

# MEJORES PRÁCTICAS DE MANEJO PARA LA NUTRICIÓN DEL CULTIVO DE COLZA-CANOLA: UNA REVISIÓN

Juan Pablo Burzaco<sup>1</sup>, Ignacio A. Ciampitti<sup>2</sup> y Fernando O. García<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Agronomía, UBA, Buenos Aires, Argentina. <sup>2</sup>IPNI Cono Sur, Acassuso, Buenos Aires, Argentina.

burzaco@agro.uba.ar, fgarcia@ipni.net

## Introducción

Los incrementos sostenidos en los requerimientos de biocombustibles han llevado a un aumento en la demanda de aceites vegetales, mayoritariamente de soja, colza y palma aceitera, y se espera un incremento en la producción mundial del cultivo de colza para suplir la demanda creciente del mundo. Para la campaña 2007/08, la producción mundial de colza fue de 48.6 millones de toneladas, ocupando el segundo lugar en la producción de oleaginosas, después del cultivo de soja, el cual presentó una producción mundial de 222.5 millones de toneladas (FAO, 2009). En Argentina, en el año 2007, se cosecharon un total de 13766 ha de colza con una producción de 21240 tn en las provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba y La Pampa (SAGPYA, 2009). Analizando el decenio 1998-2007, la superficie cosechada se ha incrementado un 625% (de 2200 ha a 13766 ha), aunque esta tendencia no fue sostenida año a año, sino que se registraron disminuciones de la superficie total cosechada con respecto al año anterior en los años 2001 y 2005 (SAGPYA, 2009). Por su parte, en Chile este cultivo reviste gran importancia en la producción agrícola y en su economía, destinándose 17250 ha para el cultivo de colza y obteniéndose una producción total de 66000 toneladas de grano (Casanueva, 2008). Dado que el cultivo de colza requiere elevadas cantidades de nitrógeno (N), azufre (S) y fósforo (P), siendo necesario a su vez, que exista un balance en los niveles de nutrientes aportados (Casala, 2008), la nutrición integra uno de los aspectos fundamentales para la producción exitosa de este cultivo.

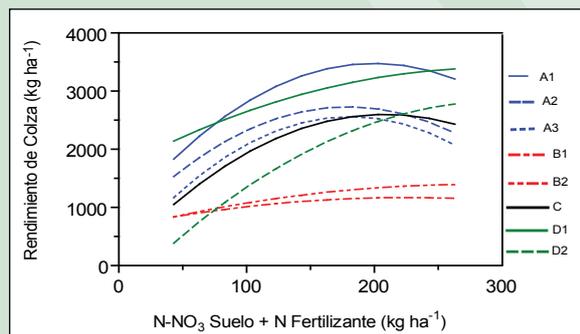


Figura 1. Rendimiento del cultivo de colza, expresado en  $\text{kg ha}^{-1}$ , en función del N de  $\text{NO}_3^-$  del suelo medidos hasta los 30 cm de profundidad (excepto para D1 y D2, con datos de N para una profundidad de hasta 15 cm) sumado al N aportado por el fertilizante. Cada letra o color representa la curva obtenida a partir de datos de un mismo trabajo A: Karamanos et al., 2005; B: Ozer, 2003; C: Jackson, 2000; D: Bullock y Sawyer, 1991.

En este artículo se realiza una revisión de la nutrición del cultivo de colza-canola para lograr una maximización de la eficiencia de uso de los nutrientes. En las próximas secciones se discutirán brevemente las mejores prácticas de manejo (MPM) en el uso de los nutrientes. Las MPMs en el uso de fertilizantes se basan en la aplicación de una dosis correcta con la fuente, momento y forma apropiados (Bruuselman et al., 2008).

## Mejores Prácticas de Manejo de los Principales Nutrientes

### 1. Nitrógeno

#### 1.1. Requerimientos de N y Dosis Correcta

El rendimiento y absorción de nutrientes de colza están altamente relacionados con la fertilidad nitrogenada (Jackson, 2000), como puede ser observado en la Figura 1 para distintos cultivares y situaciones detallados en la Tabla 1. A su vez, este cultivo posee una demanda elevada de N y un mayor umbral de requerimientos que los cereales (Colenne et al., 1998). Sin embargo, un aporte excesivo de N puede ocasionar un crecimiento vegetativo en exceso, haciéndolo más propenso al vuelco, alargamiento del ciclo, mayor susceptibilidad a enfermedades como *Phoma sp.* (Iriarte, 2002) y una disminución en el porcentaje de aceite (Agosti y Miralles, 2007; Agosti et al. 2008), además de los efectos nocivos que podrían ocasionar aplicaciones en exceso sobre el medio ambiente. Por tales motivos, escoger la dosis correcta y el momento de aplicación son aspectos de vital importancia

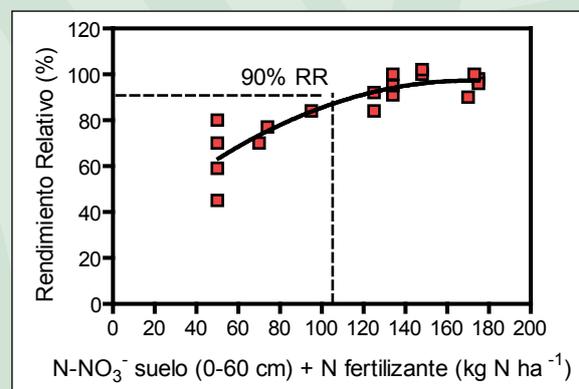


Figura 2. Rendimiento relativo del cultivo de colza en función del nivel de N disponible en suelo, en forma de  $\text{N-NO}_3^-$  de 0-60 cm del perfil, sumado al N aportado por el fertilizante. AACREA Zona Mar y Sierras. Adaptado de Gonzalez Montaner y Di Napoli (2009).

para lograr un cultivo de colza exitoso (Holmes, 1980). En cuanto a los requerimientos de N por parte del cultivo, se encuentran distintos valores en base a estimaciones realizadas a partir de la bibliografía que van desde 48 kg de N tn<sup>-1</sup> grano (Rubio et al., 2007) hasta 70 kg de N tn<sup>-1</sup> grano (Valetti, 1996). No obstante, los valores más frecuentes de requerimientos de N se hallan entre ca. 54 y 60 kg de N tn<sup>-1</sup> de grano (Rubio, 1996; Colenne, 2002; Karamanos et al., 2005; Ciampitti y García, 2007; Rubio et al. 2007; Scheiner, 2008).

