

## Dinámica de la absorción y partición de nutrientes en soja

(con 4 figuras)

Scheiner Javier D<sup>1</sup>, Flavio H Gutiérrez-Boem<sup>1</sup>, Raúl S Lavado<sup>1</sup>

**Abstract.** Dynamics of nutrient uptake and partition in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] is essential for fertilization and optimization of nutrient management. Sound economic and environmental nutrient management involves knowledge of crop nutrient requirements and absorption dynamics during the crop cycle. This study determines soybean requirements and absorption rates of P, K and S; and the effects of fertilization on absorption of nutrients and partition of assimilates and nutrients. A field experiment was conducted on a Typic Argiudoll, with an available P level of 5 mg kg<sup>-1</sup> (Bray 1). Soybean was cropped with and without fertilization (12 kg ha<sup>-1</sup> of P). Aboveground biomass and nutrient accumulation and partition to organs were measured during the crop cycle. The maximum absorption rate occurred at different moments: for N, K and S it was at the end of vegetative growth, while for P it was at the beginning of seed filling. K was the only nutrient for which partition was similar to assimilates. For all other nutrients, the crop partitioned more nutrients than assimilates to leaves; N showed the largest difference. Fertilization did not affect assimilates or nutrients partition.

**Key words:** Nutrient uptake - partition - nitrogen - phosphorus - potassium - sulphur

Si bien las técnicas de cultivo de soja han evolucionado en los últimos años, el uso de fertilizantes es muy limitado en comparación con otros cultivos (6). No obstante, resultados de trabajos realizados en la Región Pampeana han demostrado el potencial de respuesta de soja a la aplicación de nutrientes (21, 6), y la fertilización ha comenzado lentamente a difundirse.

Sin un adecuado conocimiento previo de la dinámica de absorción y de los requerimientos del cultivo, se puede incurrir en

---

<sup>1</sup> Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Av. San Martín 4453, 1417 Buenos Aires, Argentina. [gutierre@agro.uba.ar](mailto:gutierre@agro.uba.ar)  
Recibido 27.XII.2000; aceptado 10.I.2001

sobrefertilización, generando problemas ambientales y disminuyendo la eficiencia tanto agronómica como económica de la práctica (19, 25). La suma de los intereses económicos y ambientales determinan entonces la importancia de la aplicación de fertilizantes en el momento y la forma más eficiente. Conocer los requerimientos del cultivo y el curso de la absorción de nutrientes, permitiría sincronizar la oferta de nutrientes con la demanda, disminuyendo el impacto ambiental de la fertilización.

La deficiencia nutricional en un cultivo no sólo depende de la absorción total de nutrientes, sino también del crecimiento del cultivo y del destino que estos nutrientes tengan dentro de la planta. Hay poca información local sobre la absorción de nutrientes en soja, y se depende de resultados muchas veces obtenidos en condiciones ecológicas distintas a las de nuestra principal área de producción. Habitualmente se caracteriza la proporción de asimilados o nutrientes que va a los órganos mediante coeficientes de partición de asimilados. Si la partición de nutrientes es independiente de la de asimilados, se requieren coeficientes específicos para cada nutriente. Las concentraciones de nutrientes en la planta dependen de cómo la planta particiona biomasa y nutrientes entre los destinos dentro de la parte aérea. Estos destinos pueden ser tallo y hojas durante el período vegetativo, a los que se agregan vainas y granos luego de floración. Se debe considerar la relación entre partición de biomasa y partición de nutrientes. Se sabe que soja destina a las hojas, durante el período vegetativo, una fracción mayor de N asimilado que de biomasa (12). Esta diferencia en la partición de nitrógeno y biomasa hacia las hojas está relacionada con el importante papel que cumple este nutriente como parte del aparato fotosintético (24). Contrariamente, no hay mucha información sobre la relación entre la partición de biomasa y nutrientes como P, K y S.

