

## Distribución de nitrógeno, fósforo y azufre en un cultivo de colza: efectos sobre el ciclado de nutrientes

Gerardo Rubio<sup>1,2</sup>; Javier D Scheiner<sup>1,3</sup>; Miguel A Taboada<sup>1,2</sup> & Raúl S Lavado<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Av. San Martín 4453, 1417 Buenos Aires-Argentina.

<sup>2</sup>IBYF CONICET.

<sup>3</sup>PURPAN. Toulouse. Francia.

<sup>4</sup>CONICET E-mail: [rubio@agro.uba.ar](mailto:rubio@agro.uba.ar)

Recibido: 30/04/07

Aceptado: 30/07/07

### RESUMEN

Comparado con otros cultivos, la colza tiene una alta demanda de azufre (S) por lo que sería esperable que la inclusión de este cultivo en la rotación agrícola acelere el agotamiento de este nutriente en los suelos de las áreas cultivadas. En este trabajo, se comparan los patrones de partición de biomasa, S, nitrógeno (N) y fósforo (P) en plantas maduras de colza. La información a obtener es relevante desde el punto de vista del ciclado de nutrientes. Para ello se realizó un experimento de campo que se ajustó a un arreglo factorial con dos factores (N y S). En el momento de la cosecha, se midió la acumulación de biomasa, N, P y S en tres compartimientos: granos, rastrojo (resto de parte aérea) y raíces. Aunque el rendimiento fue afectado levemente por la adición individual de N o S, la simultánea adición de ambos nutrientes provocó un incremento del 56%. El N y el P presentaron una distribución semejante entre los órganos de la planta estudiados, sin embargo, el S difirió marcadamente de ambos. Su partición al órgano que se exporta (granos) fue de menor magnitud que la observada para N y P. En cambio, su partición al rastrojo en pie fue mayor. Esta característica atenuaría los efectos de la alta demanda de S sobre la exportación del cultivo y permitiría una reutilización del fertilizante agregado por el cultivo siguiente.

**Palabras clave.** Fertilización; Balance de nutrientes; Canola; Nutrición mineral.

### Distribution of nitrogen, phosphorus and sulfur in oilseed rape: effects on nutrient cycling

#### ABSTRACT

Oilseed rape poses a higher sulfur (S) demand, compared to other crops. This may indicate that the inclusion of this crop in the crop rotation could accelerate soil S depletion. In this work, we compared the allocation of biomass, nitrogen (N), phosphorus (P) and S in oilseed rape mature plants. Two factors were analyzed in a field experiment: nitrogen and sulphur (two levels for each factor). At harvest, we measured the accumulation of biomass, N, P and S in three compartments: roots, straw and grains. Yield was little affected by the addition of single nutrients but the simultaneous addition of N and S caused a 56% increase in this parameter. Nitrogen and P showed a rather similar allocation pattern. Sulfur, conversely, showed a lower allocation to grains and a higher allocation to straw than the other two studied nutrients. The lower allocation to the harvested organ would attenuate the effect of the high demand of S of this crop on the nutrient balance and would also allow a re-utilization of the S fertilizer by the following crop.

**Key words.** Fertilization; Nutrient balance; Canola; Mineral nutrition.

## INTRODUCCIÓN

La colza es uno de los principales cultivos oleaginosos del mundo. Su difusión en nuestro país es aún relativamente escasa, pero su potencial de crecimiento es grande, particularmente en la Región Pampeana. Este cultivo es una de las pocas alternativas al trigo como cosecha de invierno, por lo que puede ser utilizada en sistemas de doble cultivo con especies de verano, como soja. Su cultivo tiene perspectivas de exportación y es útil para la industria aceitera local, para cubrir los períodos ociosos durante parte del año. También, es una fuente alternativa a la soja para la elaboración de biodiesel (Powlson *et al.*, 2005).