En la Tabla 1 se presenta la bondad de ajuste en cada uno de los trabajos revisados de la bibliografía evaluada en la Fig. 1, así como las características de sitio, profundidad de muestreo, materia orgánica (MO), textura, pH, contenidos de N de nitratos (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) y S de sulfatos (S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) disponibles en el momento de siembra. Como se puede observar en la Figura 1, la variación del potencial de rendimiento del cultivo de colza no responde a ningún patrón específico de características de suelo. Sin embargo, las curvas B1 y B2 se corresponden con el menor rendimiento real alcanzado del cultivo de colza en estos ensayos (Fig. 1), y con los niveles de MO más bajos encontrados en los trabajos revisados (Tabla 1). Estos menores niveles de MO nos permiten hipotetizar una separación de ambientes, respondiendo a ambientes de menor productividad y consecuentemente, presentando menores rendimientos potenciales del cultivo. En este trabajo, Ozer (2003) sugiere además que los bajos rendimientos estuvieron determinados por la corta estación de crecimiento y la elevada altitud (1950 m.s.n.m.) a la que se sembraron los ensayos.

Información local obtenida a partir de los ensayos realizados por el grupo CREA en la zona de Mar y Sierras (sudeste de la provincia de Buenos Aires) permitieron observar que los modelos de fertilización nitrogenada para trigo muestran una respuesta similar al cultivo de colza, pero con rendimientos de este último cultivo de 40% respecto del rendimiento de trigo. Así, en la rotación trigo-colza, si en un ambiente se espera obtener un rendimiento promedio de 5.5 tn ha<sup>-1</sup> de trigo, el modelo de fertilización nitrogenada a utilizar para la colza sería de 150-x (donde x representa el N mineral disponible en el suelo de 0-60 cm de profundidad), obteniéndose rendimientos de 2.2 tn ha<sup>-1</sup> de colza (González Montaner, 2009).

En la Figura 2 se puede observar el rendimiento relativo (RR) del cultivo de colza en función de la disponibilidad de N al momento de la siembra (0-60 cm del perfil de suelo), sumado al N aportado mediante fertilizantes nitrogenados. Para este ensayo en particular, se puede observar que el 90% de RR se logra con una disponibilidad de N del suelo + N del fertilizante de entre 100-120 kg N ha<sup>-1</sup> (Fig. 2). Este rango umbral puede variar con el cultivar o variedad de colza utilizada y el rendimiento potencial del cultivo que dependerá de las condiciones climáticas, de manejo y la fertilidad natural de la región.

### 1.2. Momento Correcto

El máximo requerimiento de N en colza se produce cuando se alcanza el 50% de floración, por lo cual se recomienda aplicar este nutriente en estados vegetativos

Tabla 1. Bondad de ajuste encontrado en cada trabajo (r<sup>2</sup>), fuente, profundidad de muestreo y características del suelo al momento de la siembra del cultivo de colza.

Curva	Cultivar	R <sup>2</sup>	Profundidad (cm)	MO (%)	Textura	pH	N-NO <sub>3</sub> (kg/ha)	S-SO <sub>4</sub> (kg/ha)	Fuente
A1	InVigor 2273	0.97	0-15 15-30	3.6	Franco	6.2 (1)	23	15	Karamanos et al, 2005
A2	InVigor 2153	0.79				6.7 (1)	20	13	
A3	Innovator	0.74							
B1	Tower & Lirawell	0.97	0-30	1.6	Franco	s/d	32.5	s/d	Ozer, 2003
B2	Tower & Lirawell	0.95							
C	Westar	0.99	0-30 30-60	2.2	Franco-fina	6.9 (2)	5 2	50 64	Jackson, 2000
D1	Lirabon	0.99	0-15	2.1	Franco-limoso	6.3 (1)	35	s/d	Bullock y Sawyer, 1991
D2		0.99		3.9		6.2 (1)	50		

<sup>1</sup>pH medido en una suspensión 1:2 suelo:agua; <sup>2</sup>pH medido en pasta. s/d= sin datos.

Tabla 2. Cultivar, bondad de ajuste de la regresión (r<sup>2</sup>), textura, porcentaje de materia orgánica (MO %), pH medido en una suspensión 1:2 suelo:agua, profundidad de muestreo, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> en kg ha<sup>-1</sup> medidos a la siembra y para los años 2003, 2004 y 2005.

Cultivar	R <sup>2</sup>	Textura	MO (%)	pH 1:2	Años evaluados					
					2003		2004		2005	
					N-NO <sub>3</sub> (kg/ha)	S-SO <sub>4</sub> (kg/ha)	N-NO <sub>3</sub> (kg/ha)	S-SO <sub>4</sub> (kg/ha)	N-NO <sub>3</sub> (kg/ha)	S-SO <sub>4</sub> (kg/ha)
Arid	0.98				19	13	33	12	33	11
Amulet	0.98	Franca	3.1	6.6	36	13	65	8	9	7
InVigor 2663	0.97				23	22	26	18	13	18

tempranos (i.e. roseta de 4 a 6 hojas), para sincronizar la oferta del nutriente con la demanda del cultivo (Iriarte, 2002). Como se puede observar en la Figura 3, la fracción acumulada de N con respecto al N total absorbido oscila entre 0.58 y 0.78 hacia inicios de floración (IF) para dosis de 150 y 50 kg N ha<sup>-1</sup>, respectivamente. En esa misma figura se puede observar que hacia IF, el cultivo de colza lleva acumulado un 30% de la materia seca total a cosecha. Esto nos permite concluir que la tasa de absorción de N presenta un desfase respecto al ritmo de acumulación de materia seca, presentando la acumulación de N una dinámica más rápida respecto a la tasa de acumulación de materia seca. Hacia fines de floración (FF), la materia seca acumulada alcanza aproximadamente el 80% respecto al total a cosecha, mientras que el N acumulado se encuentra en valores cercanos por lo cual, en el momento fenológico de FF, las tasas de acumulación de materia seca y N se igualan debido a un ritmo proporcionalmente mayor de acumulación de materia seca respecto a la absorción de N (Fig. 3).

En estudios en Argentina, para la zona del sudeste de la provincia de Buenos Aires, se observó que debe aplicarse un 60% del fertilizante a la implantación y el 40% restante en roseta, previo al estado fenológico de entrenudos visibles (C2) (Gonzalez Montaner, 2009), para obtener los mejores rendimientos del cultivo de colza y maximizar la eficiencia de uso del nutriente. Aplicaciones desbalanceadas hacia la siembra aumentan el consumo de agua en roseta, provocando un crecimiento exagerado que genera problemas de abastecimiento hídrico para las etapas finales (Fig. 4). Por otra parte, en la localidad de Mulchén de la VIII Región de Chile, en Grupos de Transferencia Tecnológica, se aplican 50 kg de N ha<sup>-1</sup> a la siembra, 50 kg de N ha<sup>-1</sup> dos meses posteriores a la siembra y 50 kg de N ha<sup>-1</sup> tres meses y medio luego de la siembra como práctica recomendada de nutrición nitrogenada del cultivo de colza (Zagal et al., 2001).