La disponibilidad de P puede afectar la partición de nutrientes, pues el P está íntimamente vinculado al metabolismo y crecimiento de las plantas superiores e interviene en numerosos procesos. Por ejemplo, en la regulación de la senescencia foliar intervienen muchos factores relacionados con la nutrición mineral (2, 7, 12). Deficiencias de P durante el desarrollo del grano pueden promover senescencia prematura y el P ser removilizado más extensamente que el N. Un suministro adecuado de P también afecta la absorción de K, por lo que puede influenciar la actividad fisiológica de la raíz. Esto no sólo es resultado del cambio en el área de la superficie de la raíz, sino también en gran medida del aumento en la cantidad de ATP en las células, consecuencia del aumento en la cantidad de P absorbido. Sobre la parte aérea, el agregado de P resulta en un incremento en la concentración tanto de P como de K, al menos en las primeras etapas (10).

El objetivo del presente trabajo fue determinar las tasas de absorción de N, P, K y S durante el ciclo de un cultivo de soja, los efectos de una fertilización fosforada sobre la absorción de nutrientes, y los coeficientes de partición para asimilados y nutrientes.

## MATERIALES & MÉTODOS

Se realizó un ensayo en Rojas, Provincia de Buenos Aires, Argentina, sobre un Argiúlo Típico, familia fina illítica térmica, serie Rojas. El horizonte superficial del suelo tenía las siguientes características: textura franco limosa, C 2.2%, N total 0.2%, pH 5.5, 22 mg SO<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup>, Ca 9.6 cmol kg<sup>-1</sup>, Mg 2.5 cmol kg<sup>-1</sup>, K 1.8 cmol kg<sup>-1</sup> y Na 0.2 cmol kg<sup>-1</sup>. El nivel inicial de P en el suelo fue de 5 mg kg<sup>-1</sup> (Bray 1).

La soja tuvo como antecesor maíz. El lote se hallaba laboreado con labranza vertical. Se sembró el cultivar Asgrow 5308 (Grupo de maduración V, crecimiento determinado) el 8/11/92. La distancia entre hileras fue de 70 cm, y se logró una población de 24 plantas por metro de surco. Los tratamientos fueron dos: uno fertilizado con 12 kg ha<sup>-1</sup> de P (como fosfato diamónico) y control no fertilizado. El tamaño de las parcelas fue de 20 por 7 m, y el diseño experimental fue en cinco bloques completos aleatorizados.

En los estadíos fenológicos V4 (26/12/92), V6 (06/1/93), V8 (21/01/93), R2(03/02/93), R5 (17/03/93) (5) y cosecha final (05/05/93), se cosechó un metro lineal. No se recogieron las hojas caídas. Se determinaron biomasa total y tasa de crecimiento, en los distintos órganos por separado, previo secado en estufa a 60° hasta peso constante. Se determinó separadamente en cada órgano la concentración de N, P, K y S en los estadíos V6, R2, R5 y cosecha final. En base a la concentración de nutrientes y a la biomasa cosechada se determinó acumulación de nutrientes y la tasa de acumulación en cada órgano cosechado, en el que, previa digestión ácida, se determinó P total por colorimetría, N por el método de Kjeldhal, S por turbidimetría con BaCl<sub>2</sub> y K por fotometría de llama (15).

La partición de biomasa aérea y la de nutrientes se calcularon mediante las fórmulas:

$$\text{Partición de biomasa: } \frac{\text{Peso seco del órgano en } T_2 - \text{Peso seco del órgano en } T_1}{\text{Peso seco de planta en } T_2 - \text{Peso seco de planta en } T_1}$$

$$\text{Partición de nutrientes: } \frac{\text{Nutriente en el órgano en } T_2 - \text{Nutriente en el órgano en } T_1}{\text{Nutriente en planta en } T_2 - \text{Nutriente en planta en } T_1}$$

siendo  $T_1$  y  $T_2$  dos cosechas consecutivas. Los coeficientes de partición se calcularon para los órganos (tallo y hojas) hasta el comienzo de llenado de granos (R5).

Los datos se analizaron estadísticamente mediante ANOVA, separándose las medias por el test de Student.

### RESULTADOS & DISCUSIÓN

A cosecha final no se observaron diferencias en biomasa total ni discriminada por órganos entre tratamientos. El cultivo se desarrolló en condiciones de alta disponibilidad hídrica a lo largo de todo su ciclo. El rendimiento final promedio fue de 3443 kg ha<sup>-1</sup>, lo que puede considerarse un rendimiento medio alto para la zona.

