1	0.27	1921	2237	2039	2475	2164	0.100	0.059	0.944	0.106	0.118
ER3	gir	0.19	1554	1897	2421	2318	2571	0.022	0.006	0.033	0.920	0.354
LM9_2	tr	0.33	2559	2698	2508	2896	2893	0.794	0.564	0.842	0.295	0.994

† Sj: soja; Cb: cebada; Sor: sorgo; Tr: trigo; Mz: maíz; 1: de primera; 2: de segunda

Efecto residual de la aplicación de K

La información de los resultados del efecto residual en el rendimiento del cultivo siguiente a la aplicación de K corresponde a 18 sitios; el resto aún está en procesamiento o no se han cosechado. Del total de sitios presentados, sólo se observaron diferencias significativas en tres sitios, aunque en la mayoría de ellos el rendimiento se incrementó con el agregado creciente de K al cultivo anterior (Cuadro 3).

Cuadro 3. Efecto residual de la fertilización con KCl en el rendimiento de cultivos de invierno y verano.

ID sitio	Cultivo †	K int.‡ meq/100 g	K ₂ O (kg/ha)					Efecto K	0 &resto	30 vs+60	60 vs+120	120 vs. 240
			0	30	60	120	240					
LF1	sj2	0.37	1125	1584	1881	2353	2146	0.006	0.002	0.023	0.110	0.408
ES	sgo 2	0.24	2260	2182	2219	2032	2844	0.062	0.683	0.348	0.270	0.010
ES08	sj1	0.26	1925	1902	2268	2024	2171	0.294	0.286	0.130	0.316	0.446
LM8B2	tr	0.30	746	998	1213	1332	1272	0.056	0.012	0.095	0.582	0.742
ML14B	cb08	0.33	3552	4073	3961	4075	3645	0.460	0.198	0.545	0.746	0.252
ML14C1	cb08	0.30	3537	3342	3631	3316	3316	0.769	0.592	0.762	0.271	1.000
Pend	cb08	0.34	2950	2902	3407	3348	3198	0.245	0.217	0.074	0.551	0.564
Pir2	cb08	0.48	2757	2843	3052	3071	3065	0.733	0.310	0.385	0.951	0.983
LM8AC	sj1	0.43	4470	4741	4690	4663	5103	0.751	0.402	0.846	0.648	0.378
Aren1	tr	0.80	3311	3246	2813	3371	3266	0.434	0.586	0.710	0.092	0.740
ER	gr08	0.19	2286	2252	2438	2490	2641	0.699	0.212	0.613	0.854	0.781
LM8b	mz2	0.20	5508	6592	8308	7823	6206	0.184	0.094	0.389	0.230	0.1971
Pir08	sj2	0.48	2365	2541	2187	2486	2695	0.444	0.607 1	0.702	0.117	0.453
Arsj2	sj2	0.80	2415	2351	2484	2562	2240	0.831	0.980	0.753	0.749	0.301
LM9_	tr09	0.33	2928	2436	3165	2945	2822	0.198	0.699	0.041	0.266	0.663
Manc2	mz1	0.59	7849	8474	8330	8434	9480	0.487	0.261	0.709	0.428	0.262
ES_	cb09	0.27	3969	4373	4678	2931	4299	0.535	0.904	0.647	0.271	0.224
ER_	tr09R	0.19	2851	2967	3230	3300	3356	0.152	0.058	0.088	0.599	0.795

† Sj: soja; Cb: cebada; Sor: sorgo; Tr: trigo; Mz: maíz; 1: de primera; 2: de segunda

‡ K intercambiable antes de la aplicación de tratamientos al cultivo anterior.

Conclusiones preliminares

Se observó respuesta a la aplicación de K en cultivos de invierno y de verano en las zafras evaluadas, en suelos que presentaban entre 0.18 a 0.37 meq/100g de K intercambiable. En algunos suelos también se observó respuesta a la aplicación de K al cultivo anterior. Estos resultados evidencian la necesidad de estudiar en profundidad la dinámica de K en suelos bajo agricultura en el país.

