

# Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica

**IAH 10 - Junio 2013**

Condición física de los suelos limosos bajo siembra directa: Caracterización, génesis y manejo .....	2
¿El Nan mejora el diagnóstico de nitrógeno en trigo? .....	10
Respuesta a la inoculación y a la nutrición con fósforo y azufre del cultivo de arveja en el sur de Santa Fe .....	17
Incorporación de cultivos de cobertura previos a soja en el sudeste bonaerense .....	21
Acumulación de calcio, magnesio y azufre en los frutos de café.....	26
Reporte de Investigación Reciente.....	32
Cursos y Simposios .....	33
Publicaciones Disponibles .....	35



## En este número

- Condición física de los suelos limosos bajo SD
- ¿El Nan mejora el diagnóstico de N en trigo?
- Inoculación y fertilización con P y S en el cultivo de arveja en el sur de Santa Fe
- Cultivos de cobertura previos a soja en el sudeste bonaerense
- Acumulación de Ca, Mg y S en los frutos de café

**Editores :**  
**Dr. Fernando O. García**  
**Dr. Raúl Jaramillo**  
**Dr. Armando Tasistro**

**International Plant Nutrition Institute (IPNI)**

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

<http://www.ipni.net>

Oficina para el Cono Sur de Latinoamérica • Av. Santa Fe 910 (B1641ABO) Acassuso • Buenos Aires - Argentina  
Telf/Fax.: 54 11 4798 9939 • Correo electrónico: Lpisauri@ipni.net • <http://Lacs.ipni.net>

Oficina para el Norte de Latinoamérica • Casilla Postal 17 17 980 • Quito - Ecuador  
Telf.: 593 2 2463 175 • Fax: 593 2 2464 104 • Correo electrónico: aormaza@ipni.net • <http://nla.ipni.net>

Oficina para México y Centroamérica • 3500 Parkway Lane, Suite 550 • Norcross, GA 30092 - EE.UU  
Telf.: 1 770 825 8079 • Fax: 1 770 448 0439 • Correo electrónico: atasistro@ipni.net • <http://mca.ipni.net>

# Condición física de los suelos limosos bajo siembra directa: Caracterización, génesis y manejo

Carina R. Álvarez\*

## Introducción

Argentina, junto con Estados Unidos y Brasil, son los tres países del mundo con mayor superficie agrícola manejada bajo siembra directa (SD) (Derpsch, 2011; AAPRESID, 2011). Argentina en 2007/8 contaba con 25.8 Mha en SD; que representa el 85% de la superficie destinada a cultivos de grano. Esto genera un escenario de interés a nivel mundial para la evaluación de la evolución de la calidad de los suelos bajo SD y, también, a nivel país ya que prácticamente toda su producción se asienta sobre este sistema.

En la región pampeana argentina, como en otras regiones templadas del mundo, el reemplazo de labranza convencional (LC) por la SD resultó en un mejor control de la erosión, conservación del agua, ahorro de tiempo operativo y reducción del uso de combustibles fósiles.

A partir de este escenario surgen un conjunto de interrogantes en torno a la SD: ¿Cuál es el impacto de la SD sobre la calidad o salud del suelo? ¿La calidad del suelo en SD se diferencia de los suelos manejados con laboreo? ¿Cuáles son los principales problemas encontrados en SD? ¿Cómo pueden remediarse?

A partir de esta serie de preguntas nos propusimos realizar un diagnóstico del estado de calidad física de los suelos en SD en la Pampa Ondulada, profundizar en el estudio de los problemas detectados y proponer alternativas de manejo para su remediación y/o prevención (Figura 1).

## Diagnóstico

### Estado de la calidad de los suelos en la Pampa Ondulada

El concepto de calidad de suelo, estrechamente asociado al de sustentabilidad, se define como la capacidad del suelo para cumplir con un conjunto de funciones. Ellas son: el sostenimiento del crecimiento vegetal y animal, la retención de la materia orgánica (MO) y los nutrientes asociados, y la regulación del flujo de agua. La evaluación del estado de la calidad del suelo involucra la medición simultánea de un conjunto de propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo.

El movimiento de suelos prácticamente nulo en SD produce una serie de cambios en varias propiedades edáficas respecto de otros sistemas de labranza. Con el objetivo de evaluar el estado de calidad de los suelos

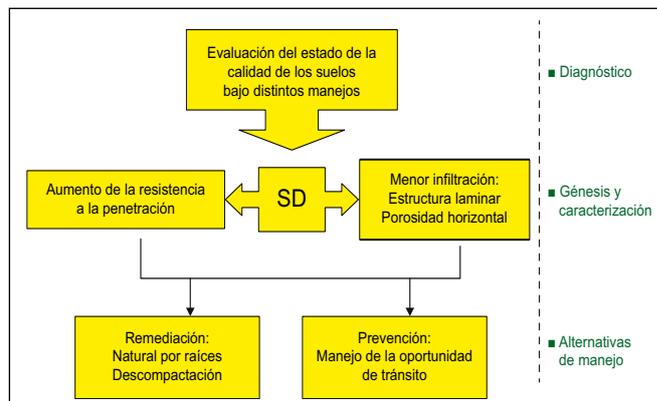


Figura 1. Organigrama del desarrollo del trabajo.

en la Pampa Ondulada, se muestrearon 45 situaciones (6 de ellas cuasi-prístinas, usadas como referencia); 18 bajo LC que en la región es labranza mínima o vertical y, finalmente, 21 situaciones en SD. Asimismo, los suelos muestreados abarcaban distintas texturas de suelos presentes en la región (franco, franco limosos y franco arcillo limosos; Álvarez et al., 2009; Álvarez et al., 2011).

La calidad de los suelos de referencia se diferenció marcadamente de los sitios agrícolas, fundamentalmente por un mayor contenido de carbono (C) orgánico, especialmente su fracción lábil (carbono orgánico particulado; >53  $\mu\text{m}$ ) y menor densidad aparente, compactación relativa e inestabilidad estructural (IE) (Tabla 1).

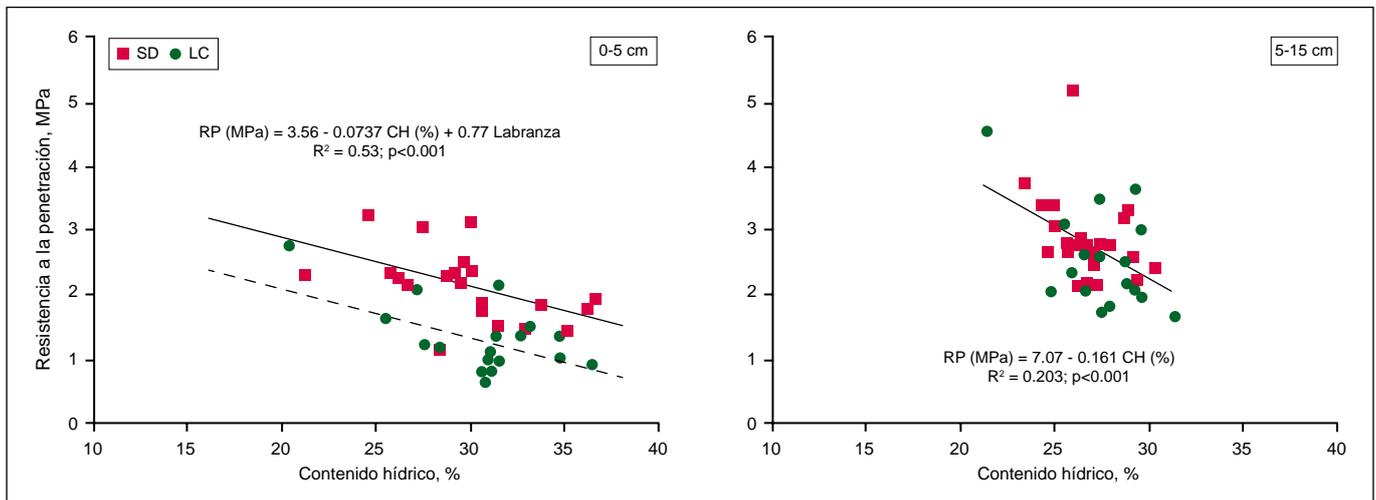
Por el contrario, los sistemas agrícolas sólo se diferenciaron por su IE y resistencia a la penetración (RP). La IE fue mayor bajo labranza (Tabla 1) y la RP mayor en SD (Figura 2). Los suelos manejados con SD presentaron mayor RP de 0 a 5 cm (0.77 MPa más alta). Sin embargo, esta mayor RP no estuvo asociada a una mayor densidad aparente. Esta falta de relación indica que no hubo cambios en el volumen total de poros. El aumento de RP debe ser entonces atribuido a un proceso de endurecimiento.

Uno de los hallazgos más importantes del muestreo realizado fue la interacción de la textura de los suelos y el manejo sobre la tasa de infiltración (Figura 3). Esto significa que pueden esperarse mejoras en la tasa de infiltración en los suelos francos bajo SD, pero no así en los suelos franco-limosos y franco-arcillo-limosos. Las menores tasas de infiltración en los suelos limosos manejados con SD estuvieron asociadas con la presencia de estructuras laminares en los primeros centímetros de los suelos.

\* Cátedra Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: [alvarezc@agro.uba.ar](mailto:alvarezc@agro.uba.ar)

**Tabla 1. Componentes orgánicos del suelo (0-30 cm) y propiedades físicas según el manejo (0-15 cm). Referencia (situaciones cuasi-prístinas), siembra directa (SD) y labranza convencional (LC). Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas entre manejos ( $p < 0.05$ ).**

	Referencia	SD	LC
Carbono orgánico ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	65.04 a	51.87 b	54.93 b
Nitrógeno total ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	6.31 a	4.80 b	4.98 b
Carbono orgánico particulado ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	18.34 a	9.93 b	10.37 b
Carbono orgánico resistente ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	46.69 a	41.94 a	44.56 a
Nitrógeno orgánico particulado ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	1.81 a	0.88 b	0.90 b
Nitrógeno orgánico resistente ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	4.50 a	4.10 ab	3.90 b
Espesor horizonte A (cm)	30.3	26.0	26.8
Inestabilidad estructural (mm)	0.317 b	0.573 ab	0.723 a
Densidad aparente ( $\text{Mg m}^{-3}$ )	1.10 b	1.19 a	1.19 a
Densidad aparente máxima ( $\text{Mg m}^{-3}$ )	1.41	1.42	1.41
Compactación relativa (%)	77.5 b	83.6 a	83.7 a



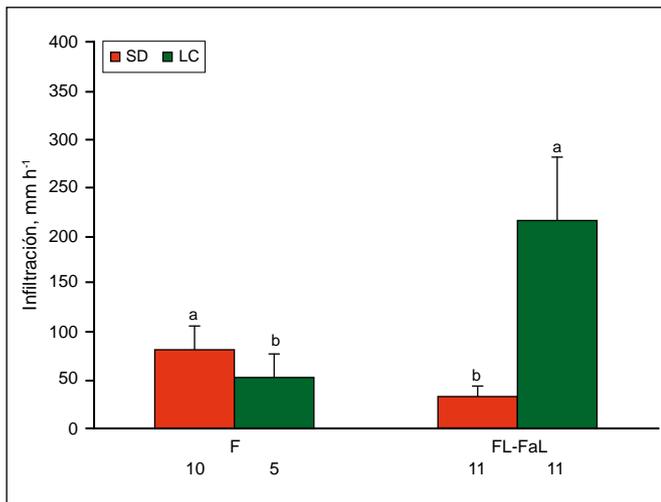
**Figura 2. Resistencia a la penetración (MPa) y su relación con el contenido hídrico (CH, %) del suelo para dos profundidades de muestreo. Siembra directa (SD) y labranza convencional (LC). Labranza: variable *Dummy* o ficticia con valor 1 para SD y valor 0 para LC.**

Opuesto a lo encontrado aquí, varios autores hallaron aumentos de tasa de infiltración por SD, los cuales fueron atribuidos a la formación de bioporos estables, lo cual comienza a ser hallado a partir de 5 años de implementación de SD (Hubert et al., 2007). El impacto negativo de la SD sobre la tasa de infiltración hallado en nuestro trabajo va en similar dirección que otros trabajos de años recientes (Sasal et al., 2006; Strudley et al., 2008). En ellos se halló que a pesar que la estabilidad estructural suele ser mayor en SD, no necesariamente ello da lugar a la formación de mayor macroporosidad y, correspondientemente, mayor tasa de infiltración. Sasal et al. (2006) compararon la tasa de infiltración de suelos laboreados y manejados con SD en tres ensayos de larga duración localizados en el INTA Pergamino. En dos de ellos, la infiltración fue 25% mayor en los suelos laboreados, mientras que en el tercer ensayo los tratamientos de labranzas no se diferenciaron entre sí. Las diferencias se debieron a la escasa presencia

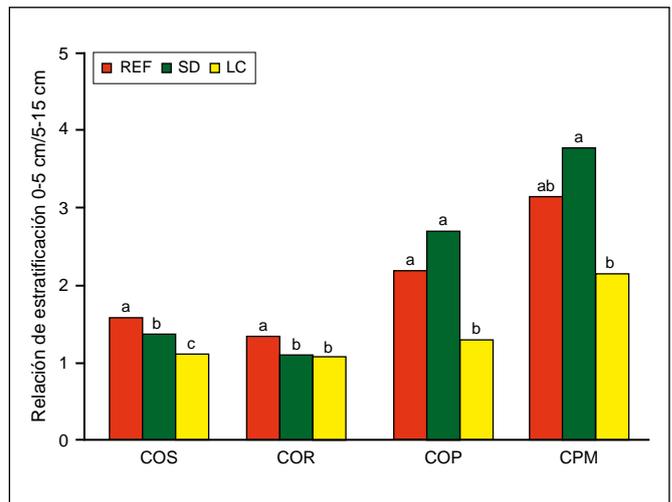
de macroporos orientados verticalmente en los suelos manejados con SD.

En referencia al componente orgánico, si bien como se dijo anteriormente SD y LC no difirieron en sus contenidos, en SD se observó una marcada estratificación (relación C0-5 cm : C5-15 cm) del C orgánico particulado y C potencialmente mineralizable, alcanzando valores similares a las referencias (Figura 4).

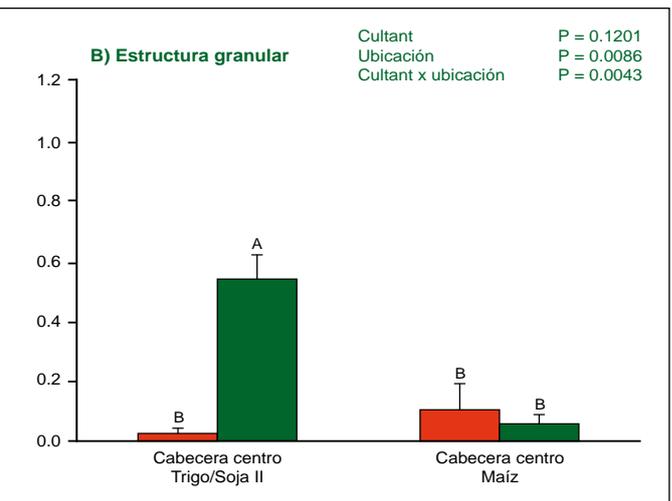
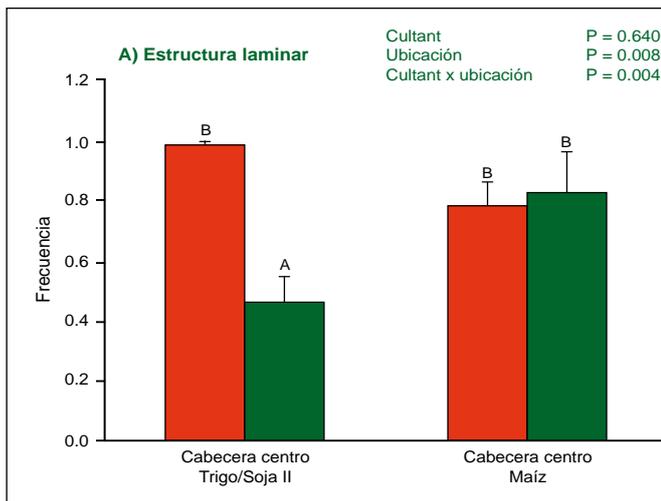
Franzluebbbers (2002) concluye que las elevadas relaciones de estratificación en SD generan efectos favorables en las propiedades físicas y que sería un indicador de un mayor secuestro de C orgánico en el suelo. Contrariamente a lo afirmado por Franzluebbbers (2002), sólo la IE copió dicha tendencia favorable, pero no lo hicieron ni la tasa de infiltración, ni el C orgánico total 0-30 cm (expresado en masa equivalente), ni la RP. A partir de nuestros resultados sugerimos no generalizar



**Figura 3.** Tasa de infiltración para los distintos suelos (F = francos y FL-FaL = franco-limoso y franco-arcillo-limosos) y manejos. Los números debajo de las barras indican el número de situaciones para cada suelo/manejo. La letra indica las diferencias de manejo dentro de cada clase textural ( $p \leq 0.05$ ). Siembra directa (SD) y labranza convencional (LC).



**Figura 4.** Relaciones de estratificación de los valores de los distintos componentes orgánicos. C orgánico del suelo (COS), C orgánico resistente (COR), C orgánico particulado (COP), y C potencialmente mineralizable (CPM). Letras distintas indican diferencias significativas entre manejos ( $p \leq 0.05$ ). Suelos de referencia (REF), siembra directa (SD) y labranza convencional (LC).



**Figura 5.** Frecuencia de estructura laminar (A) y granular (B) para cultivo antecesor (Cultant) y ubicación en el lote (Ubicación). Letras distintas indican diferencias significativas entre centro y cabecera para cada antecesor evaluado.

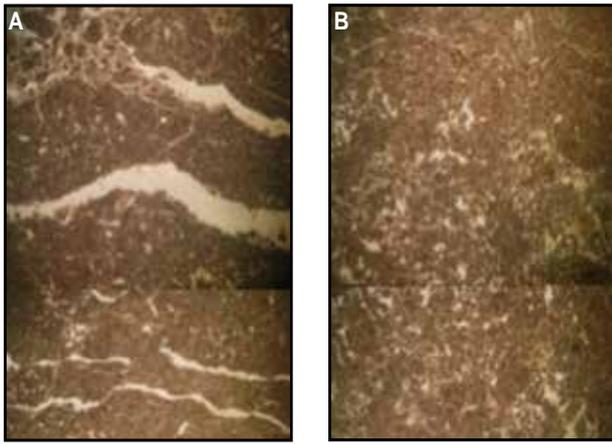
sobre una evolución favorable de estas propiedades a partir de una adecuada relación de estratificación.

### Génesis y caracterización de la estructura laminar

Con el objetivo de profundizar en el estudio de la estructura superficial laminar encontrada en SD se realizó un censo de la estructura presente en varios lotes que diferían en los años bajo SD, cultivos antecesores inmediatos antes de la medición y materia orgánica (Álvarez et al., 2012). Dentro de estos lotes se delimitó una zona de mayor tránsito (cabecera) y otra de menor tránsito (centro de lote). La frecuencia de estructura laminar presentó una interacción entre el cultivo antecesor y el tránsito. La condición que presentó menor frecuencia de láminas y mayor estructura granular correspondió al centro del lote (< tránsito) y el doble cultivo trigo-soja de II como antecesor (Figura 5a, b).

En la Figura 6 se puede apreciar los dos tipos de estructura descriptos en muestras de micromorfología correspondientes a la condición de doble cultivo en cabecera y centro.

La estructura laminar está sumamente extendida en la región y, a su vez, generalizada en los suelos evaluados (Figura 5). Esta abundancia fue atribuida a que, en ausencia de laboreo, colapsan los macroporos creados previamente en forma mecánica. Se produce así el asentamiento y re-consolidación del suelo, conformando una estructura planar con clara dominancia de porosidad horizontal (Kay et al., 1985). Estos autores sugieren que la formación abiótica de estos agregados está relacionada con los ciclos congelamiento-descongelamiento, propios de los sistemas productivos donde trabajaron. Estos ciclos terminarían consolidando este tipo de estructura laminar, debido a las lenguas de hielo que se forman dentro de estos poros.



**Figura 6. Imágenes micromorfológicas del suelo con trigo/soja de segunda en la zona de cabecera (A; > tránsito) y centro de lote (B; < tránsito) (Álvarez et al., 2012).**

En las condiciones ambientales de la Pampa Ondulada, carentes de ciclos de congelamiento-descongelamiento, el proceso puede ser atribuido a la formación de grietas durante la alternancia de ciclos de humedecimiento-secado. Dexter (1988) plantea que el mecanismo de hinchamiento diferencial por humedecimiento repentino se basa en la generación de estreses de tensión por el contacto entre el agua y capas superficiales de suelo muy seco. Como resultado, se generan presiones de aire atrapado en los poros, que dan lugar a la formación de grietas orientadas en forma paralela al frente de humedecimiento.

La mayor presencia de estructura laminar y de mayor espesor en las cabeceras de los lotes independientemente del cultivo antecesor, lleva a considerar al tránsito como un factor adicional que favorece el desarrollo y persistencia de este tipo de estructura. Slowinska-Jurkiewiczy y Domzal (1991) observan la conformación de este tipo estructural en imágenes micromorfológicas como consecuencia del tránsito reiterado. Por otro lado, Horn et al. (2003) midieron con sensores el desplazamiento horizontal del suelo en la capa superficial resultante del rodado que resulta en estructura de tipo laminar.

Se observó que cuanto mayor fue el espesor o desarrollo de la capa con estructura laminar menor fue la infiltración ( $r = -0.3373$ ;  $p < 0.05$ ) y mayor la resistencia al corte ( $r = 0.2969$ ;  $p < 0.05$ ). Por lo tanto, se pone en evidencia el efecto negativo de este tipo de estructura sobre la dinámica de ingreso de agua al suelo como fue observado en el muestreo regional.

## Remediación

### Acción de las raíces

Los resultados presentados en el apartado anterior muestran que la presencia de raíces en forma continua durante todo el año en el doble cultivo trigo/soja de II, aumentó la proporción de agregación granular. Ello

resalta la importancia del enredado por raíces en suelos limosos con arcillas poco expansibles como mecanismo de formación de agregados. Esto fue confirmado en un censo de tipo de estructura realizado en una pastura, en el tercer año a partir de su implantación. Independientemente de la cabecera o centro, se observó agregación granular producto del enredado de las raíces.

Sin embargo, este tipo de mecanismo de agregación no persiste en el tiempo, por lo que se sugiere como práctica agronómica maximizar la presencia de raíces vivas en estos sistemas productivos. Una alternativa muy valiosa es la incorporación de cultivos de cobertura (CC) que cumplan con esta función y a su vez, al no ser cosechados, el tránsito es menor que en el caso del doble cultivo productivo. Se ha demostrado que los CC reducen la compactación del suelo e incrementan la macroporosidad, facilitando la infiltración y la aireación del suelo. Además, si las raíces de los CC son capaces de atravesar capas compactas, podrían constituir una alternativa de corto plazo para regenerar la estructura, sin necesidad de recurrir a la remoción del suelo. Sería de interés evaluar su acción sobre la orientación de los poros en superficie, buscando aquellos cultivos que favorezcan la reversión de la estructura laminar.

### Remoción mecánica de estructuras desfavorables

La detección de compactación o endurecimiento superficial en SD y una menor infiltración –visualizada en forma de encharcamiento temporal– ha llevado a proponer el uso de descompactadores.