### 1.3. Forma Correcta

Si la fertilización se realiza en el momento de la siembra, no se debería ubicar el fertilizante en contacto directo con la semilla para evitar efectos de fitotoxicidad, sino que se recomienda aplicarlo en bandas o por lo menos a 5 cm de las semillas (Hocking et al. 2003; Johnston et al. 2003; Ciampitti et al. 2006; Alonso, 2007). Como se puede observar en la Figura 5, a medida que se incrementa la dosis de N colocada junto a la semilla, disminuyen los porcentajes de germinación y aumentan los días hasta emergencia,

debido a un retraso en la germinación de las semillas. Esta tendencia se ve agravada en condiciones de baja humedad, por lo cual se espera que el efecto negativo de la ubicación del fertilizante junto a la semilla sea mayor en suelos con baja capacidad de retención de humedad.

En experiencias con otros cultivos, se pudo observar que la textura del suelo es importante en la expresión del efecto de fitotoxicidad en las semillas, ocurriendo mayores pérdidas en suelos con baja capacidad de intercambio catiónico (CIC), relacionados con mayores porcentajes de arena en su composición textural, como los suelos franco arenosos a arenosos (Ciampitti et al., 2006).

### 1.4. Fuente Correcta

Las fuentes nitrogenadas disponibles se encuentran en forma sólida (ej. urea), líquida (ej. UAN) o gaseosa (ej. amoníaco anhidro). Experimentos que analizaron el efecto de distintas fuentes nitrogenadas sobre el rendimiento y la absorción de N por el cultivo, no mostraron diferencias significativas (Hocking et al., 1997; Behrens et al., 2001). Por lo tanto, se concluyó que es igualmente efectiva la utilización de urea, amoníaco anhidro o fuentes de nitrato (ej. nitrato de calcio), amonio (ej. sulfato amónico) o ambos (ej. nitrato de amonio) si la aplicación de fertilizantes nitrogenados se realiza correctamente, a la dosis, momento y ubicación correcta (IFA, 2009).

## 2. Azufre

### 2.1. Requerimientos de S y Dosis Correcta

Varios experimentos de campo han demostrado que la colza es uno de los cultivos más susceptibles a deficiencias de S (Aulakh et al., 1980; McGrath y Zhao, 1996; McGrath et al., 1996), encontrándose con frecuencia una respuesta positiva en rendimiento al agregado de S mediante la fertilización en suelos deficientes (Janzen y Bettany, 1984; Nuttall et al., 1987). En ensayos realizados por Mahli et al. (2007), dosis de 20 kg de S ha<sup>-1</sup> permitieron alcanzar el 90% del rendimiento máximo del cultivo de colza, independientemente del cultivar (Fig. 6). Por otro lado, un incremento en la disponibilidad de S se asoció con un mayor contenido de aceite en grano (Chaubey et al., 1992; Dubey et al., 1994; Aulakh et al., 1995; Asare y Scarisbrick, 1995; McGrath y Zhao, 1996; Ahmad y Abdin, 2000), aunque de menor calidad debido al incremento en el contenido de glucosinolatos en el aceite (Fismes et al., 2000; Szulc, 2003).

Respecto a los requerimientos de S del cultivo de colza,

Tabla 3. Nivel crítico para diferentes métodos de diagnóstico de S en colza, determinado en hojas jóvenes. Estados de crecimiento según la escala de Silvestre Bradley y Makepeace (1984). Tomada de Reussi Calvo y Echeverría (2009).

Índice	Estado de crecimiento			
	3.5-3.6	3.9-4.2	4.2-4.6	4.6-4.8
S total ( $\mu\text{mol g}^{-1}$ MS)	145	88	115	97
Sulfato ( $\mu\text{mol g}^{-1}$ MS)	36	19	35	24
Glutation ( $\mu\text{mol g}^{-1}$ MS)	2.6	1.3	1.0	0.9
Relación N:S	10.0	9.6	7.8	7.2
Relación malato:sulfato	1.2	1.0	0.8	1.1

Escala: 3.6 = primera flor sobre el tallo, 4.1 = primeras flores abiertas, 4.2-4.6 = 20-60 % de brotación y 4.6-4.8 = 60-80 % de brotación.

un valor promedio es de 12 kg tn<sup>-1</sup> grano, que supera los requerimientos de los cereales (ej. trigo y cebada, cuyos requerimientos son de 5 y 4 kg S tn<sup>-1</sup> grano) (Ciampitti y García, 2007). Aunque un análisis de suelo puede aportar información sobre la disponibilidad de S para las plantas, no se han encontrado correlaciones elevadas entre el S extractable y el rendimiento obtenido (Jones, 1986, Zhao y McGrath, 1994), por lo cual el S extractable carece de valor como herramienta para diagnosticar la necesidad de fertilización azufrada. La misma baja correlación fue encontrada por Casala (2008), quien no obstante, observó una alta relación entre rendimiento y el cociente N:S aplicados, el cual debe ser en promedio 6:1, pasando de 5:1 en suelos

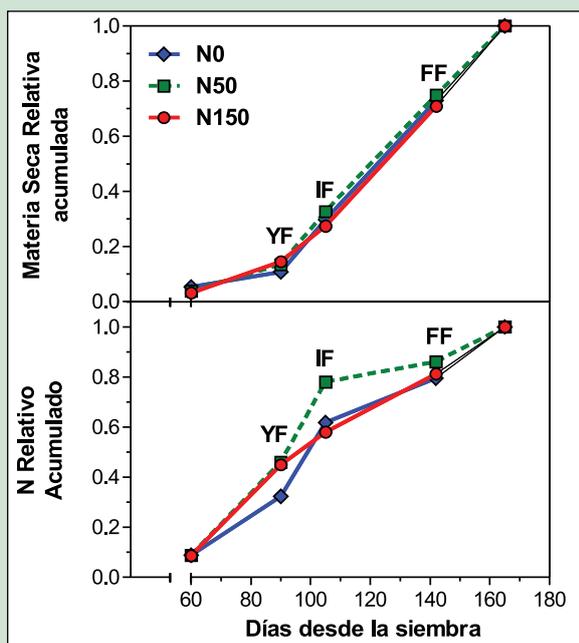


Figura 3. Materia Seca Relativa acumulada (materia seca acumulada al momento de muestreo / total acumulada a madurez fisiológica) (a) y N relativo acumulado (N acumulado al momento de muestreo/ total absorbido a madurez fisiológica) (b), en función de los días transcurridos desde la siembra. YF: Yema Floral; IF: Inicios de Floración; FF: Fin de Floración. Elaborado a partir de datos obtenidos de Hocking et al, 1997.