La acumulación de biomasa siguió el patrón descrito para soja (11). La evolución de la biomasa aérea de los cultivos de granos anuales se inicia normalmente con la formación de órganos de absorción y fotosintetizantes, luego la formación de órganos reproductivos, finalizando con la producción, acumulación y traslado de fotosintatos a los granos (16). En la Figura 1 se aprecia que la partición de biomasa cambió a lo largo del ciclo, disminuyendo la proporción de biomasa de los órganos vegetativos en favor de los órganos reproductivos hacia el final del ciclo, como ya fuera observado (14).

No hubo diferencias significativas entre tratamientos en las biomásas acumuladas en cada órgano, ni en las biomásas totales en ninguno de los momentos fenológicos muestreados. En las tasas de acumulación de biomasa tampoco hubo diferencias entre tratamientos (Figura 1b). Entre los 59 y 74 DDS el cultivo acumuló biomasa a una tasa de 108 kg ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, y entre los 74 y 87 DDS de 148 kg ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. Trabajando en Balcarce, con soja de ciclo más corto, Andrade (1) observó entre los 40 y 80 DDS valores de acumulación de biomasa de 180 kg ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. La mayor tasa de acumulación se observó a comienzos de floración, coincidente con los momentos de máxima acumulación en hojas y tallos (Figura 1b).

No hubo diferencias significativas entre tratamientos en la concentración de nutrientes en los distintos órganos y distintos estados fenológicos (datos no mostrados). La acumulación de nutrientes en planta no fue afectada por la fertilización (Figura 2). En el caso del N, a juzgar por las cantidades cuantificadas, no se habrían registrado cambios en la fijación biológica de nitrógeno por cambios en la disponibilidad de fósforo, coincidiendo con lo observado por Chien et al. (3). Siempre se registró una caída en la acumulación de nutrientes luego de iniciado el llenado de granos (R5), debido a la caída de hojas. Esta disminución en la cantidad de nutrientes en planta fue más pronunciada para K y S, debido a una menor retraslocación del

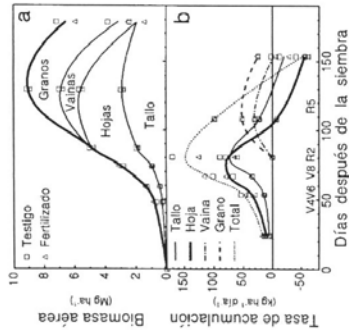


Fig. 1.- Acumulación de biomasa aérea (a) y tasa de acumulación de biomasa (b), discriminadas por órgano, durante el ciclo del cultivo de soja Asgrow 53.08

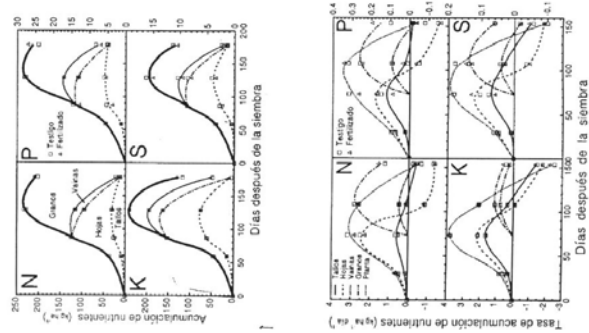


Fig. 2.- Tasa de acumulación de N, P, K y S en parte aérea, discriminada por órgano, durante el ciclo del cultivo de soja Asgrow 53.08

Fig. 3.- Tasa de acumulación de N, P, K y S en parte aérea, para cada órgano y para planta entera, durante el ciclo del cultivo de soja Asgrow 53.08

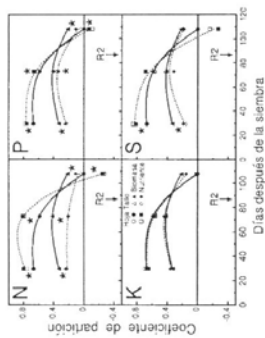


Fig. 4. - Proporción de biomasa, N, P, K y S particionado a tallos y hojas en soja Asgrow 53.08. Líneas continuas representan la partición de biomasa y las puntuadas la de nutrientes. Símbolos vacíos y llenos para el testigo y fertilizado, respectivamente. El \* indica diferencias significativas entre partición de nutrientes y biomasa a ese órgano, en cada fecha

nutriente previo a la caída de las hojas. Los requerimientos totales de nutrientes para un rendimiento de 3443 kg ha<sup>-1</sup> fueron de 232 kg N, 27.8 kg P, 242 kg K y 15.7 kg S.