Durante tres campañas se llevaron adelante en la Pampa Ondulada 12 ensayos con el objetivo de evaluar el impacto de la descompactación sobre el cultivo de maíz, las propiedades edáficas y su perdurabilidad en el tiempo (Álvarez et al., 2007; Álvarez et al., 2009 a; Álvarez, 2009). Los suelos evaluados fueron los suelos agrícolas más representativos de la región: Hapludoles y Argiudoles Típicos. Los mismos presentan variaciones en el contenido de limo (27-69%), arena (1-57%) y MO (2.7-3.9%) de 0-20 cm. Los suelos fueron descompactados entre 30 y 118 días antes de la siembra.

Durante los ensayos, las precipitaciones durante el ciclo del cultivo presentaron diferencias entre las campañas (**Figura 7**), especialmente en el mes de diciembre. En las campañas 2004/05 y 2006/07, las precipitaciones durante ese mes superaron ampliamente la media de la región, mientras que en la campaña 2005/06 las mismas fueron 50% inferiores a dicho valor.

En la **Figura 7** se presentan los principales resultados obtenidos en los ensayos. La tasa de infiltración al momento de la siembra del maíz fue 7 veces mayor en el tratamiento descompactado que en el testigo. Las diferencias en la tasas de infiltración entre tratamientos disminuyeron notablemente al momento de la cosecha del maíz, y sólo en un sitio resultó estadísticamente significativa.

La RP fue muy sensible a la práctica de descompactación, mostrando una importante reducción a la siembra en los suelos descompactados. La RP se redujo en promedio el 40% de 0-20 cm y 20% de 20-40 cm por la descompactación. Dicha diferencia entre tratamientos se sostuvo hasta el momento previo a la cosecha del maíz. Los promedios de RP, en general, no superaron los umbrales críticos máximos en los testigos. Teniendo en cuenta que el nivel de humedad edáfica era en general adecuado en todas las situaciones y profundidades no debe descartarse que los umbrales sean sobrepasados en condiciones de suelo más seco (Gupta y Allmaras, 1987; Glinski y Lipiec, 1990).

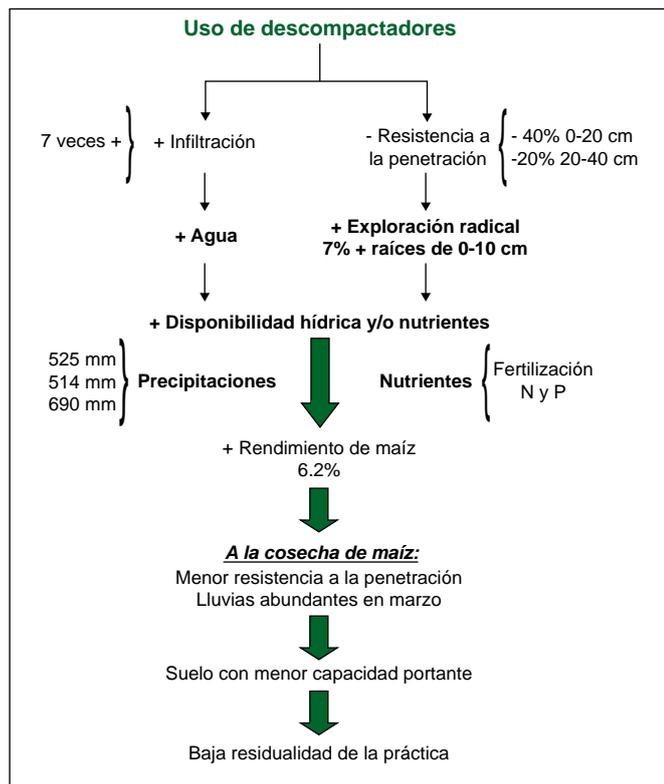


Figura 7. Resumen de los resultados del presente apartado. Las precipitaciones (pp) corresponden a los ciclos de maíz evaluados.

En las dos primeras campañas se evaluó la abundancia radical hasta el metro de profundidad. Sólo se encontró diferencia en la abundancia radical en el estrato integrado de 0-10 cm, siendo 7% mayor en el tratamiento descompactado. Se puede por lo tanto, suponer una mejora en el acceso a recursos (agua y nutrientes).

Cabe destacar que en todas las situaciones se observó presencia de raíces hasta el metro de profundidad, y un importante descenso de la abundancia con la profundidad, independientemente de las diferencias texturales de los suelos. La abundancia de raíces en maíz difiere con lo observado en soja. En esta última se observó que la abundancia era cercana a cero con contenidos de arcilla de 35% (Micucci y Taboada, 2006). Esto puede estar relacionado con la diferente arquitectura radical de ambos cultivos, pivotante y en cabellera. Dardanelli et al. (2003) observaron crecimiento de raíces en forma aglutinada entre las grietas de los horizontes Bt fuertemente texturales.

El rendimiento de maíz fue mayor en el tratamiento descompactado (Figura 8A, 8B). El incremento medio fue de 754 kg ha<sup>-1</sup>; o expresado en forma relativa 6.2%. El incremento medio varió entre -328 y 1896 kg ha<sup>-1</sup> y el relativo entre -2.9% y 17.9%. En términos generales, las campañas evaluadas contaron con una adecuada disponibilidad de lluvias durante el ciclo, a excepción del 2005, donde las lluvias en el periodo crítico fueron sustantivamente menores a las precipitaciones históricas. Los resultados obtenidos encuadran dentro de aquellos antecedentes que hallaron beneficios por parte de la labor de descompactación (Botta et al., 2004; Sadras et al., 2005).

En tres de los sitios se evaluó la RP en el momento de la siembra de la soja de primera o segunda según el caso. En ese momento, más de un año desde la descompactación, los tratamientos no se diferenciaban,

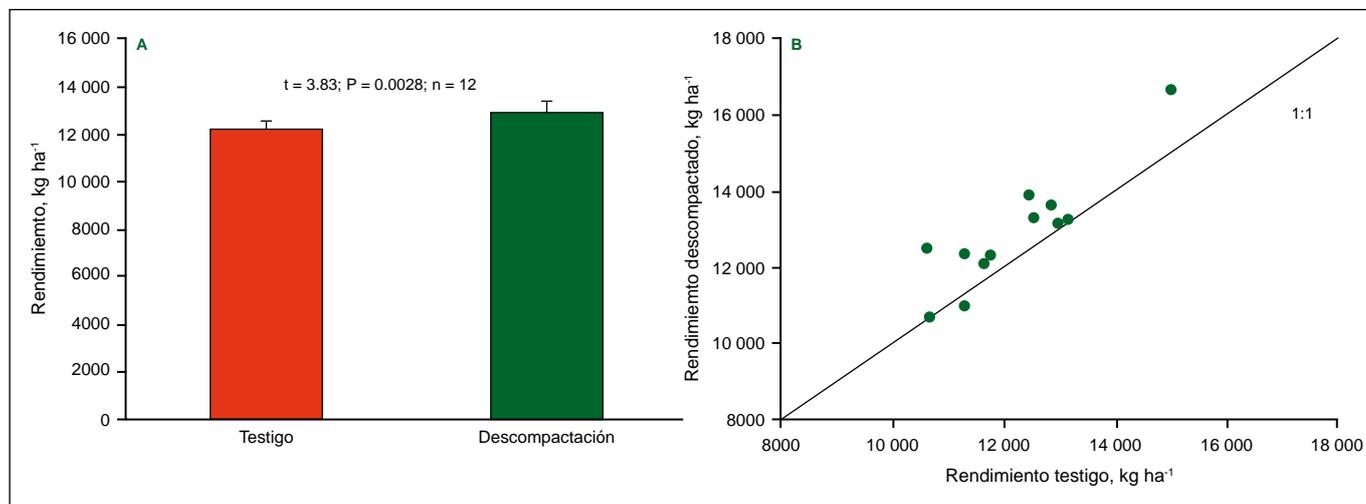


Figura 8. Rendimiento promedio de maíz para los tratamientos testigo y descompactado (A) y rendimiento del tratamiento descompactado vs. testigo (B). Las barras en A indican el error estándar. La línea llena en B indica la relación 1:1.

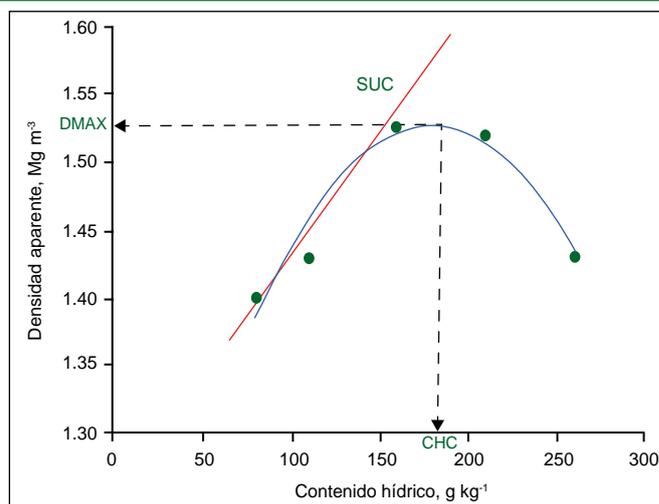
sino que por el contrario el tratamiento descompactado presentaba un valor levemente superior al testigo de 0 a 5 cm. Uno de los efectos negativos de una labor de descompactación es dejar al suelo más vulnerable (menor capacidad portante) a la aplicación de nuevos estreses compactantes. El tiempo de re-compactación depende del manejo posterior del tránsito. En el momento previo a la cosecha del cultivo de maíz (abril de 2007), el suelo presentaba aún efectos de la labor de descompactación realizada meses atrás. El escenario hídrico a cosecha de ese cultivo de maíz fue extremadamente húmedo pues las precipitaciones en marzo alcanzaron los 250 mm. Por lo tanto, la cosecha del cultivo se efectuó con el suelo con mínima capacidad portante. Un escenario de alta intensidad de tránsito no controlado y altos rendimientos del maíz pudo haber contribuido a determinar una baja residualidad de la práctica de descompactación. De los resultados obtenidos, surge la importancia de practicar una estrategia preventiva de la re-compactación luego del pasaje del implemento, para extender la residualidad de la práctica. Entre ellos, cabe mencionar evitar el tránsito con baja capacidad portante del suelo (se tratará en el próximo apartado), el control de tránsito (minimizar el área transitada) y la consolidación de estructura a partir del enredado de raíces.

## Prevención

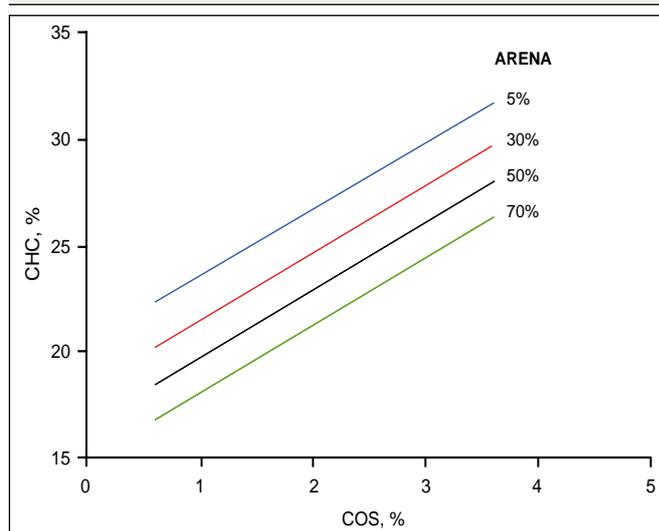
### Funciones de pedotransferencia para estimar la compactabilidad de los suelos

La compactación es mayor cuando se transita con el suelo húmedo y/o se utilizan neumáticos de alta presión en los equipos pesados. El riesgo de compactación de un suelo puede ser predicho a través del test de compactabilidad de Proctor que se realiza en laboratorio (ASTM, 1982). Este procedimiento estandarizado de ingeniería de suelos determina los cambios de la densidad aparente del suelo en función de su contenido de humedad en respuesta a la aplicación de una energía y procedimiento de compactación estandarizados. Los principales parámetros derivados del test de Proctor son la densidad aparente máxima y el contenido hídrico crítico. En la **Figura 9** se presenta una curva teórica resultante del test de Proctor con los parámetros principales. La densidad máxima se alcanza a un contenido específico de humedad del suelo llamado contenido hídrico crítico. Resulta de interés conocer el contenido hídrico crítico, ya que debe evitarse transitar en esa condición ya que se provoca la mayor compactación del suelo. La realización de este Test es complicada y por lo tanto, resulta importante generar alguna ecuación de edafotransferencia, que permita estimar sus parámetros a partir de propiedades del suelo fáciles de medir (textura, materia orgánica, etc.).

Se analizaron situaciones que comprenden datos propios de lotes de producción (62 casos) y otros de



**Figura 9. Curva teórica de densidad aparente vs. contenido hídrico del suelo obtenida a partir del Test de Proctor. Densidad aparente máxima alcanzada (DMAX) en el contenido hídrico crítico (CHC). Susceptibilidad a la compactación (SUC) o pendiente de la rama seca.**



**Figura 10. Variación del contenido de humedad crítico (CHC) con el C orgánico del suelo (COS) y el contenido de arena según modelo presentado en la Tabla 2.**

trabajos previos publicados de la región (35 casos) (Kruger, 1996; Aragón et al., 2000; Álvarez et al., 2011). Los sitios analizados están distribuidos a lo largo de la región pampeana. Los suelos en su mayoría son Molisoles (Argiudoles Típicos, Abrúpticos y Vérticos; Hapludoles Típicos y Enticos) y, en menor proporción, Entisoles y Vertisoles.

Se ajustaron diferentes modelos para predecir los parámetros del Test de Proctor (**Tabla 2**). Para la densidad aparente máxima, el modelo más simple incluye al C orgánico del suelo como variable predictiva. El contenido de C orgánico del suelo explica aproximadamente la mitad de la variación de la densidad aparente máxima de los suelos ( $R^2 = 0.501$ ). El ajuste ( $R^2$ ) aumenta un 15.8% con la incorporación del contenido de arena como segunda variable independiente en el modelo de regresión múltiple. Un modelo más complejo fue

**Tabla 2. Modelos obtenidos a partir del training set. C orgánico del suelo (%) (COS); densidad aparente máxima (DMAX) según Test de Proctor; contenido de humedad crítico (CHC) donde se alcanza la DMAX. A: contenido de arena (%); M: manejo del suelo, pastura, parques, monte y siembra directa = 0 y 1 para suelos laboreados. Número de muestras = 73. Cuadrado medio del error (CME).**

	Modelos	R <sup>2</sup>	CME	P
DMAX (Mg m <sup>-3</sup> )	= 1.6246 - 0.0748 COS (%)	0.501	0.0056	p<0.001
	= 1.50343 - 0.0649 COS (%) + 0.000273 A (%)	0.659	0.0039	p<0.001
	= 1.4756 - 0.0599 COS (%) + 0.000275 A (%) + 0.0539 M	0.711	0.0034	p<0.001
CHC (%)	= 17.1 + 0.3483 COS (%)	0.465	1413	p<0.001
	= 20.8 + 0.3176 COS (%) - 0.008441 A (%)	0.530	1260	p<0.001
	= 24 + 0.2776 COS (%) - 0.009166 A (%) - 24.8 M	0.561	1193	p<0.001

obtenido con la incorporación de una variable *dummy* como tercer variable independiente. Esta variable distingue entre las situaciones sin laboreo (suelos no cultivados y SD; valor de la variable *dummy* = 0) y los suelos laboreados (LC, valor de la variable *dummy* = 1). Esta regresión múltiple con tres variables explica alrededor del 70% de la variación de densidad aparente máxima (R<sup>2</sup> = 0.71).

Las mismas variables independientes predicen el contenido hídrico crítico, pero con signos opuestos. Sin embargo, se obtuvieron menores ajustes para el contenido hídrico crítico, lográndose una explicación de la mitad de variación del mismo (R<sup>2</sup> = 0.56) con el modelo de regresión múltiple que incluye tres variable independientes.

Los modelos fueron validados con un set de datos independientes y los ajustes obtenidos fueron aún mayores que los logrados con el conjunto de datos usados para obtener los mismos. El mejor modelo predictivo para densidad aparente máxima fue el que incluyó las tres variables; mientras que en el caso del contenido hídrico crítico, se descartó el modelo que incluía la variable *dummy* o ficticia de manejo (0 ó 1), teniendo en cuenta el R<sup>2</sup> y cuadrado medio del error. El modelo que mejor predijo las variaciones del contenido hídrico crítico fue el que incluyó el C orgánico del suelo y el contenido de arena.

En conclusión, se obtuvieron ecuaciones de edafotransferencia para la región pampeana, mediante las cuales se pueden estimar los parámetros del Test de Proctor a partir de variables de fácil determinación. Adicionalmente, este estudio brinda nueva información sobre el comportamiento de los suelos bajo SD cuando son sometidos a un estrés de tránsito. La compactación del suelo puede ser evitada si se reduce el tránsito, o bien se aumenta la resistencia del suelo para soportar las cargas aplicadas - capacidad portante. En este último caso, se reduce la densidad aparente máxima al aumentar el C orgánico del suelo y con la utilización

de SD. Asimismo, el productor debe evitar transitar el suelo (cosecha, aplicaciones de protección) con valores de contenido hídrico cercanos al contenido hídrico crítico. En la **Figura 10** se presentan los distintos valores de contenido hídrico crítico de suelos con distintos contenidos de C orgánico y arena, de modo de que los productores y técnicos puedan de manera rápida conocer el valor contenido hídrico crítico de sus suelos, y operar considerando el mismo.

### Recomendaciones

A partir de los datos emergentes de este trabajo se sugiere para un buen manejo de la calidad física de los suelos en SD:

- Monitorear la evolución de la resistencia a la penetración y la infiltración en planteos de SD continua.
- Propiciar la presencia de raíces vivas que aseguren la agregación por enredado o entramado radical, el cual parece ser un mecanismo de importancia para la buena estructuración de suelos limosos con arcillas no expandibles. Surge de este trabajo que el suelo debería contar con raíces vivas a lo largo de todo el año (CC, doble cultivo).
- Aplicar prácticas tendientes a aumentar o mantener el contenido de MO del suelo, las cuales son las mismas que asegurarían maximizar la agregación por enredado.
- Aplicar medidas preventivas de la compactación como el control del tránsito agrícola y transitar con buena capacidad soporte del suelo (altos contenidos de MO, no transitar el suelo cerca del contenido hídrico crítico).
- Si se aplican medidas correctivas como la descompactación, asegurar su persistencia con un buen manejo pos-práctica aplicando todas las medidas preventivas posibles descriptas en el ítem anterior.

## Bibliografía

- AAPRESID. 2011. Asociación Argentina de productores en Siembra Directa. [http://www.aapresid.org.ar/images/cms/assets/docs/aapresid.evolucion\\_sd\\_en\\_argentina\\_2009.pdf](http://www.aapresid.org.ar/images/cms/assets/docs/aapresid.evolucion_sd_en_argentina_2009.pdf). Acceso: 1/4/2011.
- Álvarez, C.R., M.A. Taboada, C. Bustingorri, y F.H. Gutiérrez-Boem. 2006. Descompactación de suelos manejados en siembra directa bajo cultivo de maíz. *Ciencia del Suelo*, 24:1-10.
- Álvarez, C.R., M.A. Taboada, F.H. Gutiérrez-Boem, A. Bono, P.L. Fernández, y P. Prystupa. 2009a. Topsoil properties as affected by tillage systems in the Rolling Pampa region of Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73:1242-1250.
- Álvarez, C.R., M. Torres Duggan, E.R. Chamorro, D. D'Ambrosio, y M.A. Taboada. 2009b. Efectos a corto plazo y residual de la descompactación en suelos franco limosos en siembra directa cultivados con maíz. *Ciencia del Suelo* 27:159-170.
- Álvarez, C.R. 2009c. Uso de descompactadores en planteos de siembra directa: efecto sobre el suelo y el cultivo en la Región Pampeana. III Taller de Física de Suelos. Organizado por la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Córdoba.
- Álvarez, C.R., F.G. Micucci, C. Bustingorri, y M.A. Taboada. 2010. Prediction of Proctor test parameters in the Pampas region of Argentina. *Revista Brasileira do Ciencia do Solo*, 34:1787-1793.
- Álvarez, C.R., A.O. Costantini, A. Bono, M.A. Taboada, F.H. Gutierrez-Boem, P.L. Fernández, y P. Prystupa. 2011. Distribution and vertical stratification of carbon and nitrogen in soil under different managements in the Pampean Region of Argentina. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 35:1985-1994. ISSN 0100-0683.
- Álvarez, C.R., M.A. Taboada, S. Perelman, y H.J.M. Morras. 2012. Topsoil structure in no-tilled silty loam soils in the Rolling Pampas, Argentina. 19th ISTRO Conference, Uruguay.
- Aragón, A., M.G. García, R.R. Filgueira, y Y.A. Pachepsky. 2000. Maximum compactibility of Argentine soils from the Proctor test: The relationship with organic carbon and water content. *Soil Tillage Res.* 56:197-204.
- Botta, G.F., D. Jorajuria, R. Balbuena, M. Ressia, C. Ferrero, H. Rossato, y M. Tourn. 2006. Deep tillage and traffic effects on subsoil compaction and sunflower (*Helianthus annuus* L.) yields. *Soil Till. Res.* 91:164-172.
- Dardanelli, J.L., M.A. Calmon, J.W. Jones, M.P. Andriani, M.P. Díaz, y D.J. Collino. 2003. Use of a crop model to evaluate soil impedance and root clumping effects on soil water extraction in three argentine soils. *Trans. ASAE*, 46:1265-1275.
- Derpsch, R. 2011. Situación general de la siembra directa en el mundo. <http://www.rolf-derpsch.com/>. Acceso: 1/4/2011.
- Dexter, A.R. 1988. Advances in the characterization of soil structure. *Soil Tillage Res.* 11:199-238.
- Franzluebbers, A. 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil and Tillage Research* 66:95-106.
- Glinski, J., y J. Lipiec. 1990. *Soil Physical Conditions and Plant Roots*. CRC Press Inc, Boca Raton, Florida. 250 p.
- Gupta, S.C., y R.R. Allmaras. 1987. Models to assess the susceptibility of soils to excessive compaction. *Adv. Soil Sci.* 6:65-100.
- Horn, R., T. Way, y J. Rostek. 2003. Effect of repeated tractor wheeling on stress/strain properties and consequences on physical properties in structured arable soils. *Soil Till. Res.* 73:101-106.
- Hubert, F., V. Hallaire, P. Sardini, L. Caner, y D. Heddadj. 2007. Pore morphology changes under tillage and no-tillage practices. *Geoderma* 142:226-236.
- Kay, B.D., C.D. Grant, y P.H. Groenevelt. 1985. Significance of ground freezing on soil bulk density under zero tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:973-978.
- Krüger, H.R. 1996. Compactación en Haplustoles del sudoeste bonaerense (Argentina) bajo cuatro sistemas de labranza. *Ciencia del Suelo* 14:104-106.
- Micucci, F.G., y M.A. Taboada. 2006. Soil physical properties and soybean (*Glycine max* Merrill) root abundance in conventionally- and zero-tilled soils in the humid Pampas of Argentina. *Soil Tillage Res.* 86:152-162.
- Oades, J.M. 1993. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma* 56:377-400.
- Sadras, V.O., G.J. O'Leary, y D.K. Roget. 2005. Crop responses to compacted soil: capture and efficiency in the use of water and radiation. *Field Crops Res.* 91:131-148.
- Sasal, M.C., A.E. Andriulo, y M.A. Taboada. 2006. Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in Argentinean Pampas. *Soil and Tillage Research* 87:9-18.
- Slowińska-Jurkiewicz, A., y H. Domżał. 1991. The structure of the cultivated horizon of soil compacted by wheels of agricultural tractors. *Soil Till. Res.* 19:215-226.
- Strudley, M.W., Green, T.R., Ascough II, J.C. 2008. Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: state of the science. *Soil Tillage Res.* 99:4-48.
- Taboada, M.A., O.A. Barbosa, M.B. Rodríguez, y D.J. Cosentino. 2004. Mechanisms of aggregation in a silty loam under different simulated management regimes. *Geoderma* 123:233-244.
- Taboada, M.A., O.A. Barbosa, y D.J. Cosentino. 2008. Null creation of air-filled structural pores by soil cracking and shrinkage in silty loam soils. *Soil Sci.* 173:130-142.★