Bibliografía citada

- Bautes, C., M. Barbazán y L. Beux. 2009. Fertilización potásica inicial y residual en cultivos de secano en suelos sobre Areniscas Cretácicas y transicionales. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. Instituto Internacional de Nutrición de Plantas N° 41. ISSN 1666 - 7115
- Bray, R.H. & Kurtz, L.T. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*, 59:39-45.
- Hernández. J. 1997. Potasio. Manejo de la fertilidad en producciones extensivas (Cereales y pasturas). Facultad de Agronomía. Montevideo. Uruguay. Pp. 29-33.
- Isaac, R.A. and Kerber. J. D. 1971. Atomic Absorption and flame photometry: techniques and uses in soil, plant and water analysis. In *Instrumental Methods for Analysis of Soil and Plant Tissues*. Pp. 17-37. Soil Sci. Soc. Amer. Madison. Wisconsin. USA.
- MAP/DSF. 1976. Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay. Ministerio de Agricultura y Pesca. Dirección de Suelos y Fertilizantes. Montevideo. Uruguay.

- SAS Institute. 1985. SAS/STAT Guide for Personal Computer. Version 6 Edition. SAS Inst. Cary, North Carolina, USA.
- Walkley. A. and Black. T. A. 1982. An examination of the method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science. 37:29-38.

LA FERTILIZACIÓN DEL TRIGO EN ARGENTINA: LA PRÁCTICA Y LAS HERRAMIENTAS DISPONIBLES

Hernán Echeverría¹

Las últimas dos campañas de trigo se caracterizaron por la inestabilidad e incertidumbre de los precios. Ante esta situación, la respuesta del productor fue minimizar el costo de producción, lo que significa bajar el uso de insumos y particularmente de fertilizantes. Ese panorama se agravó aún más por las bajas precipitaciones. El corolario de esta situación fue la menor producción nacional en las últimas dos décadas, lo que si bien garantiza el consumo nacional, minimiza el saldo exportable.

La incertidumbre continúa siendo una característica para esta campaña y por lo tanto, ante una relación insumo-producto poco atractiva, los productores deben ser muy eficientes para tratar de minimizar el impacto de dicha relación. El optimizar el uso de nutrientes tiene el inconveniente de que se practica una minería del recurso suelo, hecho que se visualiza en caídas en el contenido de materia orgánica de los mismos, lo que atenta contra la sostenibilidad del sistema. Tampoco la aplicación indiscriminada de nutrientes es razonable debido al impacto negativo en el costo de producción, y a que se elevan las pérdidas de los nutrientes generando problemas medioambientales fuertemente cuestionados por la sociedad en su conjunto. La manera de compatibilizar esta ambigua situación pasa por la aplicación de un paquete de medidas técnicas específicas desarrolladas para cada uno de los nutrientes que han manifestado ser deficientes en el cultivo de trigo y que generalmente se las agrupa en las denominadas *mejores prácticas de manejo* (MPM). El objetivo general que se persigue con ellas es sincronizar la demanda de nutrientes con la oferta de los mismos desde el suelo y de los fertilizantes, minimizando las fugas al medio ambiente y de esta forma contribuyendo a la sostenibilidad de los agroecosistemas.

Para la región pampeana argentina los nutrientes que en mayor medida condicionan el rendimiento y han manifestado respuestas significativas en rendimiento son: el nitrógeno (N), el fósforo (P) y en menor medida el azufre (S). Respecto a estos nutrientes en trigo, las MPM deberán contribuir a definir la fuente, forma, momento y dosis de aplicación.

A fin de ordenar el escrito me referiré al manejo de cada uno de ellos por separado.

Nitrógeno

En Argentina, la urea es la fuente de fertilizante nitrogenado más empleada debido al menor precio por unidad de nutriente. Otros fertilizantes nitrogenados sólidos son el nitrato de amonio calcáreo y el sulfato de amonio, mientras que la fuente líquida más difundida es el UAN. El empleo de fertilizantes nitrogenados de origen industrial se ha generalizado debido a ventajas operativas. No obstante, el elevado costo energético constituye un incentivo al empleo de otras fuentes de N como los abonos verdes u orgánicos. Los inhibidores de la nitrificación, de la actividad ureásica y los fertilizantes de liberación lenta, constituyen productos promisorios para mejorar la eficiencia de uso de N (EUN).