La colza es conocida como un cultivo con altos requerimientos de nutrientes, particularmente azufre (S) (Bullock & Sawyer, 1991; Grant & Bailey, 1993). De hecho, pueden ser detectadas respuestas positivas al S en colza en suelos donde no se verifican deficiencias en otros cultivos (Grant & Bailey, 1993). Precisamente, la detección de respuesta de la colza al agregado de S (Rubio *et al.*, 1996), fue la precursora del posterior hallazgo de deficiencias de este nutriente en otros cultivos en el Sur de Santa Fe (Martinez & Cordone, 1998). La colza tiene una alta demanda de S para la síntesis de proteínas y glucosinolatos (Grant & Bailey, 1993). Contrariamente a lo que era esperado, la inclusión de las variedades doble cero (con bajo contenido de ácido erucico y glucosinolatos) no ha resultado en una disminución en la demanda de S del cultivo (Zhao *et al.*, 1993). Con estos antecedentes, sería esperable que la inclusión de este cultivo en la rotación agrícola acelere el agotamiento de este nutriente en los suelos pampeanos.

Ha sido observado que no es apropiado asumir que los nutrientes siguen el mismo patrón de partición en la planta que la biomasa (Abrahamson & Caswell, 1982; Romero & Marañón, 1996; Rubio & Lavado, 1999). En tal sentido, la distribución de biomasa entre los diferentes órganos de la planta tiende a reflejar el esfuerzo empleado por la planta para su construcción (Abrahamson & Caswell, 1982). Sin embargo, en términos de ciclado, el principal interés radica en la distribución de nutrientes dentro de la planta, más que el de la biomasa. El patrón final de partición de nutrientes cubre un rol importante en el ciclado, ya que la exportación está directamente relacionada con la cantidad alojada en el órgano cosechado. Debido al alto contenido en las semillas, la exportación de nutrientes en los cultivos de grano es grande. La elevada concentración de nutrientes en semillas es un componente esencial en la supervivencia de las plantas, ya que las plántulas germinadas dependen de los nutrientes en la semilla para sostener el crecimiento inicial, después de la germinación. La proporción de nutrientes en los granos difiere según el elemento y también entre especies (*i.e.* Lavado *et al.*, 2001). Estas diferencias parecen tener un significado en la evolución de las

especies. Los nutrientes que más comúnmente limitan el crecimiento (típicamente nitrógeno (N) y fósforo (P) tienden a tener una mayor concentración en las semillas, por lo que están sujetos a ser exportados en una gran proporción en sistemas de producción de granos. Contrariamente, los nutrientes que suelen estar más disponibles en el suelo (típicamente potasio) tienden a partitionarse en menor proporción al grano, con lo que su exportación por la cosecha es de menor magnitud (Abrahamson & Caswell, 1982; Lavado *et al.*, 2001). El caso del S sería intermedio y las diferencias interespecificas pueden ser más grandes. Existen algunos trabajos en colza que han determinado bajos niveles de recuperación de S en grano (*i.e.* Zhao *et al.*, 1993).

El objetivo de este trabajo fue comparar el patrón de distribución de biomasa, S, N y P en diferentes órganos de plantas maduras de colza. La partición de nutrientes se calculó por medio del índice de partición relativa a la biomasa ARB (por su término en inglés 'relative to biomass'). La información a obtener es relevante desde el punto de vista de la nutrición mineral y del ciclado de nutrientes.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Se realizó un experimento en un establecimiento agrícola del partido de Venado Tuerto (provincia de Santa Fe). El suelo (Argiudol Típico) es representativo de la zona. Se trata de un suelo con moderada acidez en superficie (pH= 6), con un buen suministro de potasio, calcio y magnesio y relativamente bajo contenido de materia orgánica (3%) y N total (0,15%). A la siembra el suelo estaba bien provisto de las formas disponibles de N (89 mg kg<sup>-1</sup> nitratos y 11 mg kg<sup>-1</sup> amonio) pero con niveles relativamente deficientes de P (11 mg kg<sup>-1</sup>) y S (17,2 mg kg<sup>-1</sup> de sulfatos).