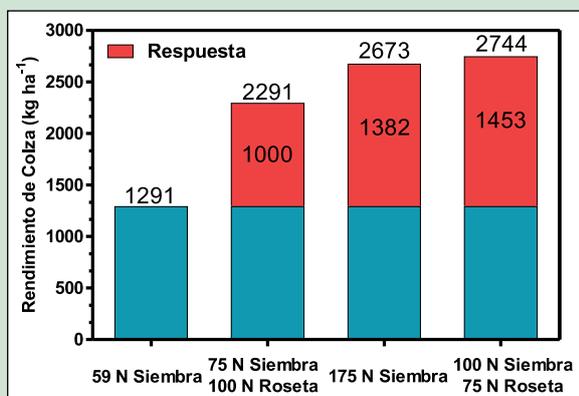


Figura 4. Rendimiento de colza para distintos niveles y momentos de aplicación de N. AACREA Zona Mar y Sierras. Adaptado de Gonzalez Montaner y Di Napoli (2009).

con mayores deficiencias de S (ej. lotes con muchos años de agricultura) o de 7:1 en suelos con buena provisión de S. Iriarte (2002) propone una relación de 5:1, y afirma que se podría esperar una respuesta a la fertilización azufrada en suelos con bajos contenidos de materia orgánica, menos de 6 ppm de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> antes de la siembra (0-60 cm), textura arenosa y lotes provenientes de agricultura continua.

En la Tabla 2 se presenta la bondad de ajuste presentada en cada cultivar de colza evaluado en la Figura 6, y las características de sitio, profundidad de muestreo, materia orgánica (MO), textura, pH y contenidos de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> disponibles en el momento de siembra para los años 2003, 2004 y 2005.

En la Tabla 3 se presenta el nivel crítico para diferentes indicadores y momentos del ciclo del cultivo (Reussi Calvo y Echeverría, 2009). Como se mencionó, los niveles críticos para S total, sulfato y glutation son muy variables con el estado de crecimiento del cultivo, lo que limita su utilización en recomendaciones de rutina. La relación malato:sulfato mostró mayor estabilidad en su nivel crítico (Tabla 3) y por lo tanto, podría ser utilizada como método de diagnóstico de S. Blake Kalff et al. (2004) propusieron el uso de una relación malato:sulfato crítica de 1.5 para colza. No obstante, es necesario realizar la validación de esta metodología en suelos de la región pampeana para confirmar los resultados obtenidos por dichos autores.

En estudios realizados en nuestro país y llevados a cabo por la región CREA Mar y Sierras (Gonzalez Montaner, 2009), se evaluó la interacción del N y el S en el rendimiento del cultivo de colza (Fig. 7a). El S es un factor limitante decisivo; por lo tanto, en ausencia de S, el incremento en la disponibilidad de N a través de fertilizantes nitrogenados deprime el rendimiento del cultivo (Fig. 7a). La fertilización con 15 kg de S es imprescindible, aumentándose a niveles de 20 o 30 kg/ha en situaciones de estrés azufrado y mayores rendimientos potenciales, con valores de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> < 8 ppm y S total < 260 ppm (Gonzalez Montaner, 2009). Por otro lado, podemos observar la respuesta del cultivo de colza a la aplicación de N combinada con 10 y 20 kg de S ha<sup>-1</sup> en la Figura 7b, que comprende 7 ensayos realizados en la zona de Tres Arroyos y 9 de Julio durante las campañas

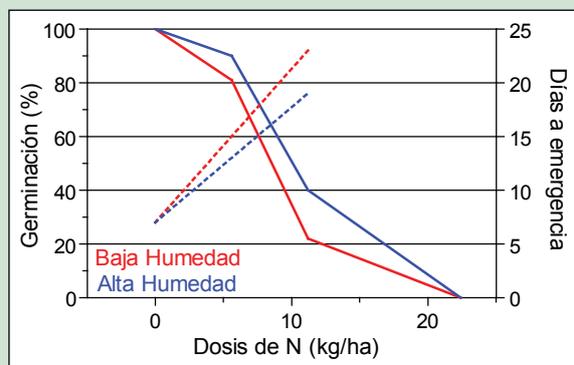


Figura 5. Porcentaje de germinación (línea llena) y días a emergencia (línea punteada) en función de la dosis de N aplicada junto a la semilla, expresada en kg N/ha, para un cultivo de colza sembrado en condiciones de alta (azul) o baja (rojo) humedad en el suelo. Elaborado en base a datos obtenidos de Canola Council (2009).

2005/06, 2006/07 y 2007/08 (Zamora y Massigoge, 2008). El efecto del agregado de N sobre la respuesta a la fertilización nitrogenada fue significativo. La respuesta se incrementó ante el agregado de N en todos los sitios y los mayores rendimientos se obtuvieron para las dosis de 120 kg N ha<sup>-1</sup> en dos sitios, 60-90 kg N ha<sup>-1</sup> en dos sitios y 30 kg N ha<sup>-1</sup> en los tres sitios restantes. Las respuestas fueron afectadas principalmente por la campaña agrícola evaluada y el contenido de nitratos a la siembra (potencial del sitio), y el N fue un nutriente clave para aumentar los rendimientos del cultivo de colza. En estos ensayos, la respuesta al agregado de S fue lineal y constante, pero no tuvieron correlación con los niveles de sulfato del suelo al momento de la siembra. En la Figura 7b se puede observar que cuando el N se utilizó solo, se alcanzaron respuestas positivas hasta el nivel de 150 kg N/ha (suelo + fertilizante), mientras que cuando se combinó con S se obtuvieron respuestas hasta el nivel de N de 200 kg N/ha (suelo + fertilizante) (Zamora y Massigoge, 2008).