La figura 3 muestra las tasas de acumulación de nutrientes en planta entera y por órgano. La tasa de acumulación de N en los estadios vegetativos estuvo asociada principalmente a la acumulación en hojas, y en los reproductivos, con la acumulación en granos. En los estadios finales, el retrasado del N y la senescencia determinaron valores foliares negativos. Los valores máximos de tasa de acumulación de N en planta son menores que los 4.9 kg ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> registrados por Sadler y Karlen (20a) pero esto puede ser atribuido a que en el presente ensayo las tasas se calcularon con intervalos de muestreo mayores. La tasa total máxima de acumulación de P se vincula más con la tasa máxima de acumulación de P en los granos, que con el máximo de acumulación de P en hojas. La mayor tasa de acumulación del K se observó en el período vegetativo, función de su acumulación en tallos y hojas. Estos valores son similares a los publicados por Heckman y Kamprath, quienes obtuvieron valores de 1.12 kg ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> para el período 20-40 DDS y de 3.57 kg ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> entre los 40-60 DDS, en suelos arenosos. El patrón de variación de la tasa de acumulación de S fue similar al del N, salvo por una menor diferencia entre las tasas de acumulación en hoja y tallo durante el período vegetativo.

No hubo diferencias significativas en la proporción de biomasa particionada a tallo y hojas entre el tratamiento testigo y el fertilizado. La partición se mantuvo prácticamente constante hasta floración, luego de la cual se modificó principalmente al adquirir la partición hacia hojas una pendiente negativa más pronunciada que la de partición hacia tallo (Figura 4). La fertilización tampoco afectó la parti-

ción de los nutrientes analizados. La proporción de N y P particionado a los órganos vegetativos difirió significativamente de la proporción de biomasa particionada a los mismos durante todo el período calculado. Ambos nutrientes fueron particionados a las hojas en mayor proporción que la biomasa durante el período vegetativo. Luego de floración el coeficiente de partición fue negativo debido al retrasado de esos nutrientes a vainas y granos. Este hecho también fue observado en otras leguminosas (24). La partición preferencial del N hacia las hojas está relacionado con los altos requerimientos de N que tiene la fotosíntesis. Se estima que tres cuartos del N de las hojas está asociado a la fotosíntesis, ya sea como parte de las enzimas involucradas en la fijación de CO<sub>2</sub> o como compuestos asociados con las reacciones luminicas de la fotosíntesis (8). La removilización de Nitrógeno entre distintos órganos ocurre durante todo el ciclo del cultivo. Durante el período vegetativo hay removilización de N desde las hojas viejas a las nuevas, más altas en el canopeo, de forma tal de aumentar la capacidad fotosintética de las hojas que reciben más luz (23, 17). Durante el período reproductivo, la removilización de N ocurre desde las hojas hacia vainas y granos, proceso que acompaña la senescencia de las hojas (12).

A diferencia de lo observado en trigo, donde los coeficientes de partición a hoja de biomasa y P fueron similares durante el período vegetativo (20, 9), el P al igual que el N, fue particionado en mayor proporción que la biomasa hacia las hojas, donde cumple importantes funciones relacionadas con la fotosíntesis (18). El P de las hojas que no forma parte de compuestos estructurales es removilizado luego de la floración hacia órganos reproductivos, dando por resultado un coeficiente de partición negativo (Figura 4). Esta removilización es menos importante que la de N, ya que una mayor proporción del P de las hojas permanece en ellas durante su senescencia y posterior caída (4).

Para S la proporción de biomasa particionada a tallo y hojas difirió de las proporciones particionadas a esos órganos sólo en los estadios iniciales. No hubo diferencias significativas entre la proporción de S y la de biomasa particionada a tallo y a hojas en las mediciones posteriores. En soja, el S es removilizado desde las hojas en menor proporción que el N, disminuyendo la relación N:S de las hojas en la medida que progresa la senescencia (22).