Se utilizó el cultivar doble cero Nolza 531, en líneas separadas 35 cm, luego de labores convencionales. El experimento se ajustó a un arreglo factorial con dos factores (N y S). Los niveles de N fueron<sup>-1</sup> N-urea en el momento de elongación de tallos y los 0 y 52 kg ha de S fueron 0 y 30 kg ha<sup>-1</sup> de S-sulfato de calcio a la siembra. Todo el lote se fertilizó con 60 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato triple. Para cada tratamiento se efectuaron cuatro repeticiones. Las fertilizaciones con superfosfato triple y urea se efectuaron en bandas incorporadas al costado de la semilla y el sulfato de calcio se aplicó al voleo con incorporación superficial. El cultivo se mantuvo libre de plagas y malezas. La cosecha (1 m de surco) se realizó en el momento de madurez comercial del cultivo (18-11-1995) a los 171 días después de la siembra. La siembra se efectuó con un buen nivel de humedad, pero hubo una marcada deficiencia hídrica durante parte del ciclo del cultivo. Este hecho motivó un lento crecimiento inicial. En el período de 101 días entre la siembra se registraron sólo 20 mm de precipitación. Luego llovieron 217 mm hasta cosecha. No se realizaron riegos complementarios. Las raíces se obtuvieron mediante el lavado de una muestra de suelo obtenida luego de la inserción de

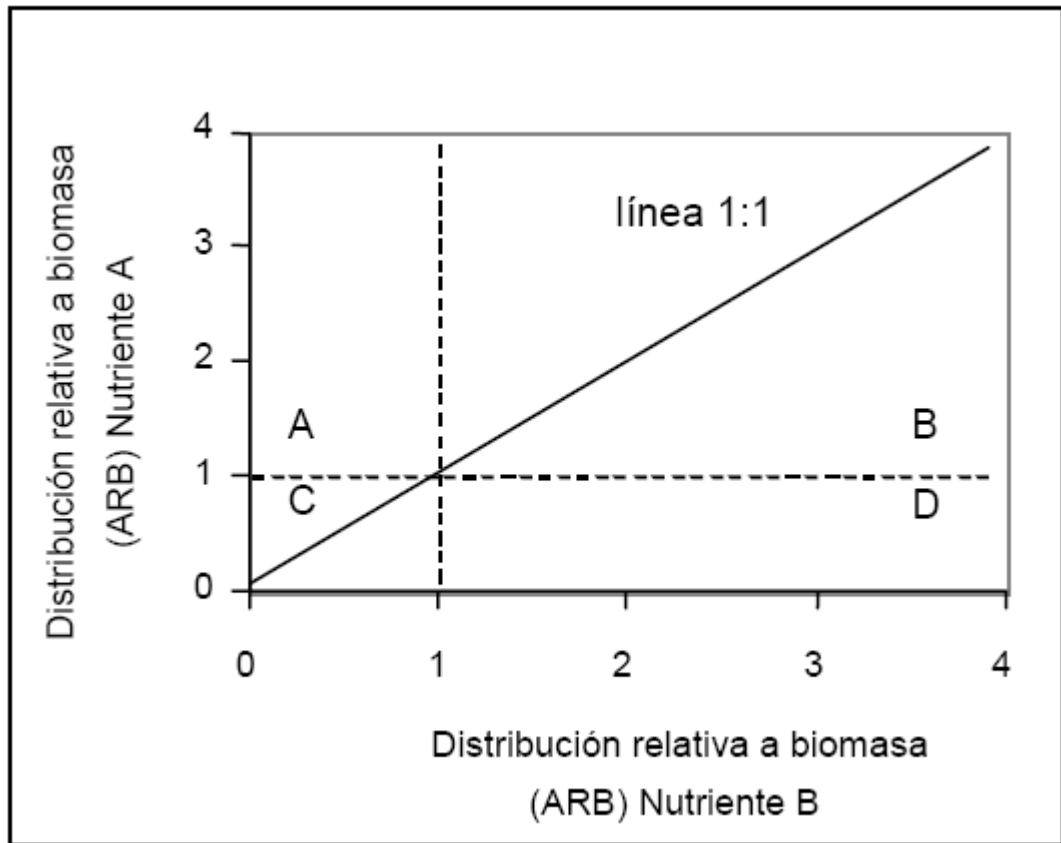
un cilindro de 15 cm de diámetro y 40 cm de profundidad en el entresurco y el surco en el mismo momento que la cosecha de biomasa aérea. El valor de cada unidad fue calculado como el promedio de ambas mediciones. El contenido de N fue determinado por el método Kjeldahl, y el P mediante digestión con ácidos perclórico y nítrico y posterior medición colorimétrica. Por su parte, el S fue medido por digestión con ácidos perclórico y nítrico y posterior medición por turbidimetría (San Martín *et al.*, 1987).