### 2.2. Momento Correcto

El momento de aplicación del fertilizante azufrado dependerá de la fuente empleada, así, cuando se emplea S elemental, el mismo debe aplicarse con anticipación al momento de máximo requerimiento del cultivo, ya que debe oxidarse primero para que el cultivo lo pueda absorber en forma de sulfatos. El tamaño de las partículas del S elemental es de gran importancia en este proceso, ya que partículas de tamaño pequeño (< 150 micrones) se oxidan más rápidamente. Riley et al. (2000) encontraron que el S elemental con un tamaño de partícula de 5-8 μm puede ser utilizado como una fuente efectiva de S para disminuir los efectos de la deficiencia de este elemento dentro del año de aplicación en 6 tipos distintos de suelos en el Reino Unido. Por otra parte, aplicaciones de S en forma de sulfatos estarán inmediatamente disponibles para su absorción por parte del cultivo, por lo cual la ventana de aplicación de fertilizantes se puede extender hasta floración temprana si se detectan deficiencias en el cultivo. La International Fertiliser Association-IFA (2009) recomienda la utilización de S de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> como forma de S inmediatamente disponible para el cultivo de colza-

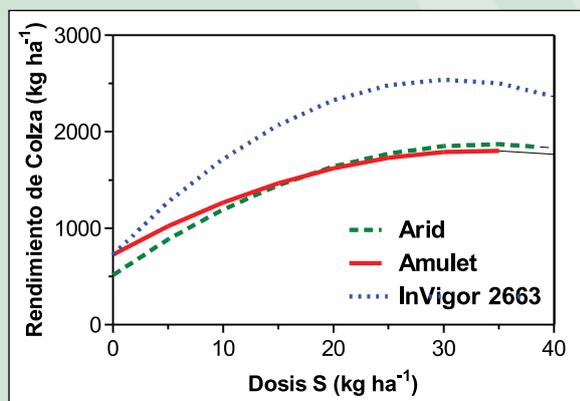


Figura 6. Rendimiento de colza para 3 cultivares (Arid, Amulet, InVigor 2663) en función de la dosis de S aplicada (kg ha<sup>-1</sup>), promedio de 3 años (2003, 2004 y 2005). Elaborado en base a datos de Mahli et al. (2007).

canola, pero debe tenerse en cuenta que debido a la movilidad intermedia de los SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> en el suelo (respecto a los nitratos y fosfatos), la ocurrencia de precipitaciones elevadas en forma posterior a la fertilización puede ocasionar la lixiviación de los SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> y consecuentemente, incrementar el peligro de contaminación ambiental.

### 2.3. Forma Correcta

La ubicación del fertilizante azufrado está estrechamente relacionada con la fuente empleada. Cuando se emplea S elemental, se recomienda aplicarlo al voleo, mientras que cuando se emplea una fuente sulfatada (ej. sulfato de amonio) la eficiencia de absorción del fertilizante no difiere entre aplicaciones al voleo y/o posterior incorporación o aplicación en bandas. Aún así, la aplicación en bandas puede favorecer la competencia del cultivo sobre las malezas por aplicar el S cercano al espacio de suelo explorado por las raíces del cultivo (Hall, 2001).

### 2.4. Fuente Correcta

Las fuentes azufradas disponibles se encuentran en forma sólida (ej. S elemental, yeso) y líquida (ej. tiosulfato de amonio). Es posible que la respuesta del cultivo por kg de nutriente aplicado no varíe sustancialmente ante aplicaciones de formas sólidas o líquidas realizadas en el momento de la siembra del cultivo o en estadios tempranos del mismo. Tal como fue mencionado con antelación, aplicaciones de

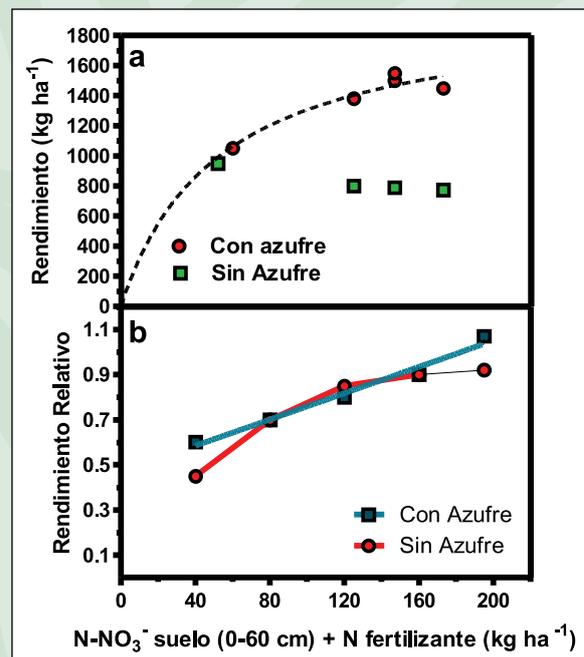


Figura 7. Rendimiento relativo de colza en función del nivel de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en suelo + N fertilizante, con y sin aplicación de S, (a) Tres Arroyos, Pedersen 2005. S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> = 4,6 ppm; CREA Zona Mar y Sierras (Adaptado de Gonzalez Montaner y Di Napoli, 2009) y (b) Promedio de 3 ensayos campaña agrícola 2007/08, Tres Arroyos y 9 de Julio, los niveles de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> fueron menores a 14 ppm para los primeros 0-20 cm del perfil de suelo (Adaptado de Zamora y Massigoge, 2008).

Se elemental se deben realizar con una mayor anticipación al momento de siembra del cultivo para garantizar que alguna proporción del S contenido en el fertilizante pueda estar disponible para el cultivo, por lo cual se recomiendan aplicaciones con una anticipación de un año previo al momento de planificación de siembra de cultivo.

### 3. Fósforo

#### 3.1. Requerimientos de P y Dosis Correcta

La colza posee elevados requerimientos de P que oscilan entre 13 y 17 kg de P tn<sup>-1</sup> grano, calculados a partir de información de diversos autores (Rubio 1996; Ciampitti y García, 2007; Rubio et al. 2007; Scheiner, 2008). Dichos requerimientos son superiores a los de otras oleaginosas como soja y girasol, y promedian entre 7 y 11 kg de P tn<sup>-1</sup> grano según información reportada por Ciampitti y García (2007). En experimentos realizados por Lewis (1987) en los que se analizó el efecto del nivel de P extractable (obtenido mediante el análisis de Colwell, 1963) sobre el rendimiento del cultivo de colza (Fig. 8), se encontró que el valor crítico de P fue de 20 ppm para el sitio Mundulla; mientras que para el otro sitio, Millicent, fue de ca 45 ppm, siendo la diferencia entre ambos sitios el tipo de suelo, Hapludol para Mundulla y Argiudol para Millicent. De lo anterior se desprende que el nivel de P extractable en el suelo se puede emplear para determinar la probabilidad de respuesta a la fertilización fosforada, pero el valor umbral puede variar ante modificaciones en el tipo de suelo y clima. A su vez, hay que tener en cuenta que los valores obtenidos de P extractable difieren de acuerdo al método empleado para su estimación.