# ¿El Nan mejora el diagnóstico de nitrógeno en trigo?

N. Reussi Calvo<sup>1,2</sup>, H. Sainz Rozas<sup>2</sup>, H.E. Echeverría<sup>2</sup>, A. Berardo<sup>1</sup> y N. Diovisalvi<sup>1</sup>

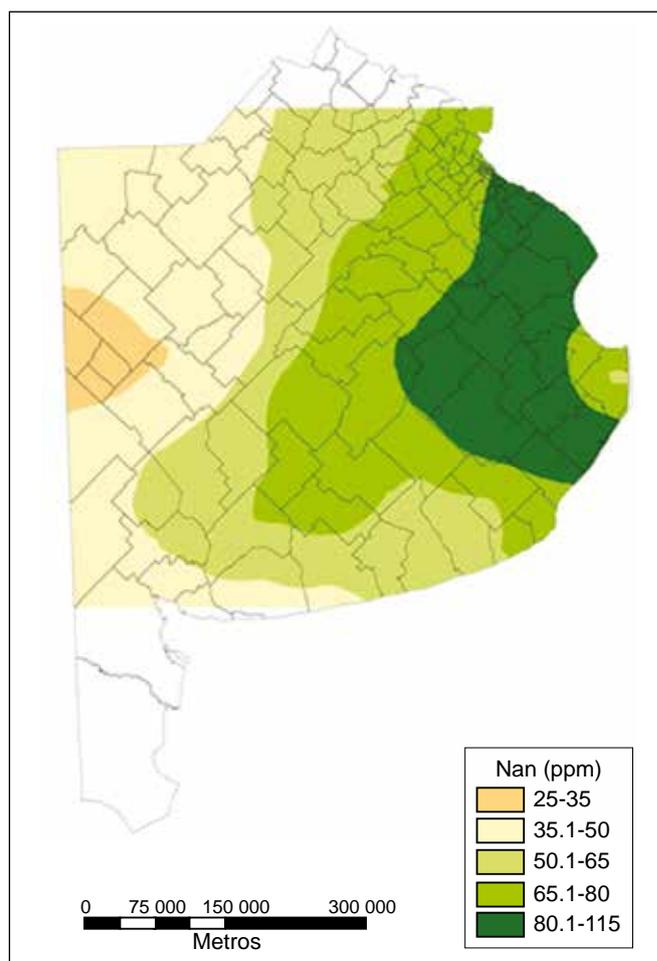
## Introducción

El aporte de nitrógeno (N) por mineralización es una de las principales fuentes de N para los cultivos, particularmente en suelos con altos contenidos de materia orgánica (MO) (Echeverría y Ferrari, 1993). En general, el aporte de N por mineralización representa el 30% de la demanda de N del trigo (González Montaner et al., 1997) y 60% del maíz (Steinbach et al. 2004). La determinación del contenido de  $N-NH_4^+$  producido en incubación anaeróbica (Nan) de muestras de suelo (0-20 cm) sería un indicador confiable para estimar el aporte de N por mineralización, dado que se correlaciona estrechamente con el N potencialmente mineralizable (Soon et al., 2007). Para el sudeste bonaerense, Echeverría et al. (2000) obtuvieron una estrecha correlación entre el Nan y el N potencialmente mineralizable. Además, el Nan es un indicador relativamente simple y sensible a los cambios producidos por las prácticas de manejo y sistemas de labranza (Fabrizzi et al., 2003). Es válido mencionar que el relativamente corto periodo de incubación de las muestras de suelo (7 días a 40 °C) respecto a otras metodologías representa una gran ventaja y facilita su utilización como método de rutina.

En un relevamiento de suelo realizado en la provincia de Buenos Aires, Reussi Calvo et al. (2011) determinaron niveles promedio de Nan desde 25 hasta 115 mg kg<sup>-1</sup> según la zona, siendo mayores los valores promedios en el este y menores en el oeste (**Figura 1**). Esto constituye una evidencia de los diferentes potenciales de mineralización de N que poseen los suelos, los cuales deberían ser considerados al momento de ajustar la dosis de N para los cultivos (Sainz Rozas et al., 2008; Reussi Calvo et al., 2013). Es válido recordar que el potencial de mineralización de N de los suelos se ve afectado, entre otros factores, por la historia agrícola (Genovese et al., 2009), las prácticas de manejo (Studdert y Echeverría, 2006) y las condiciones climáticas (Álvarez y Steinbach, 2011).

En la actualidad, la metodología más difundida para el diagnóstico de N en trigo se basa principalmente en la determinación del contenido de N como nitratos ( $N-NO_3^-$ ) en el suelo (0-60 cm) al momento de la siembra (Calviño et al., 2002; Barbieri et al., 2009). Para su empleo, se han propuestos distintos umbrales de disponibilidad de N (suelo+fertilizante), los cuales varían según la zona, sistema de labranza y el rendimiento objetivo del cultivo (Barbieri et al., 2009). No obstante, este tipo de modelos simplificados no contemplan de forma directa el aporte de N por mineralización. Además, en las últimas décadas, en toda la región pampeana y en el sudeste bonaerense en particular, se ha dado un proceso de intensificación

de la actividad agrícola el cual ha ocasionado una reducción en el contenido de MO de los suelos (Sainz Rozas et al., 2011). A su vez, la implementación de sistemas de labranza conservacionistas como la siembra directa (SD) y periodos de barbecho cortos, por alta frecuencia del cultivo de soja como antecesor, afectan la capacidad de mineralización de N del suelo (Studdert y Echeverría, 2000). En tales situaciones de manejo, la concentración de  $N-NO_3^-$  en el suelo a la siembra de los cultivos es generalmente baja y poco variable, lo que afectaría la precisión de modelos basados únicamente en la medición del contenido de  $N-NO_3^-$ , dado que no se producen las condiciones ni el tiempo necesario para que se exprese la capacidad de mineralización de N del suelo. En general entre 38 y 54% de la variación en el rendimiento del trigo es explicada por la disponibilidad de  $N-NO_3^-$  (0-60 cm) al momento de la siembra (Barbieri et al., 2009).



**Figura 1. Niveles promedio de nitrógeno anaeróbico (Nan) en el estrato superficial (0-20 cm) de suelos agrícolas de la provincia de Buenos Aires. n = 3240 (Reussi Calvo et al., 2011).**

<sup>1</sup> Laboratorio de suelos FERTILAB. Correo electrónico: [nreussicalvo@laboratoriofertilab.com.ar](mailto:nreussicalvo@laboratoriofertilab.com.ar)

<sup>2</sup> Unidad Integrada Balcarce

Lo mencionado plantea la necesidad de contar con herramientas que permitan cuantificar el aporte de N por mineralización durante el ciclo del cultivo, lo que mejoraría la estimación del N disponible y de la dosis de N a aplicar, aumentando de esta manera la eficiencia de uso del N. Como fue mencionado, el Nan sería un indicador sensible y simple para tal fin, sin embargo, en la actualidad no existe información acerca de la utilidad del uso de un índice combinado ( $N-NO_3^- + Nan$ ), como alternativa a la utilización del índice simple ( $N-NO_3^-$ ), para mejorar el diagnóstico de la disponibilidad de N en el cultivo de trigo. Por lo tanto, los objetivos del presente trabajo fueron evaluar la contribución del Nan al rendimiento del cultivo de trigo, a la exportación de N en grano y a la respuesta a la fertilización nitrogenada.

### Materiales y métodos

Se realizaron un total de 28 ensayos bajo SD, durante los años 2006, 2008, 2009, 2010 y 2011 en lotes con diferente historia agrícola del sur de la provincia de Buenos Aires. Los ambientes seleccionados están ubicados en las localidades de Maipú, General Madariaga, Balcarce, Miramar, Otamendi, Pieres y Lobería (**Figura 2**). Los suelos predominantes son Argiudoles típicos y Paleudoles Petrocálcicos con textura superficial franca, sub-superficial franco arcillosa y franco arenosa por debajo de los 110 cm de profundidad.

El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones y los tratamientos evaluados fueron con y sin aplicación de N. La dosis de N empleada fue aquella que permitió obtener la máxima repuesta, la cual varió desde 90 hasta 200 kg N ha<sup>-1</sup> según el sitio experimental (Reussi Calvo et al., 2013). Para que el fósforo (P) y el azufre (S) no fueran limitantes se aplicó a la siembra una dosis de 25 y 20 kg ha<sup>-1</sup> de P y S, respectivamente. El fertilizante nitrogenado se aplicó al voleo en el estado de dos o tres hojas del trigo bajo la forma de urea (46-0-0). A la siembra del cultivo se

realizaron muestreos de suelo en superficie (0-20 cm) para determinar el contenido de MO, pH y Nan, y en el perfil (0-20, 20-40 y 40-60 cm) para  $N-NO_3^-$ . El Nan se obtuvo por incubación de la muestra de suelo en anaerobiosis durante 7 días a 40 °C (**Foto 1**) (Soon et al., 2007). En la **Tabla 1** se presentan algunas características de suelo de los sitios experimentales.

A la cosecha se determinó el rendimiento y se expresó al 14% de humedad. La concentración de N total en grano se determinó por el método de combustión seca de Dumas, utilizando un analizador TruSpec CNS. Los valores de concentración de N en grano se transformaron a proteína empleando un factor de 5.7. La exportación de N en grano se determinó como el producto entre el rendimiento del cultivo con 0% de humedad y la concentración de dicho nutriente en grano.

Los efectos de los tratamientos fueron evaluados por análisis de la varianza utilizando el PROC ANOVA del programa SAS (SAS Institute, 1988). Se realizó análisis de regresión multivariada empleando el procedimiento PROC REG (SAS Institute, 1988).

### Resultados y discusión

Los valores de pH de los suelos estudiados se ubicaron dentro del rango citado por Sainz Rozas et al. (2011) para suelos agrícolas de la zona. El contenido de MO varió desde 4.4 hasta 6.8%, la concentración de Nan entre 34 y 94 mg kg<sup>-1</sup> y la disponibilidad de  $N-NO_3^-$  entre 39 y 130 kg N ha<sup>-1</sup> (**Tabla 1**). Estas variaciones en los niveles de MO, Nan y  $N-NO_3^-$  deben atribuirse, principalmente, al efecto de las diferentes historias agrícolas y de manejo de los suelos. En un relevamiento de suelos, Sainz Rozas et al. (2011) determinaron valores medios de MO en el estrato superficial de 5.5 y 8.8% para condiciones agrícolas y prístinas, respectivamente. Los mayores niveles de  $N-NO_3^-$  determinados a la siembra del trigo para la mayoría de los sitios del 2009 se explicarían en

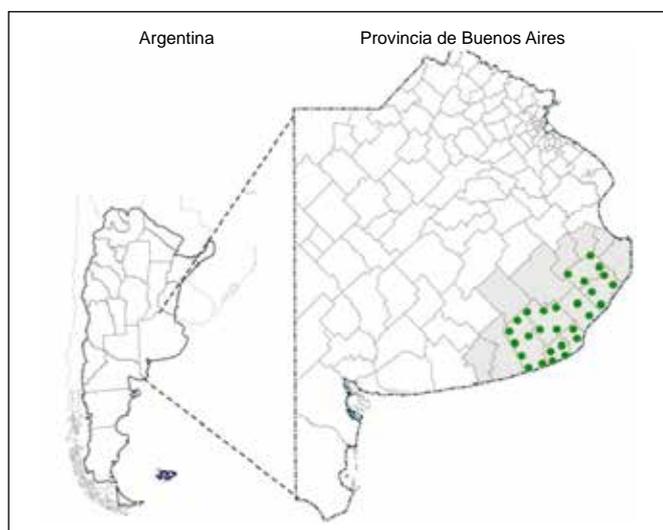


Figura 2. Ubicación de los diferentes sitios experimentales (puntos verdes).

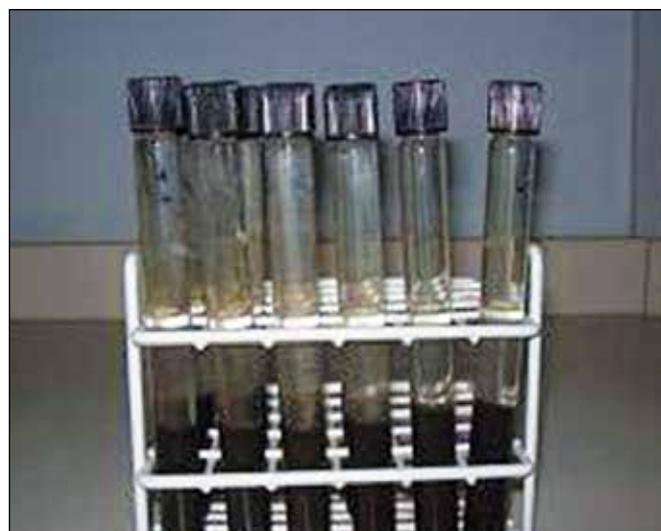


Foto 1. Tubos con muestras para determinar el Nan mediante incubación en anaerobiosis.

**Tabla 1. Cultivo antecesor, años de agricultura (AA), propiedades de suelo y precipitaciones (Pp) para el periodo julio-diciembre en los diferentes sitios experimentales, materia orgánica (MO), nitrógeno anaeróbico (Nan), N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> = disponibilidad de N en pre-siembra.**

Año/sitio	Cultivo antecesor	AA	MO %	pH	Nan mg kg <sup>-1</sup> 0 - 20 cm	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> kg ha <sup>-1</sup> 0 - 60 cm	Pp mm
2006-Balcarce 1	Maíz	15	5.0	5.8	58	39	314
2006-Balcarce 2	Girasol	20	4.5	5.7	45	40	327
2008-Balcarce	Girasol	15	5.9	6.2	48	75	330
2008-Otamendi 1	Soja	15	6.1	5.8	48	59	330
2008-Otamendi 2	Soja	20	6.0	6.1	48	54	310
2009-G. Madariaga 1	Soja	2	6.8	5.6	93	120	410
2009-G. Madariaga 2	Maíz	6	6.4	5.8	74	130	410
2009-Maipú	Soja	20	4.8	5.7	54	117	380
2009-Pieres 1	Soja	8	5.5	6.4	60	59	303
2009-Pieres 2	Soja	15	5.3	5.8	60	59	320
2009-Miramar 1	Girasol	10	5.9	5.9	51	91	317
2009-Miramar 2	Girasol	10	6.0	6.0	60	93	317
2009-Miramar 3	Soja	7	6.4	5.9	68	130	325
2009-Lobería	Girasol	4	5.9	6.2	68	59	344
2009-Balcarce 1	Soja	12	5.8	5.9	69	61	352
2009-Balcarce 2	Girasol	5	5.0	6.5	74	46	352
2010-Miramar 1	Soja	12	5.5	5.9	50	46	491
2010-Miramar 2	Soja	12	4.4	5.7	50	68	480
2010-Pieres	Soja	15	5.4	5.8	56	68	428
2010-Maipú 1	Soja	7	5.9	5.9	73	43	445
2010-Maipú 2	Girasol	9	4.9	5.7	61	58	445
2010-G. Madariaga	Maíz	5	6.6	5.8	73	84	360
2010-Lobería	Girasol	2	5.0	6.8	74	84	433
2010-Balcarce	Soja	15	5.0	6.1	54	62	412
2011-Miramar	Soja	10	6.5	5.6	58	81	450
2011-G. Madariaga	Soja	6	6.5	5.8	77	74	355
2011-Maipú	Girasol	6	5.6	5.9	73	78	350
2011-Lobería	Soja	2	5.0	6.3	94	47	450
Promedio		10	5.6	6.0	62	74	377
Desvío estándar		5.5	6.7	0.3	14	27.4	54.8

**Tabla 2. Modelos para estimar el rendimiento del testigo (RT), la extracción de N en grano y la respuesta a N, propiedades de suelo y precipitaciones (Pp) para el periodo julio-diciembre, nitrógeno anaeróbico (Nan) (mg kg<sup>-1</sup>, 0-20 cm) y N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> = disponibilidad de N en pre-siembra (kg ha<sup>-1</sup>, 0-60 cm).**

Modelo	R <sup>2</sup>
1) RT (kg ha <sup>-1</sup> ) = 3609 + 18.8 * N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.24
2) RT (kg ha <sup>-1</sup> ) = - 1555 + 80.7 * N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - 0.38 * (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) <sup>2</sup> + Nan * 47.4	0.66
3) N en grano (kg ha <sup>-1</sup> ) = 57.8 + 0.17 * N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.11
4) N en grano (kg ha <sup>-1</sup> ) = 19.1 + 0.13 * N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + 0.66 * Nan	0.58
5) Respuesta a N (kg ha <sup>-1</sup> ) = - 625.7 + 7.2 * Pp - 31.4 * Nan + 0.28 * RT	0.58

parte por las bajas precipitaciones registradas durante la estación de crecimiento de los cultivos estivales en la campaña 2008 (desde 260 hasta 380 mm), lo cual habría limitado el consumo de N.

Por otra parte, la concentración de Nan se ubicó dentro de los valores reportados por otros autores (Reussi Calvo et al., 2011). Urquieta (2008) determinó contenidos de Nan promedios en suelos prístinos de  $138 \text{ mg kg}^{-1}$ , con valores máximos y mínimos de 222 y  $71 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectivamente. Por lo tanto, los suelos empleados en este estudio poseen un amplio rango de valores de Nan y, por ende, representan situaciones con diferente potencial de mineralización de N.

El rendimiento promedio del cultivo de trigo sin fertilización fue de 3450, 4330, 5020, 5288 y  $6262 \text{ kg ha}^{-1}$ , y la respuesta promedio a N de 1296, 717, 1001, 1624 y  $1559 \text{ kg ha}^{-1}$  para el año 2006, 2008, 2009, 2010 y 2011, respectivamente (Figura 3A). En general, la disponibilidad hídrica promedio durante el ciclo del cultivo fue mayor en el año 2010 y 2011 respecto a los demás años (321, 323, 350, 440 y  $401 \text{ mm}$  para el año

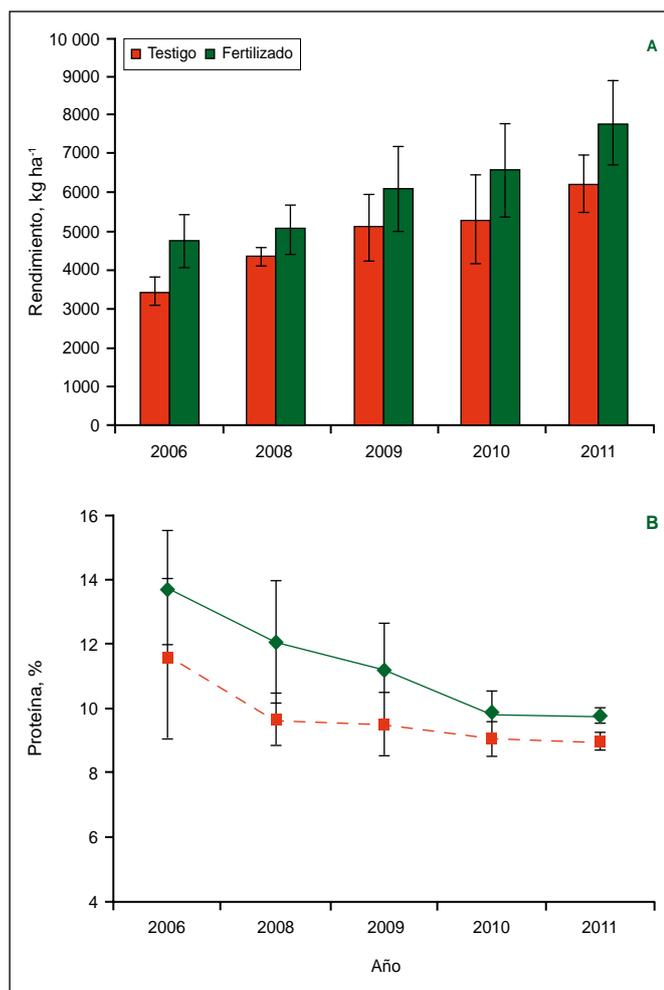


Figura 3. Rendimiento (A) y contenido de proteína promedio (B) para los tratamientos con y sin el agregado de nitrógeno. n = número de experimentos por año. La barra indica el desvío estándar del rendimiento o proteína dentro de cada año.

2006, 2008, 2009, 2010 y 2011, respectivamente), lo cual ayudaría a explicar en parte las variaciones en los rendimientos entre años. Además, es válido mencionar que la variabilidad en los rendimientos dentro de cada año muestra la diferente potencialidad de los sitios, la cual depende de la disponibilidad de agua, de N y del tipo de suelo (Figura 3A). De manera contraria al rendimiento, el contenido de proteína promedio de los testigos fue de 11.6; 9.7; 9.5; 9.1 y 9.0%, siendo la

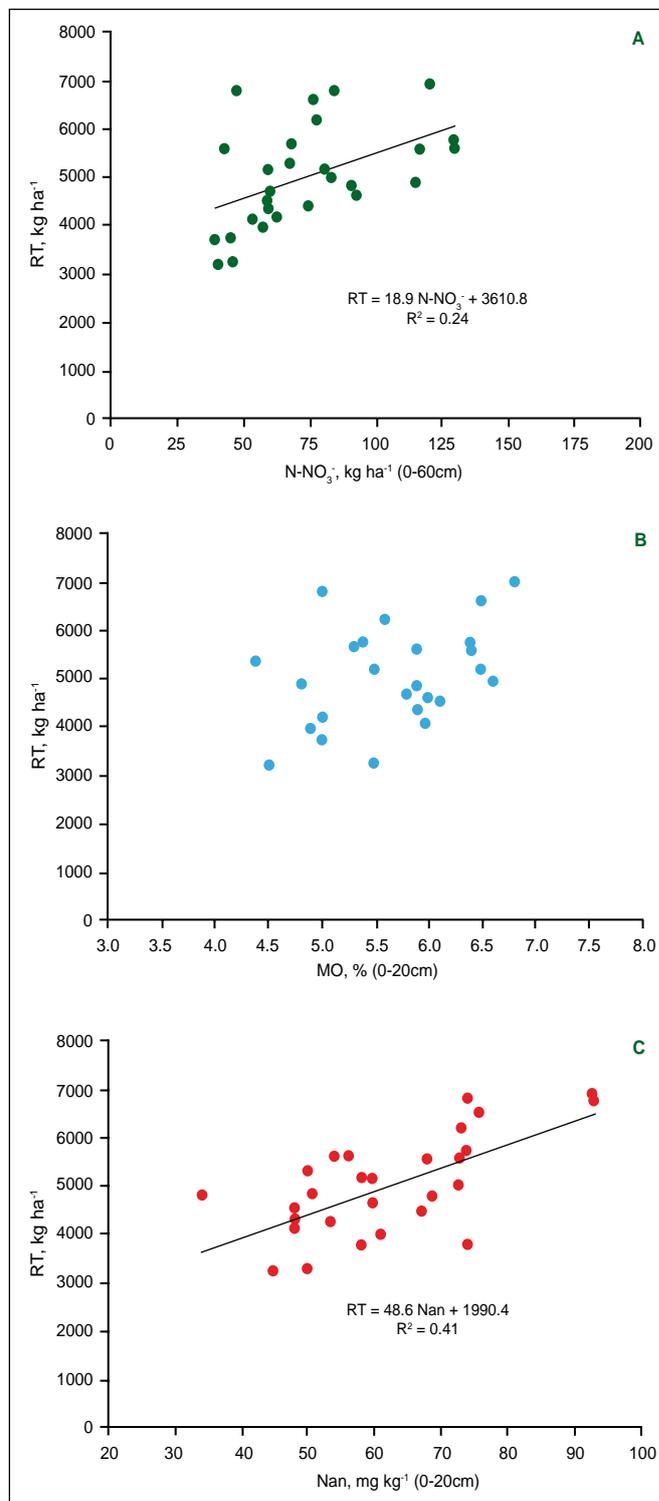


Figura 4. Relación entre el rendimiento del testigo (RT) y la disponibilidad de  $N-NO_3^-$  en pre-siembra (A), el contenido de MO (B), y la concentración de Nan en suelo (C).