Fueron considerados tres compartimentos vegetales: raíces, grano y rastrojo (resto de parte aérea). La partición de nutrientes se calculó por medio del índice de partición relativa a la biomasa ARB, el cual es un método sencillo y gráfico para comparar los patrones de distribución de recursos vegetales. El índice se calcula como la relación entre la distribución relativa de un elemento en cada órgano y la cantidad relativa de biomasa a ese mismo órgano, de acuerdo a la siguiente fórmula (Romero & Marañón, 1996; Witkowski & Lamont, 1996; Rubio & Lavado, 1999):

$$\text{ARB} = \frac{\text{proporción relativa del nutriente presente en la planta en el órgano considerado}}{\text{proporción relativa de la biomasa acumulada en el órgano considerado}}$$

Un valor de ARB de 1 indica una distribución idéntica para el nutriente específico y la biomasa. Un valor de ARB de 0,5 significa que ese nutriente fue particionado a ese compartimiento en un valor equivalente a la mitad de la biomasa y un valor de 2 fue alojado el doble que biomasa (Romero & Marañón, 1996; Witkowski & Lamont, 1996). Para comparar los patrones de ARB en dos nutrientes, se presentan gráficos que agrupen los valores ARB de dos de ellos. En la [Figura 1](#) se presenta un esquema para facilitar la interpretación de las representaciones gráficas empleadas. En la figura quedan definidos cuatro cuadrantes. Aquellos valores que queden comprendidos en cuadrante A significan que el nutriente A es particionado a ese órgano con preferencia a biomasa (valores superiores a 1) y en cambio, el nutriente B es particionado en una menor proporción que biomasa. Valores en el cuadrante B, significan que ambos nutrientes A y B son particionados a ese compartimiento en forma preferencial a la biomasa. Valores en el cuadrante C, significan que ambos nutrientes están diluidos en ese compartimiento (la biomasa es particionada preferencialmente a ambos nutrientes). Finalmente, aquellos valores que quedan en el cuadrante D significan que el nutriente A es diluido en ese compartimiento y que el B es concentrado allí. La línea 1.1 in [Figura 1](#) determina dos campos. Los valores por encima de esta línea indican que el nutriente A es alojado con preferencia al nutriente B mientras que los valores por debajo de esa línea representan situaciones donde el nutriente B es alojado con preferencia al A. Para

analizar los resultados se utilizó análisis de regresión y de varianza y test LSD para comparación de medias.



**Figura 1.** Esquema ilustrativo de la utilización del índice ARB para interpretar los datos de partición de recursos. (Ver Materiales y Métodos para explicación detallada).

**Figure 1.** Scheme of the interpretation of ARB data. See Materials and methods for detailed explanation.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rendimiento en grano fue la variable con mayor respuesta al enriquecimiento del suelo en nutrientes ([Tabla 1](#)). Aunque el rendimiento fue afectado levemente por la adición individual de N o S, la adición simultánea de ambos nutrientes provocó un incremento del 56% en esta variable. El peso de semillas, el número de semillas por vaina y el número de vainas por ramificación permanecieron invariables ante los tratamientos de fertilización. La acumulación de biomasa total presentó un incremento importante (30%) aunque menor que en rendimiento ante la adición simultánea de los dos nutrientes.