En estudios realizados por los grupos CREA de Mar y Sierras, en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, Gonzalez Montaner y Di Napoli (2009) observaron que la fertilización fosforada en colza se puede manejar de igual manera que para el cultivo de trigo, pero con niveles umbrales de P extractable Bray-1 mayores a 15 ppm. Debajo de estos niveles umbrales, la probabilidad de respuesta a la fertilización fosfatada se incrementa y, por encima del mismo, la probabilidad disminuye, en términos de respuesta física (ej. rendimiento) y retorno económico del cultivo. Con valores superiores a 15 ppm de P Bray-1 se recomienda fertilizaciones de arranque (ej. 60 kg de FDA o Superfosfato Simple, SFS) por su importancia en el desarrollo inicial, limitando los daños de helada en implantación (Gonzalez Montaner, 2009).

Tabla 4. Requerimientos de los nutrientes potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), manganeso (Mn), hierro (Fe), zinc (Zn), boro (B) y cobre (Cu) (Ciampitti y García, 2007).

Nutrientes	Requerimientos (kg nutriente/tn grano)
K	65
Ca	33
Mg	10
Mn	0.43
Fe	0.21
Zn	0.15
B	0.09
Cu	0.05

#### 3.2. Momento Correcto

Aplicaciones al cultivo: En general, los fertilizantes fosfatados se aplican inmediatamente antes o al momento de la siembra del cultivo (ver Forma de aplicación).

Aplicaciones al suelo: En situaciones de manejo de la fertilización según el criterio de construcción y mantenimiento del nivel de P extractable del suelo, las aplicaciones pueden hacerse en años anteriores dada la elevada residualidad del P aplicado en condiciones de suelos no fijadores (Ciampitti et al., 2009). Esta estrategia permite:

- Construir niveles adecuados de P extractable,
- Aprovechar una oportunidad cuando las condiciones económicas sean favorables: precios bajos de fertilizantes y/o de alta rentabilidad de los cultivos,
- Omitir aplicaciones de P en momentos de condiciones económicas desfavorables, alto precio de fertilizante y/o baja rentabilidad de los cultivos.

#### 3.3. Forma Correcta

Si la fertilización se realiza en el momento de la siembra, no se debería ubicar el fertilizante en contacto directo con la semilla para evitar efectos de fitotoxicidad, sino que se recomienda aplicarlo en bandas o por lo menos a 5 cm de las semillas, y con buenas condiciones de humedad (Ciampitti et al., 2006). La colocación del fertilizante fosfatado junto a la semilla, a razón de 50 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, redujo significativamente el establecimiento de plantas en un 40 a 65%. Y si bien las plantas restantes compensaron esta reducción mediante una mayor producción de materia seca y ramas, el rendimiento obtenido en tres de cuatro sitios fue inferior al compararlo con fertilizaciones al voleo o en bandas, mientras que en uno de cuatro sitios fue similar (Hocking, 2003). El mismo autor, al comparar aplicaciones al voleo contra aplicaciones en banda, detectó diferencias significativas en rendimiento de acuerdo a la combinación año x sitio x tratamiento (i.e. voleo o bandeado) a favor de una u otra práctica; mientras que Ventimiglia (1992) en la localidad de 9 de Julio (provincia de Buenos Aires), obtuvo 2% más de rendimiento en aplicaciones de 20 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> bandeadas comparadas con aplicaciones de 40 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> al voleo para niveles de rendimiento que alcanzaron aproximadamente los 2500 kg ha<sup>-1</sup> de colza.

#### 3.4. Fuente Correcta

La disponibilidad de fuentes de fertilizantes fosfatadas en el mercado argentino es amplia y permite la elección de la misma según el precio por unidad de P, la eficiencia de cada fuente según la condición ambiental de aplicación, el abastecimiento y la logística de almacenaje y de aplicación (Ciampitti et al., 2009). La roca fosfórica puede ser utilizada como fertilizante fosfatado, pero se debe tener en cuenta su limitada solubilidad comparada con los fertilizantes comerciales. Usualmente no es efectiva en suelos alcalinos o cercanos a la neutralidad. La solubilidad en agua de los fertilizantes SFT, SFS, FDA y FMA es del 85-95%, del 100% para el PFA y del 0-10% para la roca fosfórica. Las fuentes líquidas de P podrían presentar una ventaja potencial sobre la presentación sólida en suelos calcáreos y alcalinos donde se pudo observar una mayor

difusión y disponibilidad (Ciampitti et al., 2009). Las compatibilidades de mezclas físicas son limitadas entre la urea y los superfosfatos o entre el FDA y los superfosfatos (incompatibles con elevado contenido de humedad libre). Cuando la humedad de la urea y de los superfosfatos es baja y/o se embolsa la mezcla, la reacción ocurre más lentamente y no representa un problema grave. Una recomendación práctica es procurar que las mezclas sean aplicadas lo antes posible luego de la recepción en el campo, evitando que el producto se humedezca, alterando sus propiedades y funcionamiento agronómico. Se debe considerar que las fuentes fosfatadas disponibles en el mercado presentan una eficiencia de uso similar cuando son aplicadas a dosis equivalentes y métodos comparables de aplicación; la mejor fuente es determinada por factores como contenido de otros nutrientes, disponibilidad del producto, preferencia, servicio de venta y por supuesto, precio por unidad de P (Ciampitti et al., 2009).

#### 4. Potasio, Calcio, Magnesio y Micronutrientes

##### 4.1. Requerimientos Nutricionales

En la Tabla 4 se presentan los requerimientos nutricionales para el cultivo de colza de potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), manganeso (Mn), hierro (Fe), zinc (Zn), boro (B) y cobre (Cu).

#### Conclusiones

El máximo requerimiento de N del cultivo de colza se produce cuando se alcanza el 50% de floración, por lo cual se recomienda aplicar este nutriente en estados vegetativos tempranos (i.e. roseta de 4 a 6 hojas), para sincronizar mejor la oferta del nutriente con la demanda del cultivo. En sistemas donde las precipitaciones entre la siembra y el estado de roseta del cultivo son escasas, se recomiendan aplicaciones divididas para evitar generar plantas exuberantes que promuevan un gran consumo de agua en las etapas iniciales del cultivo.

En cuanto al S, la colza es uno de los cultivos más susceptibles a deficiencias de S, y suele encontrarse una respuesta positiva en rendimiento al agregado de S. Dosis de 20 kg de S ha<sup>-1</sup> permiten alcanzar el 90% del rendimiento relativo del cultivo. Por otro lado, se debe considerar la fuerte interacción entre el N y el S, ya que la aplicación de la dosis mencionada podría incrementar en forma significativa los rendimientos a medida que se incrementa la disponibilidad de N en el suelo.

Para P, es escaso el conocimiento de umbrales de P extractable en suelo a escala nacional, pero se puede tomar como umbral de referencia valores de 15-20 ppm P Bray, a partir de los cuales la probabilidad de respuesta se incrementa con valores inferiores y disminuye con valores superiores a este umbral.