A diferencia de lo observado para N y P, la proporción de K particionada a tallos y hojas no difirió de las proporciones de biomasa particionada a órganos vegetativos. Sólo en este caso se podrían usar para el nutriente los mismos coeficientes de partición que para la biomasa.

### CONCLUSIONES

Los requerimientos totales de nutrientes para un rendimiento de 3443 kg ha<sup>-1</sup> fueron de 232 kg N, 27.8 kg P, 242 kg K y 15.7 kg S. El momento del ciclo con requerimientos máximos dependió del nutriente. Para N, K y S la máxima acumulación fue durante el final del crecimiento vegetativo, previo al inicio del llenado de los granos, mientras que para el P la acumulación máxima ocurrió al comienzo del llenado de granos.

El K fue el único nutriente cuya partición fue similar a la de biomasa. Para todos los demás, la soja destinó una proporción mayor de nutrientes que de biomasa a las hojas. En consecuencia, la partición de asimilados no puede ser utilizada para describir la partición de N, P y S. Las diferencias más grandes se observaron para N. La fertilización fosforada no afectó la partición de asimilados ni de ninguno de los nutrientes analizados.

### REFERENCIAS

1. Andrade FH, *Field Crops Res* 41 (1995) 1
2. Cargnel MD, RE Brevedan, MA Varillas, G Luayza, R Palomo, *I Congreso Nacional de Soja*, Pergamino, Argentina (1995) 104
3. Chien SH, G Carmona, RG Menon, DT Hellums, *Fertilizer Res* 34 (1993) 153
4. Crafts-Brandner SJ, *Crop Sci* 32 (1992) 420
5. Fehr WR, CE Caviness, DT Burmood, JS Pennington, *Crop Sci* 11 (1971) 929
6. García FO, *Jornada de actualización técnica "Fertilización de Soja"*, Rosario (1999) 3
7. Grabau LJ, DG Blevins, HC Minor, *Plant Physiol* 82 (1986) 1008
8. Grindlay DJC, *J Agr Sci Camb* 128 (1997) 377
9. Gutiérrez Boem FH, GW Thomas, *Agron J* 90 (1998) 166
10. Hallmark WB, SA Barber, *Agron J* 76 (1984) 209
11. Hanway JJ, CR Weber, *Agron J* 63 (1971) 406
12. Hayati R, DB Egli, SJ Crafts-Brandner, *Crop Sci* 35 (1995) 1063
13. Heckman JR, EJ Kamprath, *Comm Soil Sci Plant Anal* 26 (1995) 123
14. Hintz RW, KA Albrecht, *Agron J* 86 (1994) 59
15. Jackson ML, *Análisis químico de suelos*, Ediciones Omega, Barcelona, 1982
16. Murata Y. In JD Eastin, FA Haskins, CY Sullivan, CHM van Bavel, eds, *Physiological aspects of crop yield*, ASA-CSSA, Madison (1969) 235
17. Osaki M, *Soil Sci Plant Nutr* 41 (1995) 429
18. Rao IM. In M Pessaraki, ed, *Handbook of Photosynthesis*, Ed 1 Chap 11, Marcel Dekker, New York (1996), p 173
19. Robertson GP, In L Jackson, ed, *Ecology in Agriculture*, Ed 1 Chap 10, Academic Press, New York (1997), p 347
20. Rodríguez D, J Goudriaan, *J Plant Nutrition* 18 (1995) 2501
- 20(a) Sadler EJ, DL Karlen, *Agron J* 86 (1994) 26
21. Scheiner JD, DF Alvarez Renzi, RS Lavado, SI Torri, *Ciencia del Suelo* 15 (1997) 36
22. Sexton PJ, NC Paek, R Shibles, *Crop Sci* 38 (1998) 975
23. Shiraiwa T, TR Sinclair, *Crop Sci* 33 (1993) 804
24. Van der Werf A, T Enserink, B Smit, R Booijt, *Plant Soil* 155/156 (1993) 183
25. Withers PJ, AN Sharpely. In JE Rechcigl, ed, *Soil amendments and environmental quality*. Ed 1 Chap 2. Lewis Publishers, Boca Raton (1995) 65