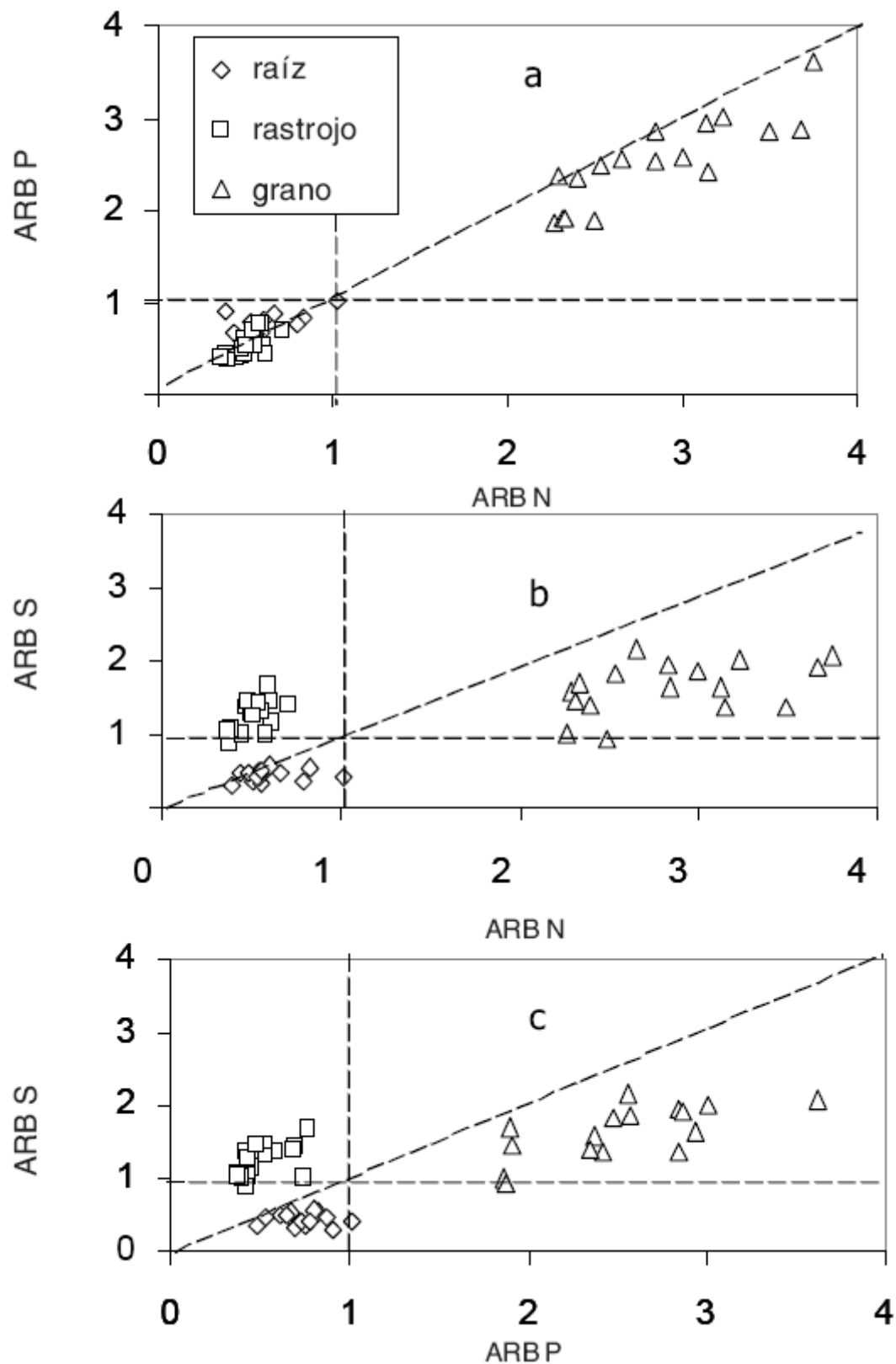
**Tabla 1.** Mediciones de planta realizadas en el experimento de campo de colza y análisis de varianza. Los factores fueron nitrógeno (N) (control y fertilizado) y azufre (S) (control y fertilizado). Letras iguales indican tratamientos similares de acuerdo al test LSD. Se presenta el nivel de significancia del ANOVA. ns significa diferencia no significativa ( $P>0,05$ ).

**Table 1.** Plant parameters and ANOVA from the field experiment with oilseed rape. Factors were: nitrogen -N- (control and high), sulfur -S- (control and high). Similar letters indicate non significant differences among treatments according to LSD comparison test. Significance levels higher than 0,05 were considered non significant (ns).