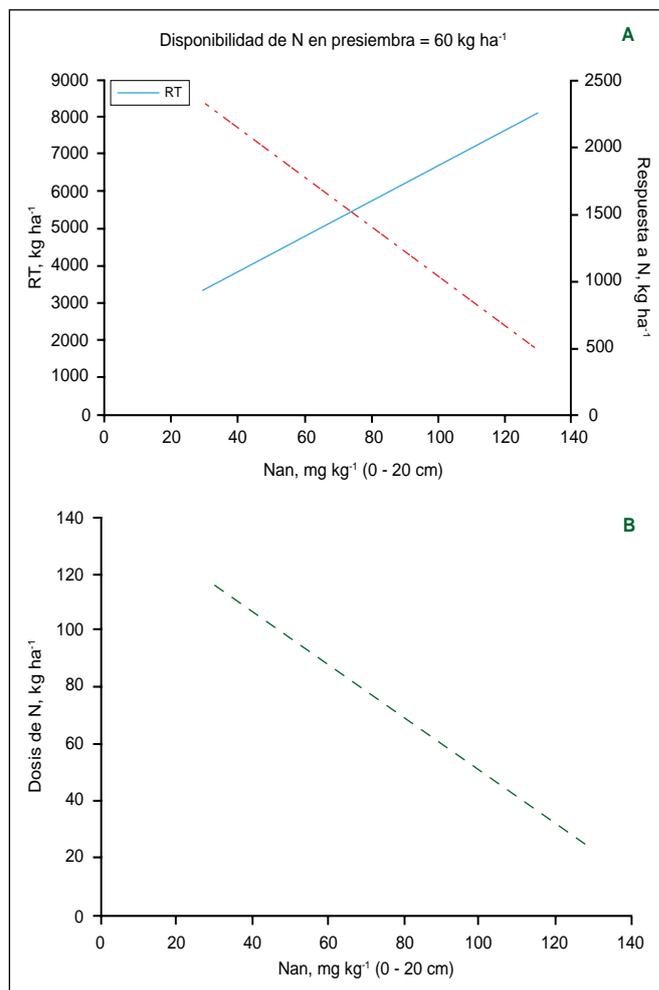
respuesta promedio a N de 2.5; 2.4; 1.7; 0.8 y 0.8% para el año 2006, 2008, 2009, 2010 y 2011, respectivamente (**Figura 3B**). Otros autores han observado relaciones inversas entre el rendimiento del cultivo de trigo y el contenido de proteína en grano (Fowler, 2003), situación que en general también se presenta en los sistemas productivos de la Región Pampeana.

Varios trabajos han reportado que el contenido de  $N-NO_3^-$  a la siembra es un aceptable indicador de la disponibilidad de N para el cultivo (Calviño et al., 2002; Barbieri et al., 2012). Sin embargo, en la actualidad, la adopción generalizada de la SD y el incremento del cultivo de soja como antecesor de trigo generan situaciones con baja y poco variable disponibilidad de N a la siembra. Esto justificaría que solo el 24% de la variabilidad en el rendimiento del testigo (RT) fuera explicado por el contenido de  $N-NO_3^-$  (**Figura 4A**) y pone de manifiesto las limitaciones del empleo de esta única variable para el diagnóstico de N en trigo (**Tabla 2, Modelo 1**). En dicha figura puede observarse algunos lotes con baja disponibilidad de  $N-NO_3^-$  y elevado rendimiento, lo que está sugiriendo un aporte importante del pool de N mineralizable. El contenido de MO del suelo no contribuyó a explicar ( $p > 0.05$ ) la estimación del rendimiento de trigo (**Figura 4B**). Otros autores también han reportado una débil asociación entre el contenido de MO y la respuesta a N en diferentes cultivos (Quiroga et al., 2006; Álvarez y Steinbach, 2006).

Por otra parte, la concentración de Nan tuvo un mayor impacto sobre el RT que el contenido de  $N-NO_3^-$ , ya que esta única variable explicó el 41% de la variabilidad del rendimiento (**Figura 4C**). Para maíz, Dominguez et al. (2006) determinaron estrechas asociaciones entre el rendimiento del cultivo y la concentración de Nan bajo SD y labranza convencional. Cuando en nuestra experiencia se consideraron ambas variables (disponibilidad  $N-NO_3^-$  y Nan), la estimación del RT mejoró considerablemente (**Tabla 2, Modelo 2**). Por lo tanto, estos resultados indican que el contenido de  $N-NO_3^-$  inicial junto con la estimación de Nan, deberían ser considerados en forma conjunta con el objetivo de cuantificar con mayor exactitud la disponibilidad de N para el cultivo. A modo de ejemplo, en la **Figura 5A** se observa para una disponibilidad de N en pre-siembra de  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  como se incrementa el rendimiento del trigo sin fertilizante a medida que aumenta el contenido de Nan y, por ende, el aporte de N por mineralización.

Al igual que para el RT, el contenido de  $N-NO_3^-$  en pre-siembra no fue un buen predictor de la exportación de N en grano (**Tabla 2, Modelo 3**). Sin embargo, cuando se incorporó el Nan como variable al modelo la estimación mejoró y pasó del 11 al 58% (**Tabla 2, Modelos 3 y 4**). Por lo tanto, la determinación del Nan ayudó a explicar en mayor medida la variación en el

contenido de N en grano que del rendimiento de trigo (51 y 41%, respectivamente; Reussi Calvo et al., 2013). Otros autores, observaron que la incorporación de la concentración de Nan al modelo de  $N-NO_3^-$  contribuyó a explicar las variaciones en el contenido de proteína del grano de trigo (Urquieta, 2008). La información



**Figura 5. Relación entre la concentración de Nan en pre-siembra y el rendimiento del testigo (RT) y la respuesta a N (A); y la dosis de N (B). Información generada con los modelos 3 y 5 (Tabla 2).**



**Foto 2. Respuesta a nitrógeno (N) en un ambiente con bajo Nan.**

## EJEMPLO DE EMPLEO DE LOS MODELOS

### Datos de suelo en pre-siembra:

Disponibilidad de N (0 - 60 cm) = 74 kg ha<sup>-1</sup>

Concentración de Nan (0 - 20 cm) = 62 mg kg<sup>-1</sup>

Suma de precipitaciones julio-diciembre = 430 mm.

### A) Modelo 2: Determinación del rendimiento del trigo sin fertilizante (RT)

$$RT \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} = - 1555 + 80.7 * N\text{-NO}_3^- - 0.38 * (N\text{-NO}_3^-)^2 + Nan * 47.4$$

$$RT \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} = - 1555 + 80.7 * 74 - 0.38 * (74)^2 + 62 * 47.4$$

$$RT \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} = 5274$$

### B) Modelo 4: Determinación del N exportado en grano

$$N \text{ en grano (kg ha}^{-1}\text{)} = 19.1 + 0.13 * N\text{-NO}_3^- + 0.66 * Nan$$

$$N \text{ en grano (kg ha}^{-1}\text{)} = 19.1 + 0.13 * 74 + 0.66 * 62$$

$$N \text{ en grano (kg ha}^{-1}\text{)} = 69.64$$

### C) Estimación del contenido de proteína en grano de testigos

$$\text{Proteína (\%)} = N \text{ en grano} * 100 * 5.7/RT \text{ (seco)}$$

$$\text{Proteína (\%)} = 69.64 * 100 * 5.7/(5274 * 0.86)$$

$$\text{Proteína (\%)} = 8.75$$

### D) Modelo 5: Estimación de la respuesta a N

$$\text{Respuesta a N (kg ha}^{-1}\text{)} = - 625.7 + 7.2 * Pp - 31.4 * Nan + 0.28 * RT$$

$$\text{Respuesta a N (kg ha}^{-1}\text{)} = - 625.7 + 7.2 * 430 - 31.4 * 62 + 0.28 * 5274$$

$$\text{Respuesta a N (kg ha}^{-1}\text{)} = 2000$$

$$\text{Dosis de N (kg ha}^{-1}\text{)} = 100 = (2.0 \text{ Mg grano ha}^{-1} * 50 \text{ kg N Mg}^{-1})$$

Figura 6. Ejemplos de modelos aplicados para trigo que incluyen al Nan como variable.

del **Modelo 4** podría ser empleada para estimar la extracción de N en grano y luego la concentración de proteína en los testigos (**Figura 6**).

Para finalizar, se obtuvo un modelo que permitió estimar la respuesta a N en función del contenido de Nan, el total de precipitaciones durante el ciclo del cultivo y el RT (**Tabla 2, Modelo 5**). Los sitios 2008-Balcarce, 2008-Otamendi 2 y 2009-Miramar 3 no fueron considerados por presentar deficiencias hídricas; y 2009-Maipú y 2010-Maipú 2 por problemas de enfermedades. El valor negativo de Nan en el Modelo 5 indica una menor respuesta a N en situaciones con mayor disponibilidad de dicho indicador (**Figura 5A y Foto 2**). Por el contrario, el correspondiente a las precipitaciones y el RT fue positivo y, por ende, una mayor respuesta a N se obtendría en años con mayores precipitaciones y cuando el RT fue elevado. No obstante, es válido mencionar que las principales variables que afectaron la respuesta a N fueron el contenido de Nan y las precipitaciones. Por lo tanto, empleando la información del **Modelo 5 (Figura 6)**, un requerimiento de 30 kg N Mg<sup>-1</sup> y una eficiencia de recuperación de N

en planta entre 50-60 % (Velasco et al., 2012) es posible estimar con un 58% de confianza la dosis de N para el cultivo de trigo (**Figura 5B, Figura 6**).

## Conclusiones

La incorporación del Nan a los modelos tradicionales de diagnóstico de N en trigo permitió mejorar la estimación del rendimiento del testigo y la exportación de N en grano, respecto de utilizar solo N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> como indicador de la fertilidad nitrogenada. Con dicha información se pudo desarrollar un modelo para predecir la respuesta a N y, por ende, la dosis de N en función de la suma de las precipitaciones durante el ciclo del trigo, el rendimiento del testigo y el Nan. Este modelo debería ser validado para otras regiones productoras de trigo.

## Agradecimientos

Este trabajo fue realizado en forma conjunta entre el Laboratorio de suelos FERTILAB y el grupo de suelo del INTA Balcarce, y se agradece la colaboración de Agropecuaria Don Vicente, Mosaic Argentina, Yara Fertilizantes y Profertil S.A.

## Bibliografía

- Álvarez, R., y H.S. Steinbach. 2006. Valor agronómico de la materia orgánica. En: *Materia Orgánica "Valor Agronómico y Dinámica en Suelos Pampeanos"* (ed. R. Álvarez). Editorial. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. pp. 13-29.
- Álvarez, R., y H.S. Steinbach. 2011. Modeling Apparent Nitrogen Mineralization under Field Conditions Using Regressions and Artificial Neural Networks. *Agron. J.* 103:1159-1168.
- Barbieri, P.A., H.E. Echeverría, y H.R. Sainz Rozas. 2009. Dosis óptima económica de nitrógeno en trigo según momento de fertilización en el sudeste bonaerense. *Cien. Suelo* 27:115-125.
- Barbieri, P.A., H.E. Echeverría, y H.R. Sainz Rozas. 2012. Alternatives for Nitrogen Diagnosis for Wheat with Different Yield Potentials in the Humid Pampas of Argentina. *Commun. Soil Sci. Plan.* 43:1512-1522.
- Calviño, P., H.E. Echeverría, y M. Redolatti. 2002. Diagnóstico de nitrógeno en trigo con antecesor soja bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. *Cien. Suelo* 20:36-42.
- Domínguez, G.F., G.A. Studdert, M.V. Cozzoli, y N.V. Diovisalvi. 2006. Relación entre el nitrógeno potencialmente mineralizable y el rendimiento de maíz. *Actas XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta-Jujuy, 19 al 22 de septiembre de 2006.* En CD.
- Echeverría, H.E., y J.L. Ferrari. 1993. Relevamiento de algunas características de los suelos agrícolas del sudeste de la provincia de Buenos Aires. *Boletín Técnico N° 112.* EEA INTA Balcarce, Balcarce, Buenos Aires. 18 p.
- Echeverría, H.E., N. San Martín, y R. Bergonzi. 2000. Métodos rápidos de estimación del nitrógeno potencialmente mineralizable en suelos. *Cien. Suelo* 18:9-16.
- Fabrizzi, K.P., A. Morón, y F.O. García. 2003. Soil carbon and nitrogen organic fractions in degraded vs. non-degraded Mollisols in Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67:1831-1841.
- Fowler, D.B. 2003. Crop Nitrogen Demand and Grain Protein Concentration of 10 Spring and Winter Wheat. *Agron. J.* 95:260-265.
- Genovese, F., H.E. Echeverría, G.A. Studdert, y H. Sainz Rozas. 2009. Nitrógeno de amino-azúcares en suelos: calibración y relación con el nitrógeno incubado anaeróbico. *Cien. Suelo* 27:225-236.
- Gonzalez Montaner, J.H., G.A. Maddonni, y M.R. DiNapoli. 1997. Modelling grain yield and grain yield response to nitrogen in spring wheat crops in the Argentinean Southern Pampa. *Field Crops Res.* 51:241-252.
- Quiroga, A., D. Funaro, E. Noellemeyer, y N. Peinemann. 2006. Barley yield response to soil organic matter and texture in the Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 90:63-68.
- Reussi Calvo, N., M. Calandroni, N. Peralta, F. Cabria y A. Berardo. 2011. Niveles de nitrógeno incubado en anaerobiosis y materia orgánica en suelos agrícolas de la provincia de Buenos Aires. Primer Seminario-Taller Nacional de cartografía digital: dando los primeros pasos. 9, 10 y 11 de Noviembre. Villa Merlo, San Luis, Argentina.
- Reussi Calvo, N.I., H. Sainz Roza, H.E. Echeverría y A. Berardo. 2013. Contribution of anaerobiosis incubated nitrogen to the diagnosis of nitrogen status in spring wheat. *Agron. J.* 2: doi:10.2134/agronj2012.0287.
- Sainz Rozas, H., H.E. Echeverría, y H. Angelini. 2011. Niveles de carbono orgánico y ph en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana argentina. *Ci. Suelo* 29:29-37.
- Sainz Rozas, H., P. Calviño, H. Echeverría, M. Redolatti y P. Barbieri. 2008. Contribution of anaerobically mineralized nitrogen to reliability of planting or presidedress soil nitrogen test in maize. *Agronomy journal* 100:1020-1025.
- SAS INSTITUTE INC. 1988. SAS/STAT Users Guide. Version 6.03 Edition. Cary, NC.
- Soon, Y.K., A. Haq, y M.A. Arshad. 2007. Sensitivity of nitrogen mineralization indicators to crop and soil management. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 38:2029-2043.
- Steinbach, H.S., R. Álvarez, y C. Valente. 2004. Balance between mineralization and immobilization of nitrogen as affected by soil mineral nitrogen level. *Agrochimica* 48:204-212.
- Studdert, G.A., y H.E. Echeverría. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1496-1503.
- Studdert, G.A. y H.E. Echeverría. 2006. Relación entre el cultivo antecesor y la disponibilidad de nitrógeno para el trigo en la rotación. *Cien. Suelo* 24:89-96.
- Urquieta, J.F. 2008. Nitrógeno potencialmente mineralizable anaeróbico en suelos del sudeste bonaerense y su relación con la respuesta a nitrógeno en trigo. Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Argentina.
- Velasco, J.L., H. Sainz Rozas, H. Echeverría, y P. Barbieri. 2012. Optimizing fertilizer nitrogen use efficiency by intensively managed spring wheat in humid regions: Effect of split application. *Can. J. Plant Science.* 92:1-10.★

# Respuesta a la inoculación y a la nutrición con fósforo y azufre del cultivo de arveja en el sur de Santa Fe\*

S. Toresani<sup>1</sup>, G. Prieto<sup>2</sup>, F. Salvagiotti<sup>3</sup>, E. Vita<sup>2</sup>, J.M. Tirelli<sup>1</sup> y F. Zari<sup>1</sup>

## Introducción

La Argentina exportó durante el 2010, un volumen de 78 000 toneladas (t) de legumbres, ocupando en la provincia de Santa Fe más de 70 000 hectáreas sembradas, de las cuales el 36% corresponden al cultivo de arveja (Prieto, 2011). La arveja (*Pisum sativum* L.) es una especie anual, perteneciente a la familia de las fabáceas (*Fabaceae*), que en Argentina se cultiva en forma extensiva para abastecer a la industria y en forma intensiva para su consumo fresco. Del volumen total de arveja producido localmente, el 90% se destina a grano seco para consumo interno y exportación. Desde el punto de vista tecnológico, se conocen más de 50 variedades, se realiza bajo siembra directa y la protección del cultivo incluye terápicas de semilla de última generación, uso de inoculantes, fertilización balanceada, herbicidas residuales de amplio espectro y fungicidas para el control de enfermedades foliares. Las plantas de arvejas producen granos con alto valor proteico para lo cual es necesario un correcto aporte de nitrógeno (N), para esto, la inoculación con cepas específicas de *Rhizobium leguminosarum* se constituye en una práctica de gran importancia con el fin de proveer N al cultivo por simbiosis.

El objetivo del presente trabajo fue generar información sobre la respuesta del cultivo de arveja a la inoculación y a la fertilización con fósforo (P) y azufre (S), en ensayos a campo en el sur de la provincia de Santa Fe.

## Materiales y métodos

Durante la campaña 2010 se llevaron a cabo 3 ensayos de arveja para evaluar la eficacia de diferentes formulaciones de inoculantes y la fertilización con P y S. Los sitios fueron: Estación Experimental INTA Oliveros, y campos de productores en las localidades de Villa Amelia y Sargento Cabral. En la **Tabla 1** se describen las características de cada sitio experimental. Los ensayos se realizaron con un diseño en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones, en parcelas de 100 m<sup>2</sup> aproximadamente (ancho de sembradora por 20 m de largo).

Los tratamientos evaluados en las tres localidades fueron:

- 1) Testigo sin inocular y sin fertilizar (Testigo).
- 2) Inoculado (I) con productos de diferentes marcas comerciales según sitio experimental.
- 3) Inoculado y Fertilizado con 18 kg de S (I+S).
- 4) Inoculado y Fertilizado con 20 kg de P (I+P).
- 5) Inoculado y Fertilizado con 20 y 18 kg P y S, respectivamente (I+PS).

Adicionalmente, el ensayo de Sargento Cabral contó con un tratamiento extra:

- 6) Fertilizado con S + P, sin inocular (PS).

El recuento de rizobios viables en los inoculantes se realizó a través de la siembra de diluciones seriadas del inoculante en medio de cultivo LMA (levadura – manitol – agar) y por extensión en superficie (Protocolo Red de Calidad de Inoculantes. Doc. de Procedimientos No. 1, 2006) y la población naturalizada por la técnica del Número Más Probable (NMP) en plántulas de arveja. En los ensayos a campo, para la evaluación de la nodulación, se extrajeron 45 plantas en floración por tratamiento y se evaluó: 1) El número de nódulos en raíz principal (RP); 2) Raíces secundarias (RS); 3) Número total y peso seco total de nódulos por planta y 4) Materia seca aérea total por planta. En madurez fisiológica, para evaluar

**Tabla 1. Descripción de los tres sitios experimentales. Arveja. Campaña 2010.**

Sitio experimental	Oliveros	Villa Amelia	Sargento Cabral
Tipo de suelo	Argiudol típico Serie Maciel	Argiudol vértico Serie Roldán	Argiudol vértico Serie Peyrano
Análisis de suelo (0-20 cm)			
MO, %	2.94	3.32	2.86
pH	6.1	5.9	5.9
P Bray, ppm	14	10	11.5
S-SO <sub>4</sub> , ppm	2.6	3.3	2
N-NO <sub>3</sub> , ppm	9.5	19	14.2
Cultivos antecesores	Soja-Maíz	Lenteja-Maíz-Soja	Soja-Soja
Cultivar	Facón	Viper	Facón
Fecha de siembra	15-7-2010	8-7-2010	13-7-2010
Fecha de cosecha	18-11-2010	18-11-2010	15-11-2010

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Agrarias UNR- Zavalla – Santa Fe. Correo electrónico: storesan@unr.edu.ar

<sup>2</sup> AER INTA Arroyo Seco.

<sup>3</sup> EEA INTA Oliveros.

\* Trabajo presentado en el XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 16-20 de Abril de 2012, Mar del Plata, Buenos Aires Argentina.

**Tabla 2. Concentración de rizobios viables en unidades formadora de colonias (ufc) por unidad de producto y población naturalizada en suelos.**

Sitio experimental	No. de rizobios viables	
	ml <sup>-1</sup> inoculante (ufc)	g <sup>-1</sup> suelo
Oliveros	1.9 x 10 <sup>8</sup> ufc ml <sup>-1</sup>	9.2 x 10 <sup>2</sup> ufc g <sup>-1</sup> de suelo
Villa Amelia	s/d*	3.5 x 10 <sup>3</sup> ufc g <sup>-1</sup> de suelo
Sargento Cabral	1.3 x 10 <sup>9</sup> ufc ml <sup>-1</sup>	3.5 x 10 <sup>4</sup> ufc g <sup>-1</sup> de suelo

\* Sin datos, no se dispuso del producto al momento de la evaluación en laboratorio.