La definición de la dosis de N para el trigo es consecuencia de la aplicación de diferentes métodos de diagnóstico basados en el análisis de muestras de suelo, de planta o de modelos de simulación. Los primeros son los más difundidos en Argentina y se basan en estimar la cantidad de nitrato a la siembra en los primeros 60 cm de suelo (Calviño et al., 2002). Sin embargo en regiones con excesos hídricos en el periodo siembra-macollaje, (Reussi Calvo y Echeverría, 2006), las aplicaciones al macollaje pueden mejorar la EUN respecto a las aplicaciones a la siembra (Barbieri et al., 2009a). Se han reportado umbrales 150 a 170 kg N ha⁻¹ (N en el suelo+N del fertilizante) para rendimientos de 5000 a 6000 kg ha⁻¹, respectivamente (Calviño et al., 2002). La aplicación de los métodos de diagnóstico comentados no contempla la incidencia del costo de los insumos y de su relación con el precio del trigo (relación insumo-producto). Si bien los fertilizantes nitrogenados tienen una alta importancia relativa dentro del costo de producción, la relación insumo-producto generalmente tiene un menor impacto sobre la dosis óptima económica que el rendimiento objetivo del cultivo (Barbieri et al., 2009b).

El momento de aplicación también es consecuencia de la dosis de N a aplicar, puesto que si las dosis son relativamente elevadas es necesario fraccionarlas para mejorar la EUN (Calviño y Redolatti, 2004). En trigo, la respuesta en rendimiento a las aplicaciones tempranas de N (siembra o macollaje)

¹ Ing. Agr., M.Sc., INTA Balcarce (hecheverr@balcarce.inta.gov.ar)

mantiene una relación inversa con el contenido de proteína en grano. Contrariamente, aplicaciones de N en antesis producen mayor influencia sobre el contenido de proteína que en rendimiento (Quatrocchio et al., 2004). Cuando se pretende incrementar los parámetros relacionados con la calidad de trigo, es conveniente recurrir a aplicaciones foliares de N en hoja bandera (Bergh et al., 2006). Las fertilizaciones foliares no permiten la aplicación de elevadas dosis de N, por lo que se las considera suplementarias dentro del programa de fertilización.

Se han determinado mejoras en el diagnóstico de requerimiento de N mediante la estimación del aporte de N por mineralización durante el ciclo del cultivo. Para ello se requiere la medición del amonio liberado durante incubaciones anaeróbicas a 40°C por siete días, de muestras de los primeros 20 cm de suelo (Reussi Calvo, comunicación personal).

El análisis de muestras de planta, ha sido propuesto como complemento a las determinaciones en muestras de suelo. Dentro de estos se incluyen la evaluación de la concentración de N total, la determinación del contenido de nitrato en base de tallos, el índice de verdor y el empleo de sensores remotos (García y Berardo, 2007). La concentración de N en la parte aérea de la planta durante el macollaje no ha resultado un indicador sensible del estatus nitrogenado del cultivo. De igual forma el contenido de nitrato en la base de los tallos tampoco ha sido un indicador consistente ante situaciones climáticas diversas (Viglezzi, et al., 1996).

El índice de verdor (IV) estimado a través del medidor de clorofila en la hoja de trigo se relaciona positivamente con la concentración de N (Echeverría y Studdert, 2001). Este equipo permite evaluar indirectamente y en forma no destructiva el estado nitrogenado del cultivo a través de una rápida lectura *in situ*. No obstante, se han determinado diferencias entre variedades en el color verde de la hoja. Estos resultados indican la necesidad de contar en cada lote con una franja sin limitaciones de N a fin de poder eliminar dicho efecto. Durante el macollaje el rango de lecturas de IV es muy estrecho lo que limita su utilidad. A medida que el cultivo avanza en su desarrollo, la dilución del N permite que el rango de lecturas de IV se amplíe y por lo tanto su utilidad. Considerando que el contenido de proteína de los granos se define en estadios avanzados del trigo, la determinación del IV es particularmente interesante para planteos en los cuales se valoriza dicho parámetro que hace a la calidad del trigo (Gandrup et al., 2004).

Otra alternativa promisoría es la utilización de sensores remotos, con los que es posible realizar determinaciones en el cultivo de manera no destructiva e instantánea. Entre otras posibilidades, se han empleado sensores multispectrales montados sobre maquinaria agrícola para realizar aplicaciones de N sitio-específico. Estas se basan en proveer en tiempo y forma el N necesario para el trigo en función de la variabilidad espacial en la disponibilidad de N del lote (Raun y Schepers, 2008). Según estos autores, mediciones de la reflectancia puede considerarse técnica tan eficiente como el análisis vegetal. Se han desarrollado diversos índices de vegetación los que permiten su caracterización. La expresión de la señal obtenida como combinación de respuestas en diferentes sectores del espectro puede lograr una mejor estimación de los parámetros biofísicos de un cultivo. Para estos instrumentos es necesario realizar una franja de referencia no limitante en N con el objetivo de determinar la dosis de fertilización nitrogenada (Melchiori et al., 2005).