Para todos los nutrientes presentados en esta revisión, si la fertilización se realiza en el momento de la siembra, no se debería ubicar el fertilizante en contacto directo con la semilla para evitar efectos de fitotoxicidad, sino que se recomienda aplicarlo en bandas o por lo menos a 5 cm de las semillas, y con buenas condiciones de humedad. La implementación de las mejores prácticas de mane-

jo de los nutrientes para el cultivo de colza permitirá alcanzar rendimientos cercanos a la potencialidad de los sitios y realizar un manejo eficiente y racional de los nutrientes para el sistema productivo, en particular, y el medio ambiente, en general.

#### Referencias bibliográficas

- Agosti M.B. y D.J. Miralles.** 2007. Efecto del nitrógeno sobre el rendimiento y la calidad de canola. Workshop Internacional de Ecofisiología. 6 y 7 de Septiembre de 2007, Mar del Plata, Argentina. pp. 102-103
- Agosti M.B., D.P. Rondanini y D.J. Miralles.** 2008. Interacción nitrógeno x azufre sobre la calidad en canola (*Brassica napus*). XXVII Reunión Argentina de Fisiología Vegetal. 21 al 24 de Septiembre de 2008, Rosario, Argentina. PI 003. pp.52.
- Ahmad A. y M.Z. Abdin.** 2000. Effect of sulphur application on lipid, RNA and fatty acid content in developing seeds of rapeseed (*Brassica campestris* L.). *Plant Science* 152: 71-76.
- Alonso M.** 2007. Manejo del cultivo. *Agromercado*, Revista. Cuadernillo temático de Colza. N° 137. Abril 2007. p. 5-9.
- Asare E. y D.H. Scarisbrick.** 1995. Rate of N and S fertilisers on yield, yield components and seed quality of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Field Crops Research* 44: 41-46.
- Aulakh M.S., N.S. Pasricha y K.L. Ahuja.** 1995. Effect of N and S application on grain, oil yield, nutrient uptake and protein content in transplanted gobhi sarson (*Brassica napus* subsp. *oleifera* var. *annua*). *Indian Journal of Agricultural Science* 65: 478-482.
- Aulakh M.S., N.S. Pasricha y N.S. Sahota.** 1980. Yield, nutrient concentration and quality of mustard crops as influenced by nitrogen and sulphur fertiliser. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)* 94: 545-549.
- Behrens T., W.J. Horst y F. Wiesler.** 2001. Effect of rate, timing and form of nitrogen application on yield formation and nitrogen balance in oilseed rape production. *Plant nutrition – Food security and sustainability of agro-ecosystems*. 800-801 p.
- Blake Kalff M.M.A., F.J. Zhao, S.P. McGrath y P.J.A. Withers.** 2004. Development of the malate:sulfato ratio test for sulphur deficiency in winter wheat and oilseed rape. Project report N° 327. Home-Grown Cereals Authority, London. 45 p.
- Bruulsema T., C. Witt, F. García, S. Li, T. N. Rao, F. Chen y S. Ivanova.** 2008. A global framework for fertilizer BMPs. *Better Crops* 92(2): 13-15.
- Bullock D.G. y J.E. Sawyer.** 1991. Nitrogen, Potassium, Sulphur, and Boron Fertilization of Canola. *Journal of Agricultural Science* 4(4): 550-555.
- Canola Council.** 2009. Disponible en: <http://www.canola-council.org>. Consultada el 31 de Marzo, 2009.
- Casala P.** 2008. Colza, una nueva oportunidad. XVI Congreso de AAPRESID. Bolsa de Comercio de Rosario, Rosario, Santa Fe, Argentina.
- Chaubey A.K., K.N. Dwivedi y R.S. Yadav.** 1992. Effect of N, P and S on linseed. *Journal of Indian Society of Soil Science* 40: 758-761.
- Ciampitti I. A., F.G. Micucci, H. Fontanetto y F.O. García.** 2006. Manejo y ubicación del fertilizante junto a la semilla: Efectos fitotóxicos. *Archivo agronómico* 10. Disponible en: <http://www.ipni.net/lasc>
- Ciampitti I.A. y F.O. García.** 2007. Requerimientos Nutricionales. Absorción y Extracción de Macronutrientes y Nutrientes Secundarios. I. Cereales, Oleaginosos e Industriales. *Archivo agronómico* 11. Disponible en: <http://www.ipni.net/lasc>
- Ciampitti I.A., F.O. García, G. Rubio y L.I. Picone.** 2009. El Fósforo en la Agricultura: Mejores Prácticas de Manejo (MPM). En: Simposio de Fertilidad 2009 "Mejores prácticas de manejo para una mayor eficiencia en la nutrición de cultivos". F.O. García e I.A. Ciampitti (eds.). IPNI Cono Sur y Fertilizar. Rosario, Santa Fe, Argentina.
- Colnenne C., J.M. Meynard, R. Roche y R. Reau.** 2002. Effects of nitrogen deficiencies on autumnal growth of oilseed rape. *European Journal of Agronomy* 17: 11-28.

**Colwell J.D.** 1963. The estimation of phosphorus fertilizer requirements of wheat in southern New South Wales by soil analysis. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 3: 190-7.

**Dubey O.P., T.R. Sahu y D.C. Garg.** 1994. Response and economics in relation to N and S nutrition in Indian mustard (*Brassica juncea*). *Indian Journal of Agronomy* 39: 49-53.

**FAO.** 2009. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/010/ah876e/ah876e06.htm>. Consultada el 21 de Abril, 2009.

**Fismes J., P.C. Vong, A. Guckert y E. Frossard.** 2000. Influence of sulphur on apparent N-use efficiency, yield and quality of oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown on a calcareous soil. *European Journal of Agronomy* 12: 127-141.

**Gonzalez Montaner y M. Di Napoli.** 2009. Manejo de la fertilización en cultivos de cosecha fina en el contexto actual de relaciones de precios y situación financiera de las empresas en la zona Mar y Sierras. En: Simposio de Fertilidad 2009 "Mejores prácticas de manejo para una mayor eficiencia en la nutrición de cultivos". F.O. García e I.A. Ciampitti (eds.). IPNI Cono Sur y Fertilizar. Rosario, Santa Fe, Argentina.

**Hall M.** 2001. Sulphur Fertilizer Application in Crop Production. Agri-Facts. Practical Information for Alberta's Agriculture Industry. Agdex 542-10 <http://www1.agric.gov.ab.ca>

**Hocking P.J., J.A. Mead, A.J. Good y S.M. Diffey.** 2003. The response of canola (*Brassica napus* L.) to tillage and fertilizer placement in contrasting environments in southern New South Wales. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 43: 1323-1335.