**Tabla 3. Evaluación de la nodulación a campo y peso seco de la parte aérea en arveja bajo diferentes combinaciones de fertilización-inoculación. INTA Oliveros, Santa Fe. Campaña 2010. Letras diferentes indican diferencias significativas (p<0.05).**

Tratamientos	Patrones de nodulación (No. nódulos planta <sup>-1</sup> )			Peso seco nódulos (g)	Peso seco parte aérea (g)
	RP	RS	Totales		
1) Testigo	1.1 a	11.2 a	12.2 a	0.0755 a	2.22 a
2) I	3.8 b	14.0 ab	17.8 ab	0.1013 ab	2.93 a
3) I + S	2.7 b	13.3 ab	16.0 ab	0.0952 ab	2.87 a
4) I + P	2.9 b	18.3 b	21.2 b	0.1258 b	4.10 b
5) I + PS	2.7 b	17.5 b	20.2 b	0.0925 ab	5.11 b

**Tabla 4. Componentes de rendimiento evaluados en arveja en función de las diferentes combinaciones de fertilización-inoculación. INTA Oliveros, Santa Fe. Campaña 2010. Letras diferentes indican diferencias significativas (p<0.05).**

Tratamientos	Plantas m <sup>-1</sup>	Biomasa (kg MS ha <sup>-1</sup> )	Vainas m <sup>-2</sup>	Semillas m <sup>-2</sup>
1) Testigo	20.2 a	3399 a	314 a	1503 a
2) I	18.8 a	4561 a	353 ab	1847 ab
3) I + S	18.3 a	5947 a	392 bc	1995 bc
4) I + P	19.0 a	5517 a	508 d	2510 d
5) I + PS	17.3 a	5873 a	430 c	2321 cd
Media	18.7	5060	400	2035
Valor-p	0.46	0.22	0.032	0.0016
CV%	9.5	27.6	10.15	9.56

**Tabla 5. Evaluación de la nodulación a campo y peso seco de la parte aérea en arveja en función de las diferentes combinaciones de fertilización-inoculación. Villa Amelia (Santa Fe). Campaña 2010. Letras diferentes indican diferencias significativas a p<0.05.**

Tratamientos	Patrones de nodulación (No. nódulos planta <sup>-1</sup> )			Peso seco nódulos (g)	Peso seco parte aérea (g)
	RP	RS	Totales		
1) Testigo	5.6 ab	22.5 a	28.3 a	0.0074 a	2.25 a
2) I	4.6 a	17.4 a	22.0 a	0.0070 a	1.78 a
3) I + S	5.0 ab	15.6 a	20.7 a	0.0092 ab	2.38 a
4) I + P	6.3 ab	38.5 b	44.8 b	0.0092 ab	2.38 a
5) I + PS	6.6 b	33.5 b	40.1 b	0.0141 b	2.23 a

componentes del rendimiento, se muestrearon de cada parcela dos hileras por un metro de longitud, se realizó el recuento de plantas, se determinó el número de vainas por planta, granos por vaina, número de granos por unidad de superficie y biomasa vegetal. En madurez comercial se cosechó una superficie de 25 m<sup>2</sup> con máquina experimental.

## Resultados y discusión

La evaluación de la concentración estándar de rizobios viables en los inoculantes mediante la técnica de recuento en placa constituye un índice adecuado para conocer la potencialidad de un producto comercial (Lupwayi et al., 2000).

La **Tabla 2** muestra los resultados obtenidos en los inoculantes utilizados en los ensayos; los evaluados cumplieron con los estándares fijados por SENASA según Resolución No. 0264/2011, la que indica que los productos formulados en base a *Rhizobium* y *Bradyrhizobium* deberán tener una concentración mínima de 1 x 10<sup>8</sup> unidades formadora de colonias (ufc) ml<sup>-1</sup> o g<sup>-1</sup> al vencimiento.

### Oliveros

Se observó respuesta a la inoculación en RP y RS y en número de nódulos totales y peso seco de parte aérea. En la **Tabla 3** se observa respuesta a la fertilización con P en los diferentes parámetros analizados.

En el análisis de componentes de rendimiento se puede observar un incremento en el número de vainas fijadas en todos los tratamientos respecto al testigo, lo que repercute en los resultados de rendimiento, aunque sin diferencias estadísticamente significativas (**Tabla 4** y **Figura 1**). La diferencia en rendimiento entre el testigo sin fertilizante y el inoculado fue de 38 kg ha<sup>-1</sup>, mientras que con fertilización fosforada, la diferencia fue de 332 kg ha<sup>-1</sup>.

## Villa Amelia

No se observaron diferencias significativas para ninguno de los parámetros evaluados entre el testigo absoluto y el inoculado. Sin embargo, se observó respuesta a la fertilización con P en el patrón de nodulación (Tabla 5).

En componentes de rendimiento, las diferencias entre tratamientos para las variables analizadas indican mayores respuestas debidas al aporte de P, más que a la inoculación. Estas diferencias se dan básicamente por un incremento en el número de vainas por unidad de superficie (Tabla 6). En la Figura 2 se observa la

respuesta en rendimiento a la fertilización fosforada, con niveles promedio de 443 kg ha<sup>-1</sup>.

## Sargento Cabral

Se observan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos 5 y 6, siendo el No. total de nódulos 41% mayor en el tratamiento I + PS (5) con respecto al mismo tratamiento sin inocular. No se observa respuesta a la fertilización con S (Tabla 7).

Las diferencias entre tratamientos para las variables de rendimiento analizadas arrojan mayores respuestas debidas al aporte de P (Tabla 8). En la Figura 3 se muestran los datos de rendimiento con diferencias estadísticamente significativas a favor de los inoculados. El contraste entre Testigo e Inoculado muestra una diferencia en rendimiento de 324 kg ha<sup>-1</sup> (p<0.0195), mientras que el contraste de ambos tratamientos con PS, arroja una diferencia no significativa de 255 kg ha<sup>-1</sup>.

En Oliveros el número promedio de nódulos por planta fue menor que en las otras dos localidades, pero de gran tamaño ya que registraron el mayor peso promedio por planta. Esto estaría indicando una buena respuesta a la inoculación favorecida por la presencia de una baja población naturalizada de rizobios.

Una buena inoculación es clave en el cultivo de arveja, ya que tiene una capacidad de fijación de N muy alta, llegando incluso a los 185 kg N ha<sup>-1</sup> (Prieto, 2011). Además del N, otros nutrientes clave son P, S, potasio (K) y magnesio (Mg). Si se cultiva arveja en suelos con niveles inferiores a las 15 ppm de P Bray<sup>-1</sup>, es recomendable aplicar este nutriente. El S es necesario en el funcionamiento del nódulo y debido a su residualidad,

**Tabla 6. Componentes de rendimiento evaluados en arveja en función de las diferentes combinaciones de fertilización-inoculación. Villa Amelia (Santa Fe). Campaña 2010. Letras diferentes indican diferencias significativas (p<0.05).**

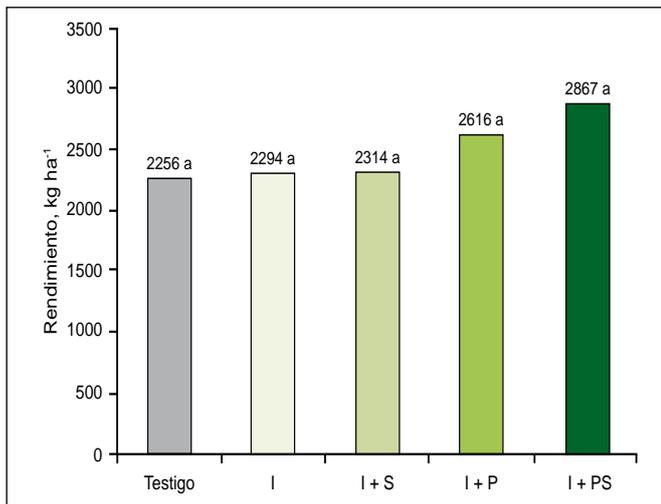
Tratamientos	Plantas m <sup>-1</sup>	Biomasa (kg MS ha <sup>-1</sup> )	Vainas m <sup>-2</sup>	Semillas m <sup>-2</sup>
1) Testigo	22.8 a	5085 bc	410 ab	1968 bc
2) I	21.7 a	4510 ab	364 a	1732 ab
3) I + S	22.2 a	3659 a	314 a	1471 a
4) I + P	20.8 a	5852 c	499 b	2109 bc
5) I + PS	22.2 a	5817 c	506 b	2130 c
Media	21.9	4985	419	1882
Valor-p	0.61	0.013	0.0128	0.0196
CV%	6.97	12.78	13.62	10.91

**Tabla 7. Evaluación de la nodulación a campo y peso seco de la parte aérea en arveja bajo diferentes combinaciones de fertilización-inoculación. Sargento Cabral, Santa Fe. Campaña 2010. Letras diferentes indican diferencias significativas (p<0.05).**

Tratamientos	Patrones de nodulación (No. nódulos planta <sup>-1</sup> )			Peso seco nódulos (g)	Peso seco parte aérea (g)
	RP	RS	Totales		
1) Testigo	1.11 ab	17.1 a	18.22 ab	0.0156 ab	1.67 a
2) I	1.85 b	17.2 a	19.02 ab	0.0181 b	1.80 a
3) I + S	1.00 a	16.3 a	17.18 a	0.0100 a	1.78 ab
4) I + P	1.18 ab	23.5 ab	24.69 b	0.0215 bc	2.52 c
5) I + PS	1.10 ab	33.3 b	34.33 c	0.0207 bc	2.68 c
6) PS	1.50 ab	23.0 ab	24.30 b	0.0242 c	2.35 bc

**Tabla 8. Componentes de rendimiento evaluados en función de los tratamientos. Sargento Cabral, Santa Fe. Campaña 2010. Letras diferentes indican diferencias significativas (p<0.05).**

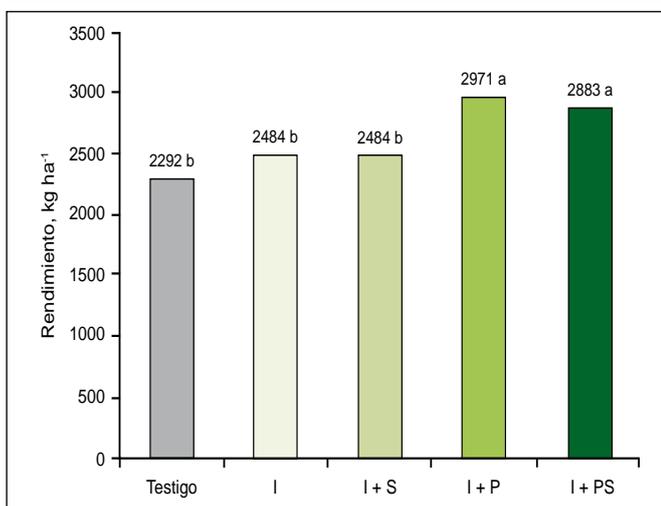
Tratamientos	Plantas m <sup>-1</sup>	Biomasa (kg MS ha <sup>-1</sup> )	Vainas m <sup>-2</sup>	Semillas m <sup>-2</sup>
1) Testigo	25.8 a	4530 ab	406 a	1935 a
2) I	26.0 a	4864 ab	398 a	1863 a
3) I + S	27.7 a	4470 a	437 ab	1866 a
4) I + P	24.2 a	5734 ab	525 bc	2448 b
5) I + PS	26.8 a	5848 b	521 bc	2394 b
6 + PS	27.3 a	7712 c	610 c	2914 c
Media	26.3	5526	483	2237
Valor-p	0.29	0.0025	0.004	0.0023
CV%	6.95	13.3	11.8	11.25



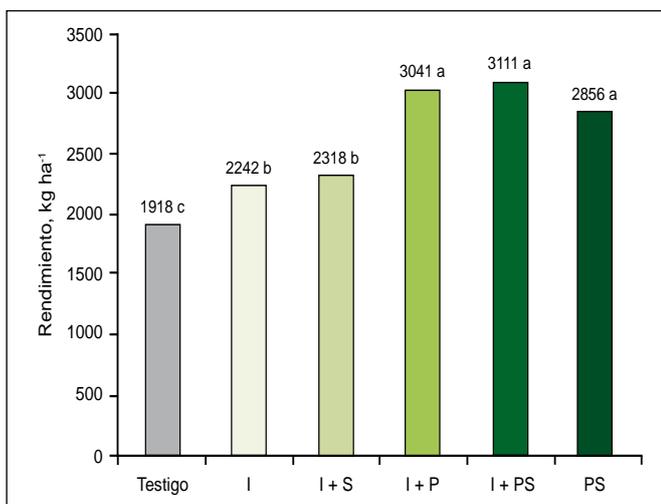
**Figura 1. Rendimiento de arveja para los diferentes tratamientos evaluados. INTA Oliveros, Santa Fe. Campaña 2010. Las letras iguales indican ausencia de diferencias estadísticas significativas ( $p = 0.20$ ). CV = 13.62%**



**Ensayo Sargento Cabral en floración para evaluación de patrones de nodulación. Fuente: Gabriel Prieto.**



**Figura 2. Rendimiento de arveja para los diferentes tratamientos evaluados. Villa Amelia (Santa Fe). Campaña 2010. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.0068$ ). CV = 6.97 %.**



**Figura 3. Rendimiento de arveja para los diferentes tratamientos evaluados. Sargento Cabral, Santa Fe. Campaña 2010. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ( $p < 0.0001$ ). CV = 5.54 %.**

parte de la fertilización estará disponible el próximo cultivo en la rotación. Erman et al. (2009), encontraron respuesta en peso seco de raíz y tallo y rendimiento en biomasa y semilla con inoculación + 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>. En nuestros ensayos, en los 3 sitios tanto en nodulación como en componentes de rendimiento se observa respuesta a la fertilización con P, pero no en el caso de S.

### Conclusión

Cuando el suelo presenta una baja población naturalizada de rizobios, el inoculante puede expresar su potencialidad. Si bien en general, no se han obtenido diferencias estadísticamente significativas en rendimiento en grano, la tendencia ha sido de mayor kg grano ha<sup>-1</sup> a favor de los inoculados, lo que podría justificar la implementación de la práctica de la inoculación en este cultivo. La fertilización con P resultó una práctica de gran impacto en todos los parámetros evaluados.

### Bibliografía

- Albanesi, A., S. Benintende, C. Bonfiglio, F. Cassan, F. González Fiqueni, L. Lett, C. Penna, A. Peticari, A. Rossi, y S. Toresani. 2006. Documento de procedimientos N° 1. Control de calidad de inoculantes para leguminosas. Red de Calidad de inoculantes (REDCAI). ISBN 987-98475-6-3. pp 1-14.
- Erman, M., B. Yildirim, N. Togay, y F. Cig. 2009. Effect of Phosphorus Applications and *Rhizobium* Inoculation on Yield, Nodulation and Nutrient Uptake in Field Pea (*Pisum sativum sp arvense* L.). Journal of Animal and Veterinary Advances 8(2):301-304.
- Lupwayi, N.Z., P.E. Olsen, E.S. Sande, H.H. Keyser, M.M. Collins, P.W. Singleton, y W.A. Rice. 2000. Inoculant quality and its evaluation. Field Crops Research, 65:259-270.
- Prieto, G. 2011. Campo Litoral. Edición 23/7/2011. Las legumbres ganan terreno entre los cultivos de invierno. Crece la superficie sembrada en Santa Fe. 🌱

# Incorporación de cultivos de cobertura previos a soja en el sudeste bonaerense

J.P. Martínez<sup>1</sup>, P.A. Barbieri<sup>1,2</sup>, H.R. Sainz Rozas<sup>1,2</sup> y H.E. Echeverría<sup>1</sup>

## Introducción

En los últimos años la superficie sembrada con soja en Argentina ha registrado un fuerte incremento, abarcando en la actualidad más del 50% de la superficie total cultivada (MinAgri, 2012). Una consecuencia negativa del aumento de la frecuencia del cultivo de soja en la rotación es su bajo aporte de residuos y la baja relación carbono:nitrógeno (C:N) de los mismos, lo que puede llevar a una disminución del contenido de materia orgánica (MO) del suelo (Studdert y Echeverría, 2000). Este es un componente clave del mismo debido a que afecta directa o indirectamente muchos parámetros que definen su calidad. Si bien la soja tiene la capacidad de fijar el N atmosférico mediante el proceso de fijación biológica del N (FBN), ésta generalmente no cubre los requerimientos de N del cultivo, provocando en algunas situaciones balances negativos de este nutriente en el suelo (Álvarez et al., 1995). A pesar de esto, el cultivo de soja generalmente no manifiesta respuesta a la fertilización con N (Gutiérrez-Boem et al., 2004), mientras que, cuando se realiza dicha práctica, disminuye el aporte de N por FBN (Salvagiotti et al., 2008). Consecuentemente, la fertilización con N al cultivo de soja no sería la vía adecuada de reposición de dicho nutriente para mejorar el balance en el suelo. Por lo tanto, existe la necesidad de identificar prácticas de manejo tendientes a mejorar el balance de C y N en secuencias con predominio del cultivo de soja sin disminuir su producción, para mantener la calidad del suelo y la sustentabilidad del sistema de producción.

La inclusión de cultivos de cobertura (CC) durante la estación invernal, como la avena, trigo, centeno, etc., sería una estrategia para generar biomasa adicional aumentando la cantidad de C ingresado al suelo. Otra importante característica de los CC en base a gramíneas, es que estos pueden captar N del suelo, evitando posibles pérdidas por lavado durante el periodo de barbecho (Restovich et al., 2012; Kaspar et al., 2012). Además, los mismos responden a la oferta de N aumentando la producción de biomasa y la acumulación de dicho nutriente (Ruffo et al., 2004). Esto permitiría que una mayor cantidad de N sea retornada al suelo mediante sus residuos. Por lo tanto, el empleo de CC también podría ser una alternativa para mejorar el balance de N en secuencias basadas en soja incrementando la entrada de N al suelo sin afectar la FBN (Cordone y Martínez, 2004). Mas allá de las características positivas

de los CC sobre la conservación del recurso suelo, en la bibliografía se encuentra información controversial en cuanto al efecto de su incorporación sobre el rendimiento del cultivo posterior, lo cual es de gran importancia ya que condiciona la factibilidad de esta alternativa de manejo. En la zona del sudeste bonaerense existe escasa información sobre las eventuales ventajas de la incorporación de los CC en los planteos productivos actuales, la cual sería de suma utilidad para evaluar la factibilidad de dicha alternativa. El objetivo de este trabajo fue determinar la acumulación de biomasa aérea, C y N en CC con y sin fertilización con N y evaluar el efecto de su incorporación sobre el rendimiento del cultivo de soja, en un suelo Argiudol Típico de Balcarce (Buenos Aires, Argentina).

## Materiales y métodos

Se trabajó sobre un ensayo de larga duración, bajo siembra directa (SD) iniciado en 2006 en INTA-FCA Balcarce, sobre un Argiudol Típico serie Mar del Plata, con menos de 2% de pendiente. Previo al establecimiento del ensayo se había realizado agricultura continua bajo labranza convencional (arado de rejas, rastra de discos) durante más de 25 años. Al inicio del ensayo, el pH fue 5.4; el fósforo extractable (P Bray<sup>-1</sup>) 14 mg kg<sup>-1</sup> y la MO 4.6%. Teniendo en cuenta el contenido de MO de la situación prístina de los suelos de la región, el valor registrado refleja una reducción del 46% respecto al nivel original, indicando una condición de elevada degradación.

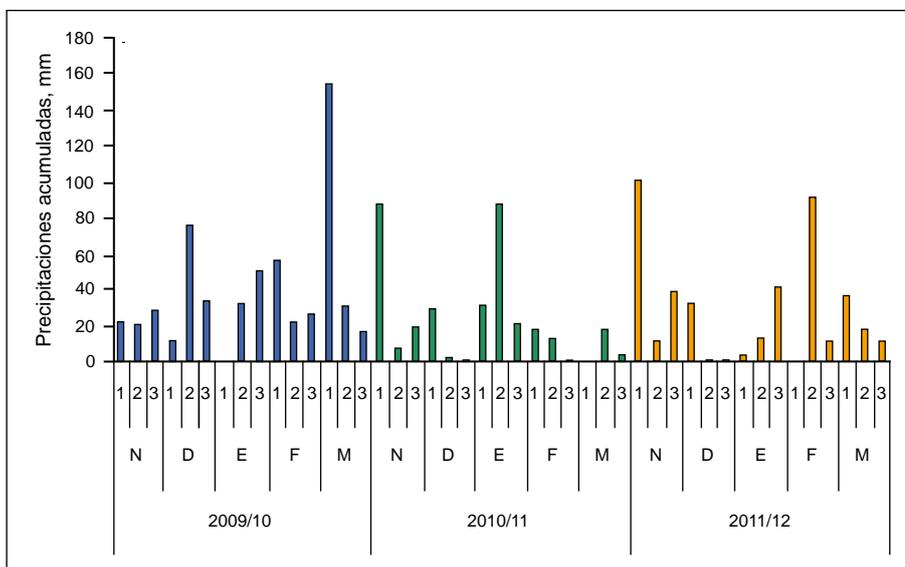
El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con 3 repeticiones y se evaluaron los siguientes tratamientos: soja continua (Sj); cultivo de cobertura/soja (CC/Sj) y cultivo de cobertura fertilizado con N/soja (CCF/Sj). Las unidades experimentales fueron parcelas de 15 m de largo y 5 m de ancho. Se utilizó avena (*Avena sativa* L.) como CC con una densidad de 120 kg ha<sup>-1</sup> y un espaciamiento entre surcos de 0.175 m. En el caso de los tratamientos fertilizados con N, la fertilización se realizó al voleo con 90 kg ha<sup>-1</sup> de N en la etapa de macollaje Z23 (Zadoks et al., 1974) utilizando como fuente urea (46-0-0). Los cultivos de cobertura fueron secados en el estado de hoja bandera visible (Z37) con una aplicación de 3-4 ha<sup>-1</sup> de glifosato (48% principio activo). El tratamiento Sj se mantuvo libre de malezas durante el periodo de barbecho mediante una aplicación de glifosato al comienzo de la primavera. La

<sup>1</sup> Unidad Integrada Balcarce FCA UNMDP-E.E.A. INTA, Ruta 226 km 73.5, Balcarce CC. 276, (7620), Balcarce, Argentina. Correo electrónico: [juanpablomartinez999@hotmail.com](mailto:juanpablomartinez999@hotmail.com)

<sup>2</sup> CONICET

**Tabla 1. Datos de manejo de los cultivos y precipitaciones acumuladas durante el periodo de crecimiento de la soja y los CC en 2009/10, 2010/11 y 2011/12 en Balcarce, Argentina.**

	2009/10	2010/11	2011/12
<b>Cultivo de cobertera (avena)</b>			
Fecha de siembra	22/05/2009	14/05/2010	01/06/2011
Fecha de secado	21/10/2009	18/10/2010	17/10/2011
Precipitaciones totales, mm	347	334	276
<b>Soja</b>			
Fecha de siembra	13/11/2009	20/11/2010	24/11/2011
Variedad	Nidera 4209	DM 4970	DM 3810
Fecha de cosecha	10/4/2010	27/4/2011	13/4/2012
Precipitaciones totales, mm	570	433	457



**Figura 1. Precipitaciones decádicas acumuladas durante el periodo del cultivo de soja en las estaciones de crecimiento 2009/10, 2010/11 y 2011/12.**

el método de Dumas: Combustión de la muestra a altas temperaturas (950 °C) y posterior detección por termo-conductividad (LECO, 2010). La cosecha de la soja se realizó mediante trilladora automotriz de parcelas, cosechando una superficie de 10.5 m<sup>2</sup> por parcela. El rendimiento se expresó corregido al 13.5% de humedad de grano.