Por último, los modelos de simulación poseen la ventaja de integrar las variables climáticas, edáficas y genéticas para el diagnóstico de la fertilización nitrogenada, y además permiten estimar probabilidades de riesgo para cada alternativa de manejo de N. El software DSSAT, versión 4.0 (Hoogenboom et al., 2003) es uno de los modelos más utilizados aunque requiere cierta capacitación y no es muy amigable. Por lo tanto, a partir del mismo se han desarrollado modelos simplificados como el Triguero (Satorre, 2005).

Fósforo

El análisis de suelo permite conocer la capacidad de abastecimiento de P o el P “disponible”, evaluando la fracción inorgánica lábil. Los extractantes utilizados para esta determinación varían de acuerdo a características del suelo tales como pH, mineralogía y forma de P inorgánica dominante. El diagnóstico de la fertilización fosfatada del trigo en Argentina se basa en el análisis de muestras de suelo del horizonte superficial utilizando el extractante de Bray 1 (Bray y Kurtz, 1945). Los niveles críticos del mismo, si bien varían entre zonas, se encuentran generalmente entre 14 y 16 mg kg⁻¹ y no varían por el sistema de labranza. Estos valores son muy próximos a los determinados por Bordoli y col. (2004) para suelos de Uruguay. La respuesta del trigo depende del nivel de P Bray en el suelo, pero también es afectada por factores del suelo, del cultivo y de manejo del fertilizante. Entre los factores del

suelo, se destaca la capacidad de sorción de P (Rubio et al., 2008); mientras que entre los del cultivo se destaca el nivel de rendimiento. La dosis de fertilizante fosfatado depende del nivel de P Bray y del rendimiento esperado (Echeverría y García, 1998), como así también de la capacidad de sorción de P (incremento de P Bray/unidad de P agregado), la relación de precios grano/fertilizante, y del criterio de recomendación. Respecto a esto, debe tenerse en cuenta que existen dos criterios de recomendación: el de suficiencia y el de reconstrucción y mantenimiento. El criterio de suficiencia pretende satisfacer los requerimientos del cultivo a implantar, mientras que el de reconstrucción y mantenimiento también incluye aportes para mejorar el nivel de P disponible en el suelo a partir de la residualidad del P en el suelo.

Es válido mencionar que la mayor eficiencia de estos fertilizantes se logra realizando la fertilización a la siembra y colocando el fertilizante cerca de la semilla a fin de favorecer un rápido crecimiento inicial de las raíces. Una adecuada exploración del suelo permitirá captar agua y otros nutrientes, lo que redundará en un adecuado desarrollo del trigo.

Las eficiencias de uso de P promedio alcanzadas en numerosos ensayos de trigo fue de 34 kg de trigo por kg de P aplicado. Estos valores se ubican muy por arriba de la relación de precios de 16 kg de trigo por kg de P, demostrando la rentabilidad de la fertilización fosfatada en situaciones de deficiencia de P. Más allá de la comparación de la eficiencia de uso del P con la relación de precios, el análisis económico de la fertilización fosfatada debe tener en cuenta la disminución del impacto de los costos fijos como resultado del incremento en la producción de granos (García y Berardo, 2007).

Por las características de este nutriente, el análisis de planta para el diagnóstico de necesidades de P no ha recibido mucho interés, no obstante puede ser utilizado para monitorear el estado nutricional del cultivo. Valores de concentraciones de P en la hoja bandera a floración de 0.26% a 0.30% permitirían lograr una adecuada nutrición fosfatada del cultivo (García y Berardo, 2007).

Azufre

Este nutriente posee características y dinámica en el suelo similar al N, aunque posee algunas particularidades críticas a la hora de efectuar su diagnóstico. En primer lugar los requerimientos son mucho menores y las metodologías analíticas para su determinación en el suelo son menos precisas que para N. En segundo lugar la acumulación de N en trigo es previa a la de S (Monaghan et al., 1999) y el índice de cosecha de N es superior al de S.