**Hocking P.J., P.J. Randall y D. DeMarco.** 1997. The response of dryland canola to nitrogen fertilizer: partitioning and mobilization of dry matter and nitrogen, and nitrogen effects on yield components. *Field Crops Research* 54: 201-220.

**Holmes M.R.J.** 1980. Nitrogen. In: *Nutrition of the Oilseed Rape Crop*. Applied Science Publication, Barking Essex, England. p. 21-67.

**IFA.** 2009. Disponible en: <http://www.fertilizer.org>. Consultada el 31 de Marzo, 2009.

**Iriarte B. L.** 2002. Colza: Cultivares, Fecha de Siembra, Fertilización. INTA. Chacra Experimental Integrada Barrow. 4 pp.

**Jackson G.D.** 2000. Effects of Nitrogen and Sulfur on Canola Yield and Nutrient Uptake. *Agronomy Journal* 92: 644-649

**Janzen H.H. y J.R. Bettany.** 1984. Sulfur nutrition of rapeseed. I. Influence of fertilizer nitrogen and sulfur rates. *Soil Science Society of America Journal* 48: 100-107.

**Johnston A.M., E.N. Johnson, K.J. Kirkland y F.C. Stevenson.** 2002. Nitrogen fertilizer placement for fall and spring seeded *Brassica napus* canola. *Canadian Journal of Plant Science* 82: 15-20.

**Jones M.B.** 1986. Sulfur availability indexes. *Sulfur in Agriculture*. Volume 27. Ed. M.A. Tabatabai. pp 549-566. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.

**Karamanos R.B., T.B. Goh y D.P. Poisson.** 2005. Nitrogen,

Phosphorus, and Sulfur Fertility of Hybrid Canola. *Journal of Plant Nutrition*, 28: 1145-1161.

**Mahli S.S., Y. Gan y J.P. Raney.** 2007. Yield, Seed Quality, and Sulfur Uptake of Brassica Oilseed Crops in Response to Sulfur Fertilization. *Agronomy Journal* 99: 570-577

**McGrath S.P. y F.J. Zhao.** 1996. Sulphur uptake, yield response and the interactions between N and S in winter oilseed rape (*Brassica napus*). *Journal of Agricultural Science (Cambridge)* 126: 53-62.

**McGrath S.P., F.J. Zhao y P.J.A. Withers.** 1996. Development of sulphur deficiency in crop and its treatment. *Proceedings of the Fertiliser Society*, No. 379. pp. 257-268. (The Fertiliser Society: Peterborough).

**Nuttall W.F., H. Ukrainetz, J.W.G. Stewart y D.T. Spurr.** 1987. The effect of nitrogen, sulphur and boron on yield and quality of rapeseed (*Brassica napus* L. and *B. campestris* L.). *Canadian Journal of Soil Science* 67: 545-559.

**Ozer H.** 2003. Sowing date and nitrogen rate effects on growth, yield and yield components of two summer rapeseed cultivars. *European Journal of Agronomy* 19: 453-463.

**Reussi Calvo N. y H. Echeverría.** 2009. Azufre: Marco conceptual para definir las mejores prácticas de manejo en los cultivos. En: Simposio de Fertilidad 2009 "Mejores prácticas de manejo para una mayor eficiencia en la nutrición de cultivos". F.O. García e I.A. Ciampitti (eds.). IPNI Cono Sur y Fertilizar. Rosario, Santa Fe, Argentina.

**Riley N. G., F.J. Zhao y S.P. Mc Grath.** 2000. Availability of different forms of sulphur fertilisers to wheat and oilseed rape. *Plant and Soil* 222: 139-147.

**Rubio G., J.D. Scheiner, M.A. Taboada y R.S. Lavado.** 2007. Distribución de Nitrógeno, Fósforo y Azufre en un cultivo de Colza: Efectos sobre el ciclado de nutrientes. *Ciencia del Suelo* 25(2): 189-194.

**SAGPyA.** 2009. Disponible en: [www.sagpya.gov.ar](http://www.sagpya.gov.ar). Consultada el 21 de Abril, 2009.

**Scheiner J.D., F.H. Gutierrez-Boem y R.S. Lavado.** 2008. Fertilización en Colza-Canola.

**Szuc P.T., L. Drozdowska y P. Kachlicki.** 2003 Effect of sulphur on the yield and content of glucosinolates in spring oilseed rape seeds. *Electronical Journal of Polish Agricultural Universities*. Vol. 6. Issue: 2.

**Valetti.** 1996. INTA Chacra Experimental Barrow. Material de divulgación N°2, 32 pp.

**Ventimiglia L., Noli A. y J. Basail.** 1992. Colza: Aplicación de fertilizante fosforado: Voleo vs. Banda. *Boletín de extensión N°3* (Junio de 1992). Proyecto mixto del Centro (Promix). Centro Regional Buenos Aires Norte. EEA Pergamino. Área de desarrollo Rural. Pág. 13-15.

**Zagal E.V., Hizrel J.C. y Vidal I.P.** 2001. Evaluación de la recomendación de fertilización nitrogenada para cultivos anuales en suelos de origen volcánico usando un modelo de simulación. Disponible en <http://www.inia.cl>. Consultado el 25 de Abril, 2009.

**Zamora M. y J. Massigoge.** 2008. Colza: fertilización con nitrógeno y azufre. *Visión Rural Año XV N° 72*. Mayo-Junio, 2008. Pág. 5-9.

**Zhao F.J. y S.P. McGrath.** 1994. Soil extractable sulphate and organic sulphur and their availability to plants. *Plant and Soil* 164: 243-250. ■

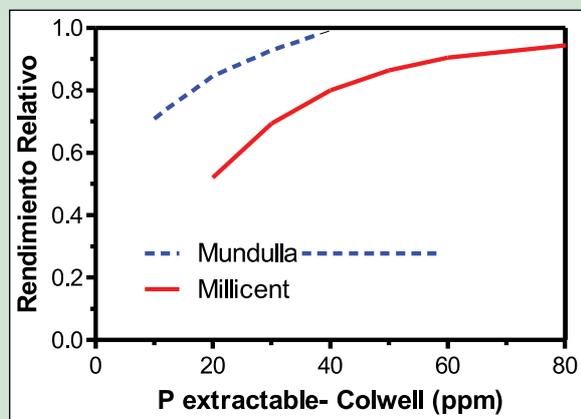


Figura 8. P extractable medido con el método de Colwell (1963) para 0-20 cm del perfil de suelo, y dos tipos de suelos Mundulla (línea azul punteada) y Millicent (línea roja llena).

