



## COMPONENTES DE LA EFICIENCIA DE UTILIZACIÓN INTERNA EN CEBADA CERVECERA: DIFERENCIAS ENTRE N Y S

Gómez, F.M.<sup>1,2\*</sup>, J.J. Boero<sup>1,2</sup>, P. Prystupa<sup>1,2</sup>, G. Ferraris<sup>3</sup>, F.H. Gutiérrez-Boem<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Av. San Martín 4453. CABA. Argentina.; <sup>2</sup> INBA – CONICET., EEA Pergamino, INTA. fgomez@agro.uba.ar

**RESUMEN:** La eficiencia de utilización interna es la relación entre el rendimiento y la cantidad de nutriente absorbido. Otra manera de expresar esta relación es mediante la recíproca de la IE: la cantidad de nutriente absorbido por unidad de rendimiento. La cantidad de nutriente absorbido por unidad de rendimiento se puede descomponer como el producto de la concentración de nutriente en grano y la inversa del índice de cosecha del nutriente. El objetivo de este trabajo fue analizar y comparar las relaciones entre los componentes de N y S absorbido por unidad de rendimiento. Se realizaron 2 experimentos durante 2014-2018 en el centro-norte de región pampeana, de manera que se generaron 50 ambientes (combinación de sitios x años). Los tratamientos aplicados fueron: 1- Control (sin agregado de fertilizante adicional al realizado por el productor), 2- N: sin limitaciones de N (150 o 250 kg N ha<sup>-1</sup> adicional a la fertilización realizada por el productor), 3- S: sin limitaciones de S (15 o 20 kg S ha<sup>-1</sup> adicional a la fertilización realizada por el productor), 4- NS: sin limitaciones de N y S (150 o 250 kg N ha<sup>-1</sup> y 15 o 20 kg S ha<sup>-1</sup> adicional a la fertilización realizada por el productor). El experimento 1, se realizó durante 2014 y 2015 y no incluyó el tratamiento NS. En el experimento 2, realizado durante el periodo 2016/17/18, se agregó el tratamiento NS. La concentración de N y S en grano presentaron una asociación positiva y curvilínea con la cantidad de nutriente absorbido por unidad de rendimiento. Sin embargo, la concentración de S en grano alcanzó el plateau a una menor proporción de cantidad de nutriente absorbido por unidad de rendimiento respecto a N. Esto se debió a que el S presentó una disminución más marcada en el índice de cosecha de nutriente frente a un incremento en la cantidad de nutriente absorbido por unidad de rendimiento, respecto a N. Como consecuencia, la relación N:S en grano se asoció a la cantidad de N absorbido por unidad de rendimiento y no a la cantidad de S absorbido por unidad de rendimiento.

**PALABRAS CLAVE:** Cebada, Nitrógeno, Azufre.

### INTRODUCCIÓN

La eficiencia de utilización interna se define como la relación entre el rendimiento y la cantidad de nutriente absorbido ( $IE = R/NU_{abs}$ ) (Janssen, 1998). La IE (denominadas aquí NIE para N y SIE para S) puede ser afectada por el nivel de rendimiento alcanzado. Esta es constante cuando el rendimiento no está cerca del potencial del sitio y disminuye por encima del 70-80% del rendimiento máximo (Dobermann y Cassman, 2002). La IE también puede disminuir con alta disponibilidad del nutriente en el suelo, que lleva a un aumento en la absorción sin un aumento proporcional en el rendimiento (i.e. consumo de lujo), o por estreses ambientales, particularmente al final del ciclo del cultivo que afectan más el rendimiento que la absorción (van Keulen y van Heermst, 1982). Las IE más altas, cercanas a la máxima dilución del nutriente en la biomasa, están asociadas a situaciones de deficiencia del nutriente (Janssen, 1998).

Otra manera de expresar la relación entre el rendimiento y el nutriente absorbido es mediante la recíproca de la IE: la cantidad de nutriente absorbido por unidad de rendimiento ( $NU_{abs}/R$ ;

denominadas aquí Nabs/R para N y Sabs/R para S). Es importante destacar que IE y NUabs/R son dos maneras de reflejar una misma característica de los cultivos.

NUabs/R se puede descomponer en dos componentes con