	Tratamientos				Análisis de varianza		
	Control	Nitrógeno	Azufre	N+S	Nitrógeno	Azufre	N*S
Biomasa total (kg ha <sup>-1</sup> )	8.864b	10.375ab	10.461ab	11.518a	ns	0,05	ns
Nitrógeno total (kg ha <sup>-1</sup> )	85c	110 b	113b	151a	<0,01	<0,01	ns
Azufre total (kg ha <sup>-1</sup> )	25,5ab	21,3b	27,5ab	32,0a	ns	<0,00	ns
Fósforo total (kg ha <sup>-1</sup> )	29,3bc	28,8c	33,9ab	35,6a	ns	<0,01	ns
N grano (kg ha <sup>-1</sup> )	49b	67ab	61a	85a	<0,01	0,04	ns
S grano (kg ha <sup>-1</sup> )	7,23a	9,41a	8,42a	9,25a	ns	ns	ns
P grano (kg ha <sup>-1</sup> )	14a	17a	16a	16a	ns	ns	ns
Ramificaciones m <sup>-2</sup>	391ab	367bc	364bc	491a	ns	NS	0,01
Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	1.770b	2.066b	1.916b	2.765a	0,01	0,04	ns
1.000 semillas (g)	3,04a	2,87a	3,04a	2,91a	ns	ns	ns
Vainas por ramificación	10,1a	12,7a	10,8a	11,9a	ns	ns	ns
Peso semillas por vaina (g)	0,05a	0,05a	0,05a	0,05a	ns	ns	ns

La absorción total de N del tratamiento NS fue 66 kg superior a la correspondiente al tratamiento control ([Tabla 1](#)), mientras que para el P y el S el incremento fue de menor magnitud en términos absolutos y relativos. Este resultado indica que la aplicación conjunta de los dos elementos ejerció un importante efecto promotor de la demanda de N, lo cual condujo a incrementar la habilidad de la planta en adquirir nutrientes provenientes del suelo y del fertilizante aplicado. Los datos de absorción de nutrientes indican que para un rendimiento de 2.765 kg ha<sup>-1</sup>, el cultivo absorbió 151 kg de N y 32 kg de S.

Los datos de ARB indican que las plantas concentraron P y N en el grano, y S en el grano y en el rastrojo (valores superiores a 1, [Fig. 2](#)). En el rastrojo, los ARB promedio fueron 0,51; 0,52 y 1,23, en granos fueron 2,84; 2,52 y 1,63 y en raíces fueron 0,59; 0,72 y 0,43, para N, P y S, respectivamente. La fertilización con N o con S no afectó en gran medida el patrón de distribución de recursos, reflejada por los valores ARB.



**Figura 2.** Patrones de partición ARB de nitrógeno, fósforo y azufre. Los nutrientes se grafican de a pares para compararlos entre sí. ARB es la distribución de nutrientes en cada órgano relativa a biomasa. El índice ARB se calcula como la relación entre la distribución relativa de un elemento en cada órgano y la cantidad relativa de biomasa a ese mismo órgano (ver texto).

**Figure 2.** Allocation relative to biomass (ARB) for nitrogen, phosphorus and sulphur in the the field experiment with oilseed rape. Plots with two nutrients are presented for comparison. ARB index is calculated from the ratio between the relative proportion of the nutrient allocated to an organ and the relative proportion of biomass allocated to that organ (see text)

En la [Figura 2a](#) se observa que la mayoría de los valores se ubican cerca de la línea 1:1 lo que indica que la partición de P siguió un patrón similar a la de N. Los valores ARB en granos están debajo de la línea 1:1 y en el cuadrante B lo cual significa que ambos nutrientes están concentrados en ese compartimiento y que el N es alojado allí en mayor proporción que el P. Los valores de ARB para estos mismos nutrientes en rastrojo y raíces se ubican en el cuadrante C y cercanos a la línea 1:1, lo cual indica que la biomasa fue alojada a estos compartimientos en preferencia a estos nutrientes y que no existió gran diferencia entre ellos. La comparación de los patrones ARB de S y N ([Fig. 2 b](#)) muestran que los valores para granos se ubican en el cuadrante B y debajo de la línea 1:1, lo cual indica que ambos nutrientes están concentrados en este compartimiento y que en las semillas el N es particionado con preferencia al S. Valores ARB para raíces en esta comparación N - S se ubican en el cuadrante C (lo cual indican que ambos nutrientes están diluidos en comparación a la biomasa) y debajo de la línea 1:1, indicando que el N es particionado con preferencia al S en este compartimiento subterráneo. Los valores ARB en rastrojo se ubican en el cuadrante A y encima de la línea 1:1, indicando que el S es particionado preferentemente al N en los órganos aéreos no reproductivos de colza. La comparación de los ARB de P y S mostró una gran similitud a lo observado en la comparación N y S ([Fig. 2c](#)). Esta distribución preferencial de S en órganos aéreos no exportables no fue verificada en cultivos de maíz, soja o trigo del Norte de la Región Pampeana (Lavado *et al.* 2001) y es altamente ventajosa en términos de ciclado de nutrientes.