Se han propuesto métodos de diagnóstico basados en el análisis de muestras de suelo y de material vegetal (Cussans, 2007). Para el primero si bien es posible extraer el S como sulfato con distinto grado de retención y el S liberado durante incubaciones, los métodos disponibles para cuantificar el sulfato poseen poca precisión (turbidimetría), requieren drogas y equipamiento de elevado costo (ICP, o cromatografía iónica), o son poco prácticos (colorimetría). Otra complicación es la profundidad de muestreo, ya que el sulfato se puede acumular en horizontes subsuperficiales y cubrir los requerimientos (San Martín y Echeverría, 1995). No obstante, en algunas experiencias la respuesta del trigo al agregado de S se asoció a la disponibilidad de sulfato determinado con fosfato de calcio (0-60 cm) al momento de la siembra del cultivo (Reussi Calvo et al., 2006). Con valores superiores a 50 kg de S/ha, se lograría el 95% del rendimiento máximo. En síntesis, son pocos los resultados auspiciosos con la determinación de sulfato en suelo. El mayor inconveniente es disponer de un método de análisis económico, rápido y confiable (Echeverría, 2007).

Ante este panorama, los métodos basados en el análisis de material vegetal surgen como una alternativa promisoría. Se han propuesto, entre otros, S total, sulfato, porcentaje de sulfato como S total y glutation. No obstante, los valores críticos de estos indicadores varían en gran medida con el estado de crecimiento del cultivo y la parte de la planta, lo cual limita su utilización. Varios trabajos sugieren que las relaciones entre compuestos, son menos variables respecto a sus valores absolutos (Blake Kalf et al., 2000). En trigo es factible el empleo de la relación N:S total en biomasa aérea como método de diagnóstico de deficiencia de S. Se determinaron altos porcentajes de muestras correctamente diagnosticadas para los estadios de dos macollos a lígula de hoja bandera visible. Estos resultados constituyen una evidencia favorable respecto al empleo de este indicador como método de diagnóstico de la deficiencia de S. Se ha propuesto el valor de 15,5:1, para muestreos durante dicho período (Reussi Calvo, 2009).

La determinación de la relación N:S total en grano, es un buen estimador del estatus azufrado del cultivo (Randall et al., 1981). Recientemente se ha definido que granos con deficiencia de S serían aquellos con una concentración menor a 0,15 % de S total y con una relación N:S total mayor a 13,3:1

(Reussi Calvo, 2009). Es válido recordar que si bien este método no permite corregir deficiencias de S en el trigo, podría ser utilizado como un indicador para futuras fertilizaciones en la rotación.

Resumiendo, si bien se cuenta con una amplia gama de opciones para realizar el diagnóstico de los requerimientos de N, P y en menor medida de S, el empleo de los mismos no se ha generalizado. Esto plantea la necesidad de remarcar la importancia de dichos métodos a fin de hacer un uso racional de los fertilizantes en el cultivo de trigo.

Para finalizar, es válido mencionar que la producción agrícola moderna requiere continuar incrementando el rendimiento del cultivo de trigo, pero solo mediante el empleo de prácticas de manejo eficientes, sustentables y amigables con el ambiente. Para cubrir este gran desafío, el productor tiene que aplicar todo el conocimiento y tecnología actualmente disponible.