Los datos obtenidos se analizaron a través de un modelo de mediciones repetidas. Este modelo se utilizó para incorporar las correlaciones de los errores asignados a mediciones sobre una misma unidad experimental a través de los años. Los análisis se realizaron utilizando el procedimiento MIXED y la opción REPEATED del paquete estadístico SAS (Littell et al., 2006). Cuando se registró interacción entre secuencia y estación de crecimiento ( $p < 0.05$ ), se evaluaron los efectos simples, mientras que cuando la interacción entre secuencia y estación de crecimiento no fue significativa ( $p > 0.05$ ), se evaluaron los efectos principales. Cuando el estadístico F fue significativo, se utilizó el test de diferencia mínima significativa (LSD en Inglés) para separar las medias entre tratamientos con un nivel de significancia 0.05.

## Resultados y discusión

### Biomasa aérea, nitrógeno y carbono en los CC

soja se sembró a una distancia entre surcos de 0.35 m y una densidad de 45 semillas m<sup>-2</sup>, inoculadas con *Bradyrhizobium japonicum*. A la siembra de la soja, la misma se fertilizó al voleo con 20 kg de P utilizando como fuente superfosfato triple (0-46-0) y 15 kg de S bajo la forma de sulfato de calcio (17% S). Las plagas, malezas y enfermedades se controlaron con métodos químicos.

Se evaluaron las estaciones de crecimiento 2009/10, 2010/11 y 2011/12. En la **Tabla 1** se detalla el manejo de las secuencias y las precipitaciones totales en cada estación de crecimiento. Asimismo, se detalla la distribución de las precipitaciones para las 3 campañas en evaluación (**Figura 1**). Al momento de la suspensión del crecimiento de los CC, se cortaron 3 submuestras de 0.35 m<sup>2</sup> por parcela, a nivel del suelo y se recolectó la biomasa aérea. Las mismas se secaron en estufa a 60 °C hasta peso constante, se pesaron y molieron (1 mm) para determinar la concentración de C y N mediante

En los ciclos 2009/10 y 2010/11, la precipitación acumulada en el periodo de crecimiento del CC fue cercana a la mediana histórica de 337 mm (**Tabla 1**), mientras que en el ciclo 2011/12 fue 61 mm menor. La biomasa acumulada y el C en biomasa aérea de los CC no registró interacción significativa ( $p < 0.05$ ) entre año y secuencia de cultivos. Los valores de biomasa aérea se ubicaron en el rango de 4.0 a 8.4 Mg ha<sup>-1</sup> (**Tabla 2**). Esto coincide con lo reportado por Restovich et al. (2012) quienes usaron avena como CC sin fertilización nitrogenada en el norte de la región pampeana Argentina. En 2010/11, la biomasa aérea de los CC fue mayor ( $p < 0.05$ ) que en las otras estaciones de crecimiento (**Tabla 2**). Esto podría ser debido a una combinación de efectos, como el anticipo en la fecha de siembra lo que generó un mayor periodo de crecimiento respecto a los otros años. Además, las menores precipitaciones acumuladas en el ciclo

**Tabla 2. Producción de biomasa aérea, acumulación de N y C, y relación C:N de los cultivos de cobertura en las estaciones de crecimiento (EC) 2009/10, 2010/11 y 2011/12 en las secuencias (S): cultivo de cobertura/soja (CC/Sj); cultivo de cobertura fertilizado con N/soja (CC<sub>F</sub>/Sj). Letras minúsculas iguales indican que no hay diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre S. Letras mayúsculas iguales indican que no hay diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre EC. Valores entre paréntesis indican error estándar de la media.**

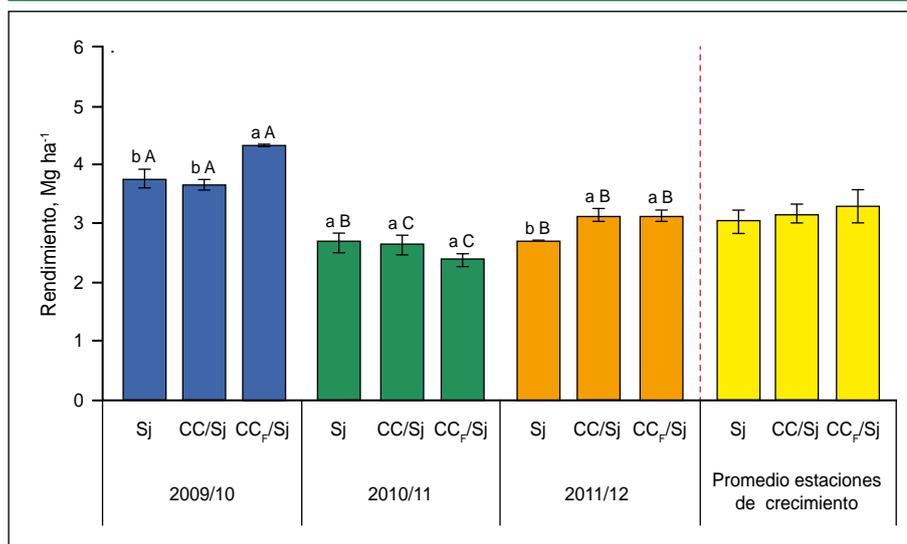
Secuencias	Biomasa aérea (Mg ha <sup>-1</sup> )	C (Mg ha <sup>-1</sup> )	N (kg ha <sup>-1</sup> )	C:N
<b>2009/10</b>				
CC/Sj	4.0 (0.3)	1.8 (0.1)	63 (3.8) b A	28 (0.3) a C
CC <sub>F</sub> /Sj	5.0 (0.2)	2.2 (0.1)	104 (2.0) a C	21 (1.1) b A
<b>2010/11</b>				
CC/Sj	6.6 (0.6)	2.8 (0.3)	65 (5.8) b A	44 (2.4) a A
CC <sub>F</sub> /Sj	8.4 (0.5)	3.6 (0.2)	158 (4.3) a A	23 (1.4) b A
<b>2011/12</b>				
CC/Sj	5.1 (0.4)	2.2 (0.2)	73 (7.1) b A	30 (0.6) a B
CC <sub>F</sub> /Sj	6.4 (0.1)	2.8 (0.0)	130 (2.4) a B	21 (0.6) b A
<b>Promedio S</b>				
CC/Sj	5.2 (0.4) b	2.3 (0.2) a	67 (3.2)	34 (2.5)
CC <sub>F</sub> /Sj	6.6 (0.5) a	2.8 (0.2) a	131 (7.8)	22 (0.6)
<b>Promedio EC</b>				
2009/10	4.5 (0.3) C	2.0 (0.1) C	84 (9.4)	24 (1.8)
2010/11	7.5 (0.5) A	3.2 (0.2) A	111 (21.0)	33 (4.8)
2011/12	5.7 (0.3) B	2.5 (0.1) B	101 (13.3)	26 (2.1)
<b>Valor-p</b>				
S	0.047	0.054	0.005	<0.001
EC	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
S x EC	0.315	0.258	<0.001	<0.001

2011/12, y las bajas temperaturas hacia fines del invierno y comienzo de la primavera en el año 2009, afectaron de manera negativa el crecimiento del CC. La biomasa aérea promedio de los CC en las tres estaciones de crecimiento fue mayor ( $p < 0.05$ ) en CC<sub>F</sub>/Sj (6.6 Mg MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) que en CC/Sj (5.2 Mg MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) (Tabla 2), lo cual equivale a 2.8 y 2.3 Mg C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, respectivamente.

Más allá del diferente comportamiento entre años, los CC produjeron una gran cantidad de biomasa en el periodo invernal, aumentando la cantidad de residuos sobre el suelo comparado con el monocultivo de soja. Esto puede tener efectos benéficos sobre el suelo disminuyendo el riesgo de erosión y encostramiento superficial (Taboada et al., 2010). Además, la mayor cantidad de residuos sobre la superficie puede mejorar la conservación del agua debido a un incremento en la infiltración y una reducción en la evaporación, principalmente en las estaciones de primavera y verano (Reeves, 1994; Kaspar y Singer, 2011). Este ingreso

adicional de C al suelo en secuencias con predominio de soja mejora el balance del mismo y, por lo tanto, la sustentabilidad del sistema.

En las tres estaciones de crecimiento, el N acumulado en los CC fue mayor ( $p < 0.05$ ) en los tratamientos fertilizados con N y la relación C:N fue menor ( $p < 0.05$ ), comparado con los tratamientos sin fertilización, registrando valores promedio de relación C:N de 22 y 34, respectivamente. La baja relación C:N está asociada con un incremento del N liberado vía mineralización de los residuos (Paustian et al., 1992; Clark et al., 1997), el cual puede quedar disponible en el suelo para cultivos posteriores en la rotación. En promedio para las 3 estaciones de crecimiento, los CC fertilizados con N acumularon en biomasa aérea 131 kg de N ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, mientras que los no fertilizados acumularon 67 kg de N ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Si bien la secuencia CC/Sj registró la menor ( $p < 0.05$ ) acumulación de N en todos los ciclos de cultivo, la cantidad de N acumulado puede considerarse de importancia, ya que el mismo proviene del suelo y



**Figura 2. Rendimiento del cultivo de soja para las estaciones de crecimiento 2009/10, 2010/11 y 2011/12 en las secuencias: soja continua (Sj); cultivo de cobertura/soja (CC/Sj); cultivo de cobertura fertilizado con N/soja (CCf/Sj). Las barras verticales indican el error estándar de la media. Las medias fueron comparadas usando el test LSD. Letras minúsculas iguales indican que no hay diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre secuencias. Letras mayúsculas iguales indican que no hay diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre estaciones de crecimiento.**

no del fertilizante. Esto indicaría el efecto benéfico de los CC en la captura de N disponible con riesgo de ser lixiviado (Ruffo et al., 2004; Restovich et al., 2012; Kaspar et al., 2012). Además, el N captado en la biomasa de los CC podría posteriormente ser mineralizado en el suelo para su reciclaje en el sistema. Es importante considerar que tanto los valores de acumulación de C como de N son solo aquellos en la biomasa aérea, si se incluye la biomasa de raíces y exudados radicales, estos valores se incrementarían y la cantidad de C y N retornada al suelo por los CC sería mayor.

### Rendimiento del cultivo de soja

El rendimiento del cultivo de soja estuvo en el rango de 2.4 a 4.3 Mg ha<sup>-1</sup> (Figura 2). Estos valores son acordes a los reportados en otros estudios regionales bajo condiciones de secano, en los cuales la disponibilidad de agua es el principal factor limitante (Calviño y Monzón, 2009).

En la estación de crecimiento 2009/10, todas las secuencias registraron los mayores rendimientos ( $p < 0.05$ ) respecto de las otras estaciones, los cuales estuvieron en el rango de 3.7 a 4.3 Mg ha<sup>-1</sup> (Figura 2). Una explicación a esto, serían las abundantes precipitaciones durante el ciclo del cultivo, siendo la precipitación acumulada entre la tercer década de octubre de 2009 y la segunda década de marzo de 2010 (correspondiente al periodo transcurrido entre la fecha de secado de los CC y la madurez del cultivo de soja), 71 mm por encima de la mediana histórica para este periodo (499 mm) (Tabla 1). Además, se registraron abundantes precipitaciones durante el periodo comprendido entre la segunda década del mes de febrero a la primer década del mes de

marzo (Figura 1) coincidiendo con los estados fenológicos de R4 a R6.5 (Fehr y Caviness, 1977), periodo crítico para determinación del rendimiento del cultivo (Andrade et al., 2002). En la estación de crecimiento 2009/10, el rendimiento de la soja fue mayor ( $p < 0.05$ ) en CCf/Sj, mientras que CC/Sj y Sj no difirieron entre sí (Figura 2).

En la estación de crecimiento 2010/11, el régimen de precipitaciones fue menos favorable para el desarrollo del cultivo de soja, siendo las precipitaciones acumuladas durante el ciclo del cultivo 66 mm por debajo de la mediana histórica (Tabla 1), además se registraron escasas precipitaciones durante el periodo crítico de determinación del rendimiento, siendo este afectado (Figura 1). A pesar de la menor disponibilidad de agua los rendimientos del cultivo de soja en esta estación de crecimiento no

difirieron ( $p < 0.05$ ) entre las diferentes secuencias, y el mismo estuvo en el rango de 2.4 a 2.7 Mg ha<sup>-1</sup> (Figura 2). Esto coincide con lo reportado por Restovich et al. (2012) quienes determinaron en un estudio a largo plazo que el rendimiento de soja sembrado luego de avena como CC no difirió respecto al monocultivo bajo diferentes condiciones hídricas durante el periodo de crecimiento de la soja.

En 2011/12, las precipitaciones acumuladas estuvieron 41.2 mm por debajo de la media histórica, aunque en el periodo crítico de determinación del rendimiento, el cual coincidió con los años anteriores, estas fueron mayores que en el ciclo 2010/11 (Figura 1). El rendimiento del cultivo de soja estuvo en el rango de 2.7 a 3.1 Mg ha<sup>-1</sup>, y fue mayor ( $p < 0.05$ ) en CC/Sj y CCf/Sj que en Sj (Figura 2).

El rendimiento promedio en las tres estaciones de crecimiento del monocultivo de soja fue de 3.0 Mg ha<sup>-1</sup>, mientras que en las secuencias con CC soja fue de 3.3 Mg ha<sup>-1</sup> y 3.2 Mg ha<sup>-1</sup> con o sin adición de N, respectivamente. Los resultados de este estudio indican que el rendimiento del cultivo de soja no disminuyó por la inclusión de los CC en tres estaciones de crecimiento con diferentes condiciones hídricas; mientras que, en los ciclos 2009/10 y 2011/12, las secuencias con CC presentaron mayores rendimientos que Sj (excepto para CC/Sj en el año 2009 que no difirió de Sj). Esto indica un posible efecto benéfico de dichos manejos sobre la productividad del suelo, mas allá del corto periodo de tiempo transcurrido luego de la implementación de dichas prácticas.

## Conclusiones

La incorporación de CC en secuencias con predominio de soja en la zona del sudeste bonaerense es una alternativa factible para incrementar el aporte de C y N mejorando el balance de ambos elementos en el suelo, sin afectar el rendimiento del cultivo de soja. A su vez, la fertilización con N incrementó la producción de biomasa aérea y el contenido de N, mientras que, disminuyó la relación C:N de los CC.

Estos promisorios resultados deberían ser confirmados a más largo plazo y en otros ambientes productivos, a fin de evaluar la factibilidad de esta práctica de manejo. Además, deberían realizarse estudios sobre los procesos que intervienen en la dinámica del C y N, y otros parámetros que definen la calidad del suelo. Esto contribuirá a un mayor entendimiento acerca del impacto de estas prácticas de manejo sobre la productividad del suelo y la sustentabilidad del sistema de producción.

## Bibliografía

- Álvarez, R., J.H. Lemcoff, y A.H. Merzari. 1995. Balance de N en un suelo cultivado con soja. *Ciencia del Suelo*. 13:38-40.
- Andrade, F.H., L. Aguirrezábal, y R.H. Rizzalli. 2002. En: Andrade F., y V. Sadras, Ed. Crecimiento y rendimiento comparados. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. INTA Balcarce, Facultad de Ciencias Agrarias (UNMP). 57-96.
- Calviño, P., y J.P. Monzon. 2009. En: Sadras V.O., y D.F. Calderini. *Farming systems of Argentina: Yield constraints and risk management*. Crop physiology. Elsevier. 55-70.
- Clark, A.J., A.M. Decker, J.J. Meinsiger, y M.S. McIntosh. 1997. Kill date of vetch, rye, and a vetchrye mixture: I. Cover crops and corn nitrogen. *Agron J.* 89:427-434.
- Cordone, G., y F. Martínez. 2004. El monocultivo de soja y el déficit de nitrógeno. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. IPNI Cono Sur. 24:1-4.
- Fehr, W.R., y C.E. Caviness. 1977. Stages of soybean development. *Iowa St. Univ. Special Report* 80. 11 p.
- García, F.O., I.A. Ciampitti, y H.E. Baigorri. 2009. Manual del cultivo de soja. Buenos Aires, Internacional Plant Nutrition Institute. pp 180.
- Gutiérrez-Boem, F.H., J.D. Scheiner, H. Rimski Korsakov, y R.S. Lavado. 2004. Late season nitrogen fertilization of soybeans: effects on leaf senescence, yield and environment. *Nutr Cycl Agroecosys*. 68:109-15.
- Kaspar, T.C., D.B. Jaynes, T.B. Parkin, T.B. Moorman, y J.W. Singer. 2012. Effectiveness of oat and rye cover crops in reducing nitrate losses in drainage water. *Agr Water Manage*. 110:25-33.
- Kaspar, T.C., y J.W. Singer. 2011. En: Hatfield J.L., y T.J. Sauer, Ed. *The Use of Cover Crops to Manage Soil*. Soil Management: Building a Stable Base for Agriculture. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Guilford Road, Madison, USA. 321-337.
- LECO. 2010. Organic application notes. [en línea] Disponible en: <http://www.leco.com> [consulta 13/9/10].
- Littell, R.C., G.A. Milliken, W.W. Stroup, R.D. Wolfinger, y O. Schabenberger. 2006. *SAS® for Mixed Models*, second edition. SAS Institute Inc, Cary, NC, USA. 814 p.
- MinAgri. 2012. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Base de datos sistema integrado de información agropecuaria [En línea]. Disponible en: <http://www.minagri.gov.ar/SAGPyA>. [Consulta: 10/5/12]
- Paustian, K., J. William, y P.J. Persson. 1992. Modeling soil organic matter in organic-amended and nitrogen-fertilized long-term plots. *Soil Sci Soc Am J.* 56:476-488.
- Reeves, D.W. 1994. En: Hatfield J.L., y B.A. Stewart. Ed. *Cover crops and rotations*. Advances in soil science. Crops residue management. CRC Press, Boca Raton, FL. 125-172.
- Restovich, S.B., A.E. Andriulo, y S.I. Portela. 2012. Introduction of cover crops in a maize-soybean rotation of the Humid Pampas: Effect on nitrogen and water dynamics. *Field Crops Res.* 128:62-70.
- Ruffo, M.L., D.G. Bullock, y G.A. Bollero. 2004. Soybean yield as affected by biomass and nitrogen uptake of cereal rye in winter cover crop rotations. *Agron J.* 96:800-805.
- Salvagiotti, F., K.G. Cassman, J.E. Specht, D.T. Walters, A. Weiss, y A. Dobermann. 2008. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review. *Field Crops Res.* 108:1-13.
- Studdert, G.A., y H.E. Echeverría. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Sci Soc Am J.* 64:1496-1503.
- Taboada, M.A., F.G. Micucci, y C.R. Álvarez. 2010. En: Álvarez R., G. Rubio, C.R. Álvarez, y R.S. Lavado, Ed. *Impedancias mecánicas y compactación en sistemas agrícolas*. Fertilidad de suelos. Caracterización y manejo en la Región Pampeana. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 117-154.
- Zadoks, J.C., T.T. Chang, y C.F. Konzak. 1974. A decimal code for growth stages of cereals. *Weed Res.* 14:415-421.★

# Acumulación de calcio, magnesio y azufre en los frutos de café\*

Siavosh Sadeghian<sup>1</sup>, Beatriz Mejía<sup>1</sup>, y Hernán González<sup>1</sup>

## Introducción

Entre los elementos mayores que demandan las plantas para su crecimiento y desarrollo se encuentran el calcio (Ca), el magnesio (Mg) y el azufre (S) (Mengel y Kirkby, 2000). Estos también son llamados macronutrientes secundarios, clasificación que según algunos autores se relaciona con la menor frecuencia de observar deficiencias con respecto a los nutrientes primarios (nitrógeno, fósforo y potasio), antes que la cantidad requerida (SICCPHA, 2004). La demanda de Ca, Mg y S depende de la especie o variedad, el nivel de producción, las propiedades del suelo, los componentes ambientales y el manejo (Havlin et al., 1999).

En Colombia, raras veces se observan síntomas de deficiencia de Ca y S en café (**Figuras 1 y 2**, respectivamente), en tanto que son muy frecuentes los síntomas de Mg (**Figura 3**), acompañados de una defoliación que puede ser severa, según la magnitud de la carencia del elemento.

Durante la fase de crecimiento vegetativo inicial – aproximadamente 650 días después de la siembra– una planta de café extrae entre 3.9 y 10.5 g de Ca y de 1.2 a 2.1 g de Mg. Hasta los 2000 días, es decir 5.5 años, estas cantidades alcanzan 60 g de Ca y entre 15 y 30 g de Mg, según las condiciones del sitio (Riaño et al., 2004). Parte de lo anterior se remueve del lote a través de la cosecha, mientras que el resto retorna al suelo en forma de hojas,

tallos, raíces, flores, etc. En promedio, por cada 1000 kg de café almendra, equivalentes a 1250 kg de café pergamino seco (100 arrobas) se extraen 4.3 kg de Ca, 2.3 kg de Mg y 1.2 kg de S (Sadeghian et al., 2006).

El conocimiento acerca de la dinámica de los nutrientes desde la flor hasta el fruto permite identificar los periodos de mayor exigencia, pudiéndose mejorar la eficiencia de las prácticas de fertilización. Así mismo, el conocer las variaciones de las concentraciones de los nutrientes en las hojas y su movilización hacia los frutos durante la fase reproductiva, en los diferentes ambientes, ayuda en el diagnóstico del estado nutricional de las plantas,



Figura 1. Síntomas de deficiencias de calcio en las hojas más nuevas.



Figura 2. Síntomas de deficiencias de azufre en las hojas más nuevas.



Figura 3. Síntomas de deficiencias de magnesio en las hojas más viejas.

<sup>1</sup> Disciplina de Suelos, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, Manizales, Caldas, Colombia. Correo electrónico: Siavosh.Sadeghian@cafedecolombia.com

\* Originalmente: Avances Técnicos Cenicafé. 430(Abril 2013):1-8.

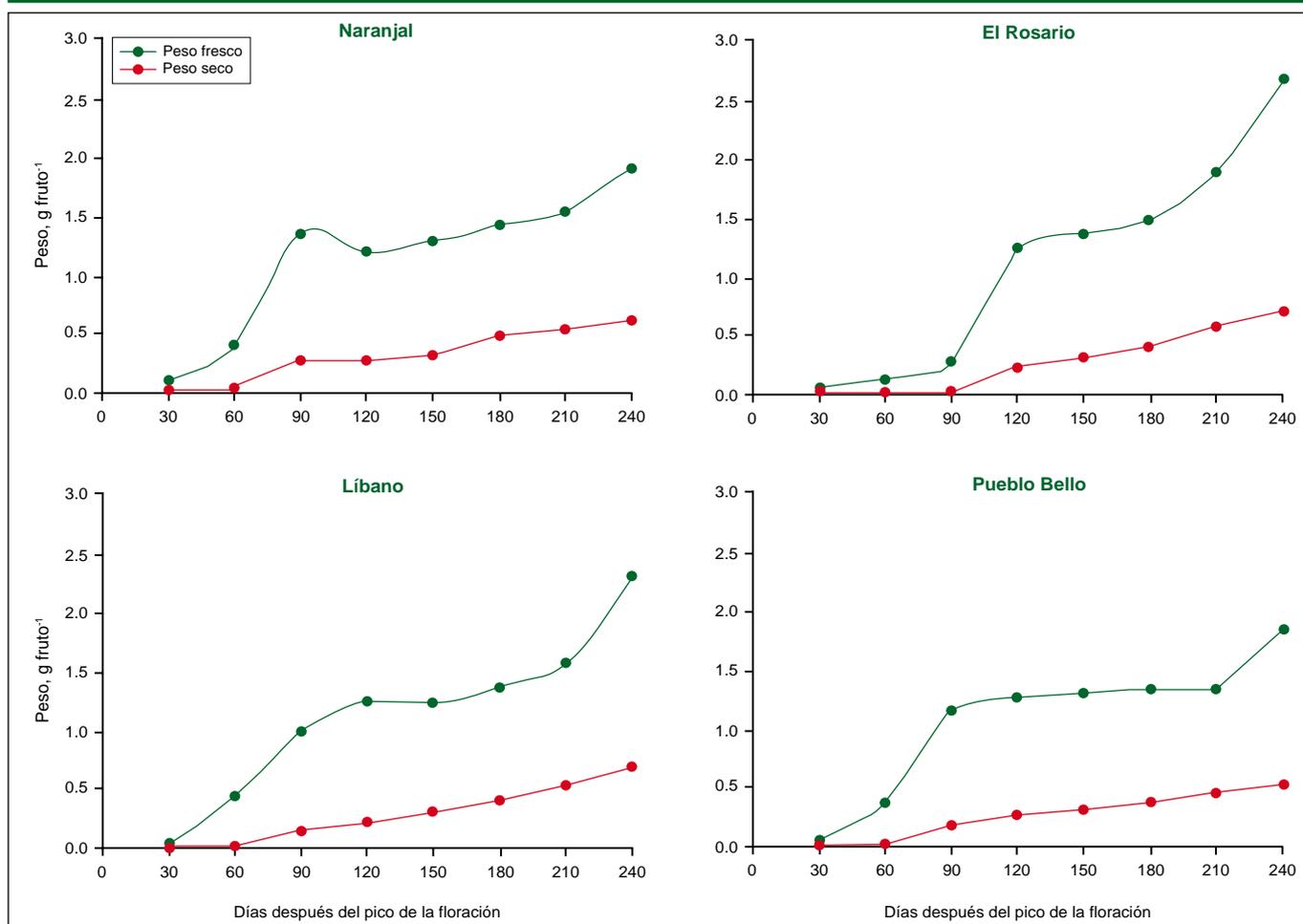


Figura 4. Peso fresco y seco de un fruto de café en función de tiempo transcurrido después del día pico de la floración, en cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé.

Tabla 1. Nutrientes suministrados a través de la fertilización durante el año 2010\* en los lotes experimentales.

Estación	Nitrógeno N	Fósforo P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Potasio K <sub>2</sub> O	Magnesio MgO
Naranjal	280	60	260	0
Líbano	240	40	180	12
Pueblo Bello	120	40	130	15
El Rosario	260	20	180	12

\* Meses de marzo y septiembre en el Rosario y Líbano y, abril y septiembre en Naranjal y Pueblo Bello.

2006 y 2007 (segundo o tercer año de cosecha), con densidades entre 5000 y 10 000 plantas por hectárea. En Pueblo Bello, la plantación se encontraba bajo sombrío regulado, en tanto que las demás estaban a plena exposición solar. El suministro de nutrientes se realizó en dos ocasiones, durante los meses de marzo-abril y septiembre-octubre (Tabla 1), basado en el análisis de suelos realizado previo a la iniciación del trabajo.

permitiendo ajustar los planes de la fertilización de los cultivos (Laviola, 2007).

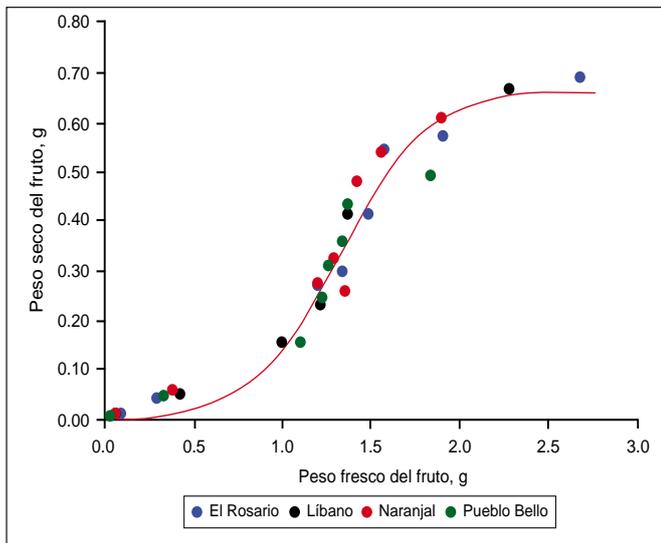
### Acumulación de Ca, Mg y S en los frutos de café

Con el fin de determinar la acumulación de Ca, Mg y S durante el desarrollo de los frutos de café y sus variaciones a través de tiempo en las hojas, se realizó una investigación en las siguientes Estaciones Experimentales de Cenicafé, durante los meses de abril y noviembre de 2010: Naranjal (Chinchiná, Caldas), El Rosario (Venecia, Antioquia), Líbano (Líbano, Tolima) y Pueblo Bello (Pueblo Bello, Cesar). Se seleccionaron lotes de café Variedad Castillo® en buen estado fitosanitario, sembrados o zoqueados entre los años

En cada localidad se identificó el día pico de la floración y, a partir de esta fecha, mensualmente se tomaron muestras de frutos y de hojas en las ramas productivas de 100 plantas que se seleccionaron de manera aleatoria al iniciar la investigación. Tanto en los frutos como en las hojas (tercero o cuarto par, contadas a partir del ápice) se analizaron las concentraciones de Ca, Mg y S.

### Crecimiento del fruto

El crecimiento de los frutos, expresado en términos de peso fresco, presentó algunas variaciones entre las localidades (Figura 4). En Naranjal y Pueblo Bello fue lento hasta los 60 días después del pico de floración



**Figura 5. Variaciones del peso seco del fruto en función del peso fresco en cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé.**

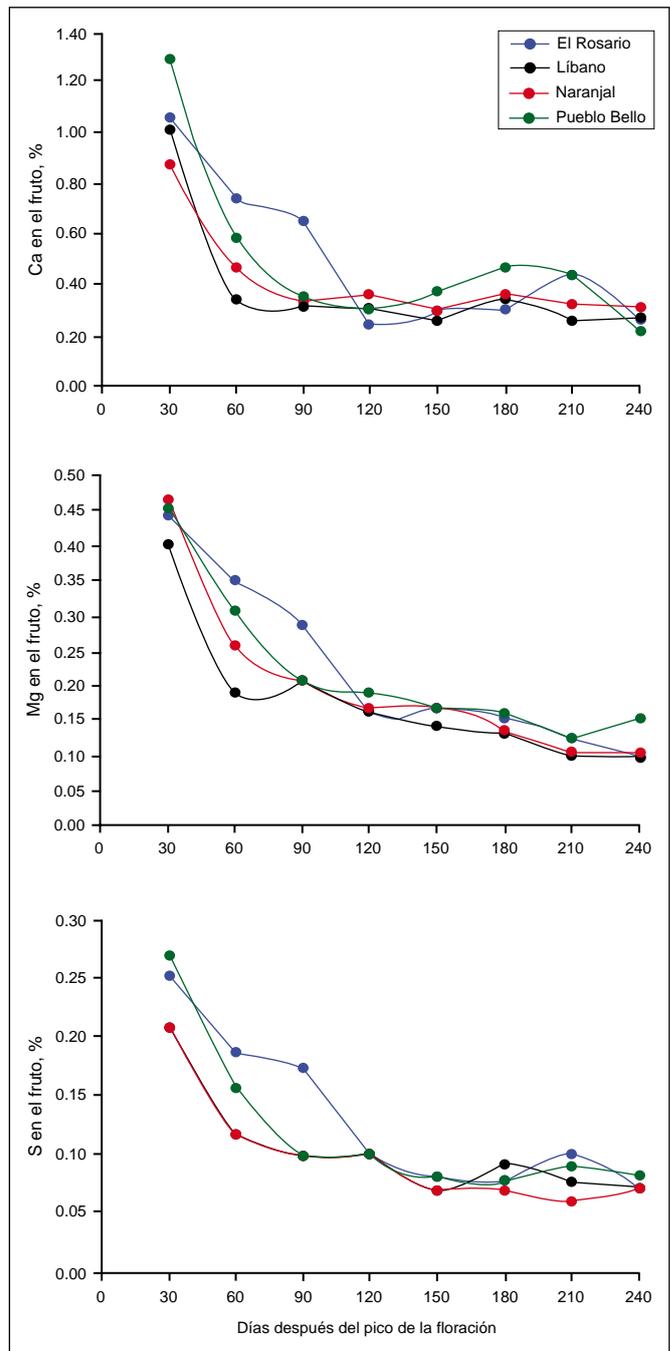
(DDPF), entre esta fecha y los siguientes 30 días tuvo un incremento considerable, de los 90 a los 210 días se mantuvo relativamente constante, para terminar en el último mes con un aumento leve. En El Rosario la fase de crecimiento lento se prolongó hasta los 90 días, en el siguiente mes presentó un crecimiento marcado y, a partir de este momento y hasta el último día exhibió un aumento progresivo. El comportamiento registrado en Líbano fue similar al de El Rosario, con la diferencia que en esta localidad el crecimiento inicial fue más sostenido hasta los 90 DDPF.

En el momento de la cosecha, es decir 240 DDPF, se presentaron los siguientes valores para el peso fresco y seco de los frutos, respectivamente: El Rosario 2.66 y 0.69 g; Líbano 2.28 y 0.67 g; Naranjal 1.91 y 0.61 g; Pueblo Bello 1.83 y 0.49 g. Las anteriores diferencias pueden asociarse tanto al ambiente (suelo y clima) y manejo (principalmente sombrío y fertilización), como al material genético (las líneas que componen la variedad regional).

Las variaciones del peso seco del fruto en función del peso fresco fueron explicadas en el 95% mediante el modelo sigmoide (Figura 5). Este comportamiento sugiere que en la fase inicial del crecimiento una mayor parte del fruto está constituida por agua, pero a medida que avanza la maduración y ocurre el llenado, la proporción del agua disminuye. En una fase final el fruto gana de nuevo humedad, posiblemente debido a los cambios ocurridos en la pulpa.

### Concentración de Ca, Mg y S en los frutos

La concentración de Ca disminuyó considerablemente durante los primeros 120 DDPF, para luego estabilizarse hasta el momento de la recolección (Figura 6). En el caso de S, la fase de estabilización se logró a los 150 DDPF, en tanto que para el Mg la reducción fue rápida durante



**Figura 6. Concentración de Ca, Mg y S en el fruto de café en función de tiempo transcurrido después del día pico de la floración, en cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé.**

los 120 DDPF y lenta entre esta fecha y los 240 días. El comportamiento descrito, también reportado para café por Chaves y Sarruge (1984) y Souza et al. (1975), está asociado a las variaciones en el crecimiento del fruto a través del tiempo y se conoce como el efecto de la dilución.

El promedio de la concentración de Ca pasó de 1.07% (30 DDPF) a 0.27% (240 DDPF), el Mg de 0.44% a 0.12% y el S de 0.24% a 0.07%, lo que representa reducciones cercanas al 70%. Los valores más bajos, correspondientes a los 240 DDPF, son similares a los reportados por Sadeghian et al. (2006) para dos localidades de la zona cafetera del país (Ca 0.28% a 0.32%, Mg 0.10% a 0.12% y S 0.08%).

Sólo durante los primeros 90 DDPF se registraron diferencias relativamente grandes entre los sitios; al respecto, se puede decir que El Rosario y Pueblo Bello presentaron los valores más altos para los tres elementos objeto de estudio. También se debe aclarar que no se halló una relación clara entre la concentración de los nutrientes y la fertilidad del suelo, o en su defecto el plan de fertilización; por lo tanto, parte de este comportamiento se asoció a las diferencias debido al peso de los frutos y el efecto de la dilución.

### Acumulación de Ca, Mg y S en el fruto

En la **Figura 7** se presenta la acumulación de Ca, Mg y S en el fruto a través del tiempo. Dado que esta variable resulta de multiplicar la concentración del elemento (en porcentaje) por el peso del fruto (en gramos), su comportamiento resulta similar a la observada para la biomasa fresca y seca, especialmente para el Mg y S (**Figura 4**).

Durante todo el periodo del desarrollo de los frutos se observó el siguiente orden en los contenidos de los elementos en las cuatro Estaciones Experimentales: S<Mg<Ca. Las relaciones halladas presentaron los siguientes rangos: Ca/S: 3.08-4.58, Mg/S 1.42-2.18 y Ca/Mg 1.76-3.06. Las diferencias en los contenidos de Ca con respecto a Mg y S se hicieron mayores a partir de 90 DDPF. Con el fin de establecer una comparación entre los nutrientes estudiados en este documento y los demás macronutrientes, en la **Tabla 2** se consignan las cantidades acumuladas en el fruto de café 240 DDPF, es decir, al momento de la cosecha. Se presentó el siguiente orden en todas las localidades: K>N>Ca>P>Mg>S. Ramírez et al. (2002) reportan un orden similar para la variedad Caturra (K>N>Ca>P>Mg>S).

### Acumulación relativa de Ca, Mg y S en el fruto

En la **Figura 8** se presenta la acumulación relativa de Ca, Mg y S en el fruto de café, a través de tiempo, tomando como punto de referencia el 100% de lo absorbido. De manera general, la cantidad total de nutrientes acumuladas durante los primeros 60 ó 90 DDPF fue baja (14%), así como en los últimos dos meses antes de la cosecha (21%), mientras que el mayor porcentaje se absorbió entre estos dos periodos (65%). Ramírez et al. (2002), hallaron que para la variedad Caturra el 50% de los requerimientos totales de Ca, Mg y S son

consumidos por el fruto durante los primeros 90 días. Esta condición concuerda con lo hallado para Naranjal, no así para El Rosario, Pueblo Bello y Líbano.

Los resultados expuestos revelan que pese a cierta similitud, la acumulación de los nutrientes puede variar entre sitios, dependiendo de las condiciones predominantes. Los estudios desarrollados por Laviola et al. (2007 y 2008) confirman lo expuesto, al demostrar que la acumulación de macronutrientes cambia de acuerdo a la temperatura, factor climático afectado por la altitud.

### Concentración foliar de Ca, Mg y S

Las concentraciones de los tres nutrientes, contenidos en el tercero o cuarto par de hojas, presentaron algunas variaciones a través del tiempo, sin que pudieran relacionarse con el proceso del crecimiento y desarrollo de los frutos (**Figura 9**). Los cambios en referencia estarían más bien relacionados con la disponibilidad de estos elementos para la planta, asociados a las prácticas de fertilización y las lluvias.

En una investigación realizada por Laviola et al. (2007), tampoco se hallaron evidencias claras que indicaran una re-movilización de Ca, Mg ni S desde las hojas. Un comportamiento semejante fue registrado por Chaves y Sarruge (1984), quienes no encontraron relación entre estos nutrientes en la fuente (hoja) y en el vertedero (frutos). Según estos últimos, la respuesta de Ca y S puede relacionarse con su baja movilidad en la planta, no así la de Mg.

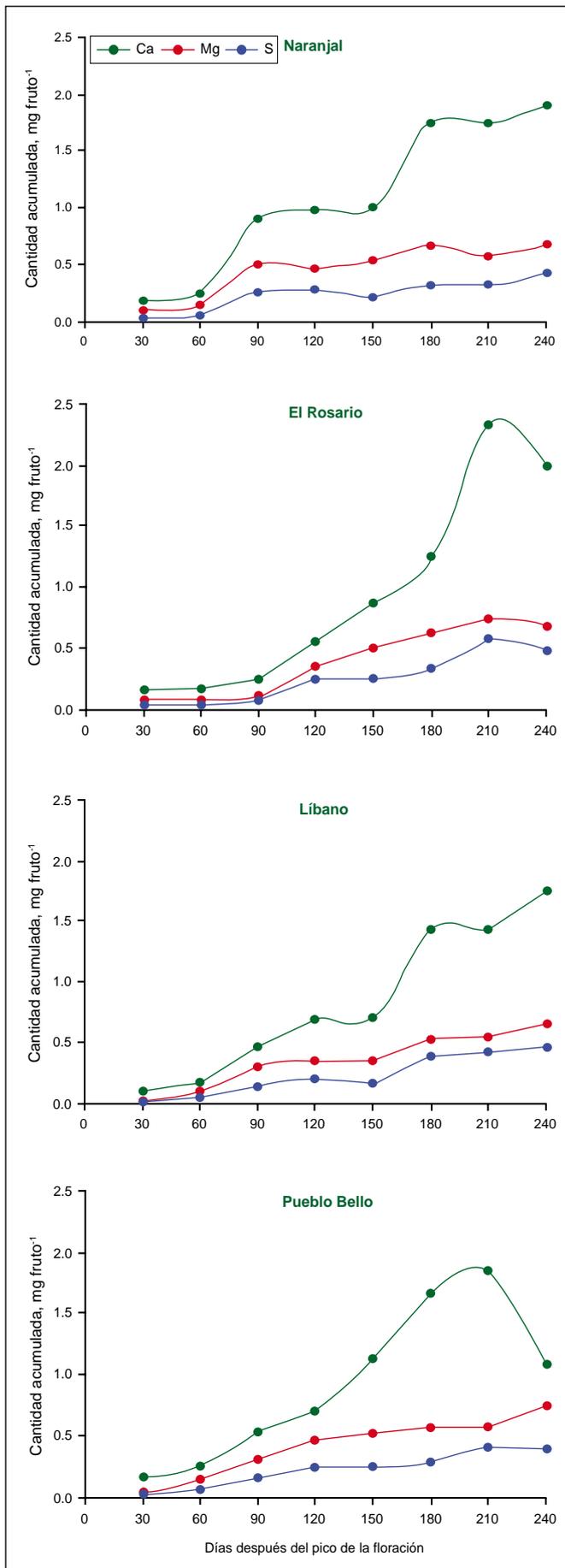
Durante los ocho meses de evaluación, las concentraciones foliares más altas de Ca y Mg se observaron en Pueblo Bello (en promedio 2.02% y 0.33%, respectivamente) y las concentraciones más bajas de Ca y S en Naranjal (en promedio 0.81% y 0.12%, respectivamente). En el ámbito general, los valores detectados para Ca estarían en el rango catalogado como normal para condiciones de Colombia y los de Mg medios (Valencia, 1999); mientras que las concentraciones de S fueron bajas (Sadeghian y González, 2010).

### Consideraciones finales

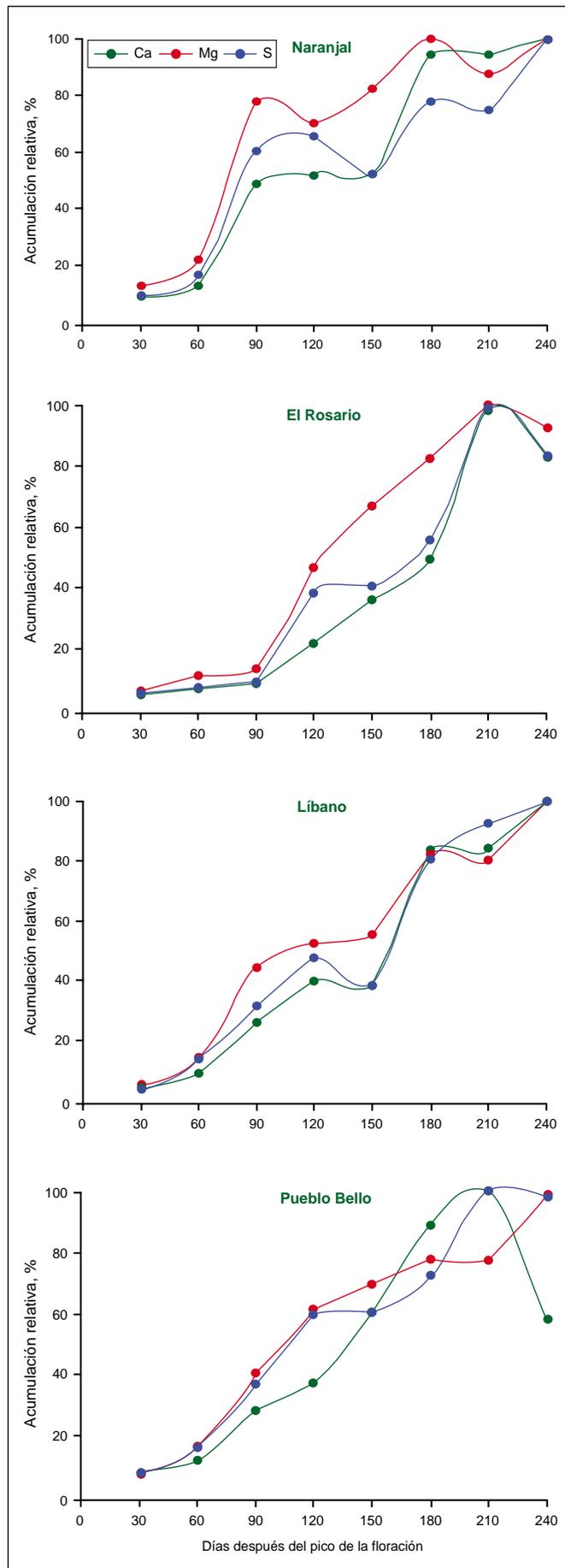
En las plantaciones de café simultáneamente tienen lugar crecimientos vegetativos y reproductivos, como

**Tabla 2. Cantidades acumuladas de macronutrientes en un fruto de café, 240 días después del día pico de la floración, en cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé.**

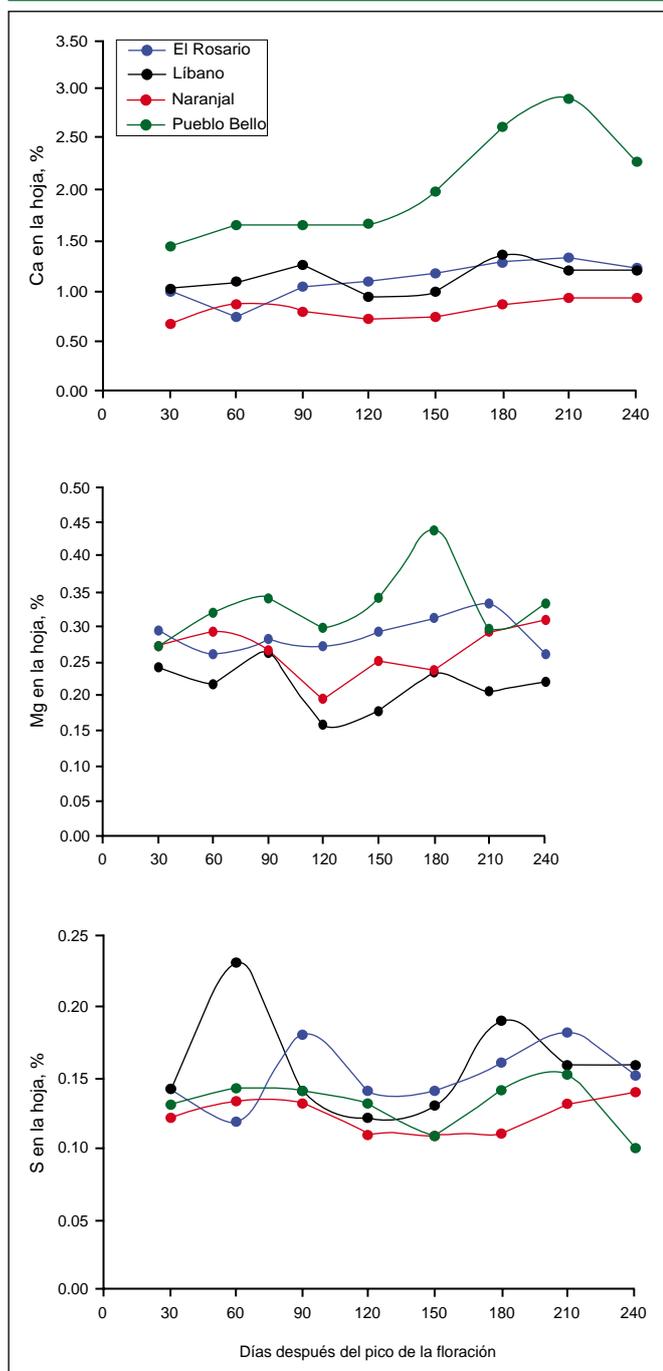
Estación experimental	N	P	K	Ca	Mg	S
	mg fruto <sup>-1</sup>					
El Rosario	9.61	0.76	12.78	0.96	0.40	0.25
Líbano	7.78	0.87	12.71	0.84	0.37	0.24
Naranjal	8.63	0.67	11.14	1.10	0.46	0.25
Pueblo Bello	8.12	0.54	9.45	0.92	0.42	0.23



**Figura 7.** Cantidad acumulada de Ca, Mg y S en los frutos de café en función de tiempo transcurrido después del día pico de la floración, en cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé.



**Figura 8.** Acumulación relativa de Ca, Mg y S en el fruto de café a través de tiempo transcurrido después del día pico de la floración, en cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé.



**Figura 9.** Concentraciones foliares de Ca, Mg y S en función de tiempo transcurrido después del día pico de la floración, en cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé. Valores observados en el tercero o cuarto par de hojas de las ramas productivas de café.

resultado de estímulos ambientales, particularmente periodos de lluvia y déficit hídrico. La presencia de nudos, hojas, estructuras de floración y frutos en un variado estado de desarrollo, conduce a que exista una permanente competencia por los nutrientes entre los diferentes órganos, de allí que un adecuado plan de nutrición deba enfocarse en satisfacer la demanda de nutrientes de la cosecha actual, como la que se necesita para garantizar la formación de órganos vegetativos que soportarán los siguientes ciclos de producción.

Para la formación de los frutos, los cafetales demandan una alta cantidad de potasio y nitrógeno, y en menores proporciones calcio, fósforo, magnesio y azufre. Para satisfacer estas necesidades y obtener buenas cosechas es necesario establecer un adecuado plan de manejo de la fertilidad del suelo a través de la aplicación oportuna de fertilizantes y enmiendas.

### Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a los ingenieros Juan Carlos García López, John Wilson Mejía Montoya, José Raúl Rendón Sáenz, Jorge Camilo Torres Navarro y José Enrique Baute Balcázar, así como a Lady Juliet Vargas Gutiérrez y Diego Alejandro Arcila Vasco.

### Bibliografía

- Chaves, J.C.D., y J.R. Sarruge. 1984. Alterações nas concentrações de macronutrientes nos frutos e folhas do cafeeiro durante um ciclo produtivo. Pesquisa Agropecuaria Brasileira (Brasil) 19(4):427-432.
- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale, y W.L. Nelson. 1999. Soil fertility and fertilizers; an introduction to nutrient management. 6. ed. Upper Saddle River (Estados Unidos), Prentice Hall. 499 p.
- Laviola, B.G., E.P. Martínez, L.C.C. Salomão, C.D. Cruz, S.M. Mendonça. 2007. Acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro em quatro altitudes de cultivo: cálcio, magnésio e enxofre. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 31:1451-1462.
- Laviola, B.G., E.P. Martínez, L.C.C. Salomão, C.D. Cruz, S.M. Mendonça, y L. Rosado. 2008. Acúmulo em frutos e variação na concentração foliar de NPK em cafeeiro cultivado em quatro altitudes. Biosci. J., Uberlândia, 24(1):19-31.
- Mengel, K., E.A. Kirkby. 2000. Principios de nutrición vegetal. Traducción al español de la 4ta edición (1987). Internacional Potash Institute. Basel, Switzerland. 692 p.
- Ramírez, F., F. Bertsch, y L. Mora. 2002. Consumo de nutrimentos por los frutos y bandolas de café Caturra durante un ciclo de desarrollo y maduración en Aquiares, Turrialba, Costa Rica. Agronomía Costarricense, 26(1):33-42.
- Riaño, N.M., J. Arcila, A. Jaramillo, y B.C. Chaves. 2004. Acumulación de materia seca y extracción de nutrimentos por *Coffea arabica* L. cv. Colombia en tres localidades de la zona cafetera central. Cenicafé (Colombia) 55(4):265-276.
- Sadeghian, S., B. Mejía, y J. Arcila. 2006. Composición elemental de frutos de café y extracción de nutrientes por la cosecha en la zona cafetera de Colombia. Cenicafé (Colombia) 57(4):251-261.
- Sadeghian, S., y H. González. 2010. Respuesta del café a la fertilización con azufre y su relación con el azufre foliar. En: Congreso colombiano de la ciencia del suelo (15: Octubre 27-29 2010: Pereira). Pereira: SCCS, 5 p.
- Soil Improvement Committee California Plant Health Association (SICCPHA). 2004. Manual de fertilizantes para cultivos de alto rendimiento. Noriega Editores. México. 366 p.
- Souza, V.H. da S., M. Maestri, J.M. Braga, y J.R.P. Chaves. 1975. Variações no teor de alguns elementos minerais nas folhas e frutos de café *Coffea arabica* L. Var. Mundo Novo. Revista CERES, 22(123):318-331.
- Valencia, G. 1999. Fisiología, nutrición y fertilización del cafeto. Agro insumos del café S. A. 94 p. ☺

## Reporte de Investigación Reciente

### ANÁLISIS DE BRECHAS DE RENDIMIENTOS CON RELEVANCIA LOCAL HACIA LO GLOBAL – UNA REVISIÓN

van Ittersum, M.K., K.G. Cassman, P. Grassini, J. Wolf, P. Tittonell, y Z. Hochman. 2013. *Yield gap analysis with local to global relevance—A review*. *Field Crops Research*. 143(1):4–17.

Los rendimientos de los cultivos deben aumentar sustancialmente en las próximas décadas para satisfacer la demanda mundial de alimentos, impulsada por el crecimiento demográfico y el de los ingresos. En última instancia la capacidad mundial de producción de alimentos se verá limitada por la cantidad de tierra y los recursos hídricos disponibles y aptos para la producción agrícola, y por los límites biofísicos sobre el crecimiento de los cultivos. Es necesario cuantificar la capacidad de producción de alimentos en cada hectárea de tierra de cultivo actual de una manera coherente y transparente, para la toma de decisiones informadas sobre políticas, investigación, desarrollo e inversiones que finalmente pueden afectar el rendimiento de los cultivos y el futuro uso de la tierra, y para orientar la acción sobre el terreno de los agricultores locales a través de sus redes de conocimientos. La capacidad de producción de cultivos puede ser evaluada mediante la estimación del rendimiento potencial y el rendimiento limitado por agua, siendo estos puntos de referencia para la producción agrícola bajo regadío y secano respectivamente. Las diferencias entre los niveles de rendimiento teóricos y los rendimientos actuales de los agricultores definen las brechas de rendimiento y el conocimiento preciso, espacialmente explícito, sobre estas brechas de rendimiento es esencial para guiar la intensificación sostenible de la agricultura. Este artículo revisa los métodos para estimar las brechas de rendimiento, con un enfoque en la relevancia local a lo mundial de los resultados. Con métodos empíricos es posible estimar el rendimiento potencial en los percentiles 90 a 95 para el rendimientos de agricultores, los rendimientos máximos en estaciones experimentales, los resultados de concursos de rendimiento o funciones límites, todos los cuales son comparados con la simulación de rendimientos potenciales o limitados por agua. Se realizaron comparaciones utilizando bases de datos detalladas para el oeste de Kenia, Nebraska (EE.UU.) y Victoria (Australia). A continuación, revisamos estudios globales, a menudo llevados a cabo por científicos no agrícolas, orientados a rendimiento y, a veces a la evaluación de brechas de rendimiento se comparó los diversos estudios en términos de resultados para las regiones de Nebraska, Kenia y Holanda. Basados en nuestra revisión, recomendamos componentes clave para una evaluación de las brechas de rendimiento que se puede aplicar tanto a escalas locales como globales.✪

El artículo completo "*Yield gap analysis with local to global relevance—A review*" está disponible en inglés en el siguiente enlace:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2012.09.009>

### LA INTENSIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS CAFETEROS PUEDE INCREMENTAR LA EFECTIVIDAD DE LOS MECANISMOS REDD<sup>1</sup>

Noponen, M.R.A., J.P. Haggard, G. Edwards-Jones, y J.R. Healey. 2013. *Intensification of coffee systems can increase the effectiveness of REDD mechanisms*. *Agricultural Systems*. 119:1-9.

En los sistemas de producción agrícolas con árboles de sombrero, como el café, el aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), al intensificar la producción se puede compensar, o incluso superar, por el aumento de la retención de carbono en la biomasa arbórea tanto por encima como debajo del suelo. Utilizamos datos de un experimento a largo plazo en café agroforestal en Costa Rica para evaluar las ventajas y desventajas entre la intensificación, la rentabilidad y las emisiones netas de gases de efecto invernadero a través de dos escenarios. En primer lugar, mediante la evaluación de las emisiones de GEI asociadas a la conversión de sombrero en sistemas a pleno sol (sin sombra) más rentables. Calculamos el precio de equilibrio de carbono que se tendría que pagar para compensar el costo de oportunidad de no convertir. El precio por tCO<sub>2</sub>e de la reducción de emisiones necesaria para compensar los ingresos no percibidos en la producción de café es muy variable desde 9.3 hasta 196.3 USD entre los diferentes sistemas de sombrero. En segundo lugar, como una alternativa a la intensificación, el área productiva puede expandirse a tierras actualmente forestadas. Estimamos este cambio de uso del suelo requerido para compensar el déficit en rentabilidad al mantener los sistemas de producción de café de menor intensidad. Para cuatro de cinco tipos de sombrero evaluados, el cambio de uso del suelo hace que las emisiones de gases de efecto invernadero adicionales > 5 tCO<sub>2</sub>e ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> resulten en emisiones netas > 8 tCO<sub>2</sub>e ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para todo el sistema. Llegamos a la conclusión de que, a través de la intensificación de la producción, los mecanismos similares a los REDD que se basan en la reducción de emisiones evitando el cambio (VERDADERO) de uso del suelo podrían desempeñar un papel importante al aumentar la posibilidad de éxito en la mitigación del cambio climático de los sistemas agroforestales, y al mismo tiempo apoyar esfuerzos REDD a través de la reducción de la presión para convertir bosques en zonas agrícolas.✪

<sup>1</sup> N.T. REDD: Programa de las N.U. para la reducción de emisiones de la deforestación y degradación de zonas forestales en países en desarrollo.

El artículo completo "*Intensification of coffee systems can increase the effectiveness of REDD mechanisms*" está disponible en inglés en el siguiente enlace:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2013.03.006>

## Cursos y Simposios

### 1. XXI Congreso Nacional de AAPRESID

**Organiza** : AAPRESID  
**Lugar** : Santa Fe. Argentina  
**Fecha** : Agosto, 7-9, 2013  
**Información** : [congreso@aapresid.org.ar](mailto:congreso@aapresid.org.ar)  
[www.aapresid.org.ar/otratierra](http://www.aapresid.org.ar/otratierra)

### 2. Conferencia sobre Uso Eficiente de Nitrógeno de la SSSA

**Organiza** : SSSA  
**Lugar** : Kansas, EE.UU.  
**Fecha** : Agosto, 13-15, 2013  
**Información** : [esuddick@whrc.org](mailto:esuddick@whrc.org)  
<https://www.soils.org/meetings/specialized/nitrogen-use-efficiency>

### 3. XVII International Plant Nutrition Colloquium

**Organiza** : IPNC  
**Lugar** : Estambul, Turquía  
**Fecha** : Agosto, 19-22, 2013  
**Información** : [info@plantnutrition.org](mailto:info@plantnutrition.org)  
[www.plantnutrition.org/en/](http://www.plantnutrition.org/en/)

### 4. Simposio Latinoamericano de Canola

**Organiza** : EMBRAPA TRIGO - ABRASCANOLA  
**Lugar** : Passo Fundo, Brasil  
**Fecha** : Agosto, 20-22, 2013  
**Información** : [falecom@abrascanola.com](mailto:falecom@abrascanola.com)  
[www.cnpt.embrapa.br/eventos](http://www.cnpt.embrapa.br/eventos)

### 5. Cumbre Mundial de Cacao

**Organiza** : APROCAFA - ANECACAO  
**Lugar** : Guayaquil, Ecuador  
**Fecha** : Agosto, 26-28, 2013  
**Información** : [info@expoplaza.ec](mailto:info@expoplaza.ec)  
[www.expoplaza.ec/ferias/cacao/descripcion](http://www.expoplaza.ec/ferias/cacao/descripcion)

### 6. Acorbat Brasil 2013

**Organiza** : Acorbat Internacional  
**Lugar** : Fortaleza, Ceará, Brasil  
**Fecha** : Septiembre, 9-13, 2013  
**Información** : [acorbat2013@frutal.org.br](mailto:acorbat2013@frutal.org.br)  
[www.acorbatinternacional.org](http://www.acorbatinternacional.org)

### 7. Simposio Internacional Manejo de Materia Orgánica y Uso de Compost en Horticultura

**Organiza** : IUSS  
**Lugar** : Santiago, Chile  
**Fecha** : Octubre, 21-24, 2013  
**Información** : Universidad Técnica Santa María  
[ishs2013chile@usm.cl](mailto:ishs2013chile@usm.cl)  
[www.compost-for-horticulture.com](http://www.compost-for-horticulture.com)

### 8. Reunión Anual de la ASA, CSSA y SSSA "El Agua, los Alimentos, la Energía, y la Innovación para un Mundo Sostenible"

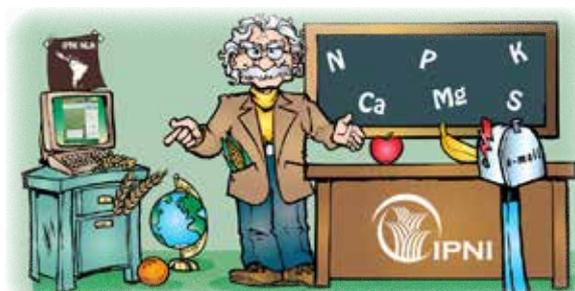
**Organiza** : ASA - CSSA - SSSA  
**Lugar** : Tampa Fl, EE.UU.  
**Fecha** : Noviembre, 3-6, 2013  
**Información** : [www.agronomy.org/meetings](http://www.agronomy.org/meetings)

### 9. XX Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo

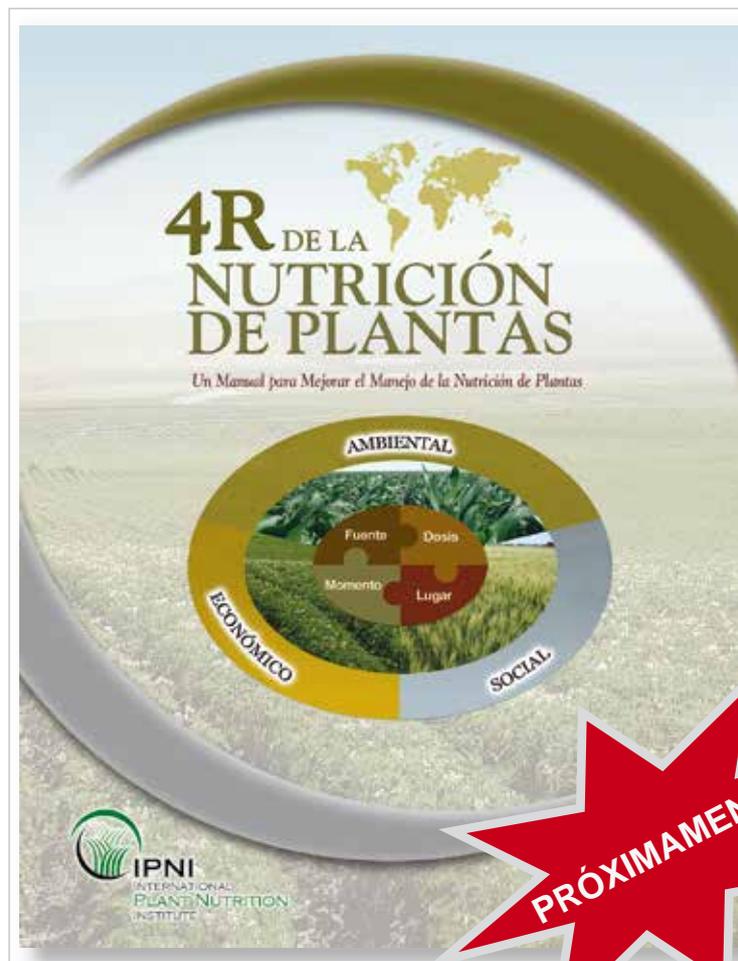
**Organiza** : IUSS  
**Lugar** : Jeju, Corea  
**Fecha** : Junio, 8-13, 2014  
**Información** : Telf.: (44) 01224 498200  
[www.iuss.org](http://www.iuss.org)

### 10. XX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo

**Organiza** : SLCS - SPCS  
**Lugar** : Cuzco, Perú  
**Fecha** : Noviembre, 9-15, 2014  
**Información** : [jalegre@lamolina.edu.pe](mailto:jalegre@lamolina.edu.pe)  
[www.slcs.org.mx](http://www.slcs.org.mx)



# ¡NUEVO MANUAL!



El concepto de los 4R, los 4 Requisitos, del **"MANEJO RESPONSABLE DE NUTRIENTES"** es un enfoque nuevo e innovador para las mejores prácticas de manejo de los fertilizantes adoptado por la industria mundial de fertilizantes. Este enfoque considera dimensiones económicas, sociales y ambientales del manejo de nutrientes y es esencial para la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. El concepto es simple—aplicar la fuente correcta de nutrientes, en la dosis, el momento y el lugar correctos—pero la implementación usa el conocimiento en forma intensiva y es específica para cada sitio. El IPNI desarrolló este manual para explicar el concepto de los 4R del Manejo Responsable de Nutrientes y para dar una idea general de los principios científicos que definen los cuatro "Requisitos". Este manual no intenta educar al lector acerca de los conceptos básicos de la fertilidad del suelo y la nutrición de plantas, sino más bien ayudarlo a adaptar e integrar esos principios fundamentales hacia un método integral de manejo de nutrientes, que satisfaga el criterio de sostenibilidad.

El manual incluye capítulos sobre los principios científicos que sostienen cada uno de los 4R con las prácticas de manejo relacionadas. Se discuten, además, la adopción de prácticas de campo y enfoques para la planificación del manejo de nutrientes la medición del desempeño relacionado a la sostenibilidad. La mayoría de los capítulos incluye módulos que desarrollan estudios de casos de todo el mundo, ilustrando varias aplicaciones del concepto. Los estudios de casos que se presentan demuestran la universalidad de la aplicación del Manejo Responsable de Nutrientes a través de los 4R en sistemas de cultivos diversos, desde pequeñas empresas a grandes establecimientos y plantaciones.

**Para más información contactar al IPNI:**

**Teléfono : (593) 2246 3175      E-mail : [aormaza@ipni.net](mailto:aormaza@ipni.net)**

**Web : <http://nla.ipni.net>**

## Publicaciones Disponibles IPNI-Norte de Latinoamérica

Título de la Publicación	Costo (U\$S)
<p><b>Manual de Arroz. Desórdenes Nutricionales y Manejo de Nutrientes:</b> Esta publicación contiene información que permite desarrollar estrategias de manejo nutricional y recomendaciones de fertilización del arroz cultivado en regiones tropicales y subtropicales.</p> <p><b>Guía Práctica para el Manejo de Nutrientes en Arroz:</b> Contiene una discusión concisa y muy práctica de las estrategias de manejo nutricional y recomendaciones de fertilización del arroz cultivado en regiones tropicales y subtropicales. Excelente herramienta de apoyo en el contacto diario con los agricultores.</p>	45.00
<p><b>Palma de Aceite. Manejo para Rendimientos Altos y Sostenidos:</b> La palma de aceite es uno de los cultivos con mayor expectativa de crecimiento a nivel mundial, existe una gran demanda entre los palmicultores y agrónomos por conocimientos y publicaciones sobre su manejo adecuado.</p>	45.00
<p><b>Guía de Campo, Serie en Palma Aceitera, Volumen 1: Vivero.</b> Guía de campo preparada específicamente para uso práctico en el manejo diario de la palma aceitera. El volumen 1 cubre el manejo del vivero para producir plántas de calidad que deben estar disponibles para la siembra en el campo en el momento requerido.</p> <p><b>Guía de Campo, Serie en Palma Aceitera, Volumen 2: Fase Inmadura.</b> Guía de campo preparada específicamente para uso práctico en el manejo diario de la palma aceitera. El volumen 2 cubre el manejo de la fase inmadura de la plantación para lograr una población uniforme de palmas productivas en cada bloque del campo.</p> <p><b>Guía de Campo, Serie en Palma Aceitera, Volumen 3: Fase Madura.</b> Guía de campo preparada específicamente para uso práctico en el manejo diario de la palma aceitera. El volumen 3 cubre el manejo de la fase madura de la plantación para lograr rendimientos sostenidos de racimos de fruta fresca a través de toda la etapa productiva del cultivo.</p>	45.00
<p><b>Manual Internacional de Fertilidad de Suelos:</b> Publicación didáctica sobre uso y manejo de suelos y fertilizantes con datos y ejemplos de diferentes partes del mundo</p>	15.00
<p><b>Uso Eficiente de Nutrientes:</b> Esta publicación resume el estado del conocimiento con respecto a la eficiencia de uso de nutrientes en las Américas y discute el contexto contemporáneo dentro del cual se deben manejar los nutrientes.</p>	15.00
<p><b>Nutrición y Fertilización del Mango:</b> Esta publicación ofrece información básica para el manejo de la nutrición y fertilización del mango tomando en cuenta las particulares características de desarrollo de este cultivo en el trópico.</p>	15.00
<p><b>Manual de Nutrición y Fertilización de Pastos:</b> Esta publicación ofrece a las personas envueltas en la producción ganadera una visión amplia del potencial productivo, de los requerimientos nutricionales y de los factores limitantes impuestos por el ambiente tropical a la producción de forrajes.</p>	10.00
<p><b>Nutrición de la Caña de Azúcar:</b> Este manual de campo es una guía completa para la identificación y corrección de los desórdenes y desbalances nutricionales de la caña de azúcar. El tratamiento completo de la materia y las excelentes ilustraciones hacen de este manual una importante herramienta de trabajo en la producción de caña.</p>	8.00
<p><b>Estadística en la Investigación del Uso de Fertilizantes:</b> Publicación que presenta conceptos actuales de diseño experimental e interpretación estadística de los datos de investigación de campo en el uso de fertilizantes.</p>	6.00

Vea el catálogo completo de publicaciones del IPNI en <http://nla.ipni.net>