En conclusión, el N y el P presentaron una distribución semejante entre los órganos de la planta estudiados. El S, en cambio, difirió marcadamente de ambos, con una mayor distribución relativa hacia los compartimientos aéreos no reproductivos. A pesar que la nutrición del cultivo de colza ha sido muy estudiada (*i.e.* Zhao *et al.*, 1993; Dreccer *et al.*, 2000), no pudieron obtenerse colecciones de datos comparables que hagan al eje de este trabajo, que es la comparación de las distribuciones relativas de P, S y N. Abundan los trabajos que estudian estos nutrientes pero no los que tengan todos los tratamientos (*i.e.* datos de nutrientes en todos los órganos). Si bien el cultivo de colza posee mayor sensibilidad al estrés azufrado que los cultivos más comunes de la Región Pampeana, su patrón de distribución a cosecha tiende a ser conservativo en términos de ciclado de nutrientes. Su partición al órgano que se exporta (granos) fue de menor magnitud que la observada para nitrógeno y fósforo. En cambio, su partición al rastrojo en pie es mayor. Esta característica

atenuaría los efectos de la alta demanda de azufre sobre la exportación del cultivo y hasta permitiría una reutilización de un fertilizante azufrado, por parte del cultivo siguiente.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Abrahamson, WG & H Caswell. 1982. On the comparative allocation of biomass, energy, and nutrients in plants. *Ecology* 63: 982-991. [ [Links](#) ]
2. Bullock, DG & JE Sawyer. 1991. Nitrogen, potassium, sulfur, and boron fertilization of canola. *J. Prod. Agr.* 4: 550-555. [ [Links](#) ]
3. Dreccer, MF; AHCM Schapendonk; GA Slafer & R Rabbinge. 2000. Comparative response of wheat and oilseed rape to nitrogen supply: absorption and utilisation efficiency of radiation and nitrogen during the reproductive stages determining yield. *Plant Soil* 220: 189-205. [ [Links](#) ]
4. Grant, CA & LD Bailey. 1993. Fertility management in canola production. *Can. J. Plant Sci.* 73: 651-670. [ [Links](#) ]
5. Lavado, R; CA Porcelli & R Álvarez. 2001. Nutrient and heavy metal concentration and distribution in corn, soybean and wheat as affected by different tillage systems in the Argentine Pampas. *Soil Till. Res.* 62: 55-60. [ [Links](#) ]
6. Martínez, F & G Cordone. 1998. Resultado de ensayos de fertilización azufrada en soja. Soja, campaña 97/98. INTA EEA Oliveros pp 53-57. [ [Links](#) ]
7. Powlson, DS; AB Riche & I Shield. 2005. Biofuels and other approaches for decreasing fossil fuel emissions from agriculture. *Ann. Appl. Biol.* 146: 193-201. [ [Links](#) ]
8. Romero, JM & T Marañón. 1996. Allocation of biomass and mineral elements in *Melilotus segetalis* (annual sweetclover): Effects of NaCl salinity and plant age. *New Phytol.* 132: 565-573. [ [Links](#) ]
9. Rubio, G & RS Lavado. 1999. Accumulation and allocation of resources in two waterlogging tolerant grasses. *New Phytol.* 143: 539-546. [ [Links](#) ]
10. Rubio, G; RS Lavado; MA Taboada; JD Scheiner; MM Zubillaga & G Vrdoljak. 1996. Ventajas de la fertilización combinada en colza-canola. *Oleaginosos* 14: 16-19. [ [Links](#) ]
11. San Martín, N; C Navarro & H Echeverría. 1987. Determinación de azufre total en material vegetal. *IDIA* 457-462: 40-45. [ [Links](#) ]
12. Witwowski, ETF & BB Lamont. 1996. Disproportionate allocation of mineral nutrients and carbon between vegetative and reproductive structures in *Banksia hookeriana*. *Oecologia* 105: 38-42. [ [Links](#) ]
13. Zhao, FJ; EJ Evans; PE Bilbrough & JK Syers. 1993. Sulphur uptake and distribution in double and single low varieties of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Plant Soil* 150: 69-76. [ [Links](#) ]