Bibliografía citada

- Barbieri P., Echeverría H. y Sainz Rozas H. 2009a. Nitratos en el suelo a la siembra o al macollaje como diagnóstico de la nutrición nitrogenada en trigo en el sudeste bonaerense. *Ci. Suelo* 27 (1):41-47.
- Barbieri P., Echeverría H. y Sainz Rozas H. 2009b. Dosis óptima económica de nitrógeno en trigo según momento de fertilización en el sudeste bonaerense. *Ci. Suelo* 27 (1):115-125.
- Bergh R., Loewy T. y Echeverría H. 2006. Importancia de la fertilización nitrogenada sobre la calidad panadera del trigo. *Revista 37 Fiesta Provincial del Trigo*, 4/3/2006. Tres Arroyos, Bs. Aires. pp 23-27.
- Blake Kalff M., Hawkesford M.J., Zhao F. and McGrath S. 2000. Diagnosing sulfur deficiency in field-grown oilseed rape (*Brassica napus* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Soil* 225: 95-107.
- Bordoli M., A. Quincke y A. Marchesi. 2004. Fertilización fosfatada de trigo en siembra directa. *Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. AACs. Paraná, Entre Ríos. Pp. 187.
- Bray R.H. y Kurtz L.T. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci* 59:39-45.
- Calviño PA. y Redolatti M. 2004. Resultados de dividir la dosis de nitrógeno en trigos de alto rendimiento en el sudeste de bonaerense. *Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Paraná-Entre Ríos. p 171 Junio 2004.
- Calviño P., Echeverría H. y Redolatti M. 2002. Diagnóstico de nitrógeno en trigo con antecesor soja bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. *Ci. Suelo* 20:36-42.
- Cussans J.W., Zhao F.J., Mcgrath, S. and Stobart R. 2007. Decision support for sulphur applications to cereals. Project Report N° 419. Home-Grown Cereals Authority, London. 32 p.
- Echeverría H. 2007. Azufre. In: H.E. Echeverría y F.O. García (Eds.). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. Ediciones INTA. P. 139-160. ISSN 987-521-192-3.
- Echeverría H. y García, F. 1998. Guía para la fertilización fosfatada de trigo, maíz, girasol y soja. *Boletín Técnico* 149. Est. Exp. Agrop. INTA Balcarce. 18 p.
- Echeverría H. y Studdert, G. 2001. Predicción del contenido de proteína en grano de trigo (*Triticum aestivum* L) mediante el índice de verdor de la hoja bandera. *Ci. Suelo* 19:67-74.
- Gandrup M., García, F., Fabrizzi K. y Echeverría H. 2004. Evolución de un índice de verdor en hoja para evaluar el status nitrogenado en trigo. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA)*, 33(3):105-121.
- García F. y Berardo, A. 2007. Trigo. In: H.E. Echeverría y F.O. García (Eds.). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. Ediciones INTA. P. 233-253. ISSN 987-521-192-3.
- Hoogenboom G., Jones J., Porter C., Wilkens P., Boote K., Batchelor W., Hunt L. and Tsuji G. (Eds). 2003. *Decision Support System for Agrotechnology Transfer*. University of Hawaii, Honolulu, HI.
- Melchiori R., Caviglia O., Faccendini N., Bianchini A. y Raun W. 2005. Evaluación de refertilización nitrogenada basada en un sensor óptico. *Actas VII Cong. Nac. Maíz*. AIANBA-Maizar. Rosario, Sta. Fe.
- Monaghan J., Scrimgeour C., Stein W., Zhao F. and Evans E. 1999. Sulphur accumulation and redistribution in wheat (*Triticum aestivum*): a study using stable sulphur isotope ratios as a tracer system. *Plant, Cell and Environment* 22: 831-839.
- Quattrocchio A., Echeverría H. y Alonso S. 2004. Estrategias de fertilización nitrogenada de cultivares de trigo pan: rendimiento y proteína. *XIX Cong. Arg. Ciencia del Suelo*. Paraná-Entre Ríos. 22-25 Junio de 2004.
- Randall P., Spencer K. and Freney J. 1981. Sulfur and nitrogen fertilization effects on wheat. I Concentration of sulfur and nitrogen to sulfur ratio in relation to yield response. *Aust. J. Agric. Res.* 32:203-212.

- Raun W. and Schepers J. 2008. Nitrogen management for improved use efficiency. In: JS Schepers and W Raun (Eds.). Nitrogen in agricultural systems. Agronomy monograph 49. ASA-CSSSA-SSSA. 675-693.
- Reussi Calvo N., Echeverría, H. 2006. Estrategias de fertilización nitrogenada en trigo: balance hídrico para el sur bonaerense. *Ci. Suelo* 24 (2): 115-122.
- Reussi Calvo N., Echeverría H. y Sainz Rozas H. 2006. Respuesta del cultivo de trigo al agregado de azufre en el sudeste bonaerense. *Ci. Suelo* 24 (1): 77-87.
- Reussi Calvo N. 2009. Deficiencia de azufre en trigo: indicadores de disponibilidad en material vegetal. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de Mar del Plata, Fac. Cs. Agrarias. 143 p.
- Rubio G., Cabello M., Gutierrez Boem F. y Munaro E. 2008. Estimating available soil phosphorus increases after phosphorus additions in mollisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72:1721-1727.
- San Martín N. y Echeverría H. 1995. Determinación del contenido de sulfato en suelos del sudeste bonaerense. *Ci. Suelo* 13: 95-97.
- Satorre E., Menendez F. y Tinghitella G. 2005. El modelo Triguero: recomendaciones de fertilización nitrogenada en trigo. Simposio "Fertilidad 2005: nutrición, producción y ambiente". Rosario 27 y 28 de abril. INPOFOS Cono Sur-Fertilizar AC. Pp 3-11.
- Vigliezzi A., Echeverría H. y Studdert G. 1996. Nitratos en seudotallos de trigo como indicador de la disponibilidad de nitrógeno. *Ci. Suelo* 14 (2):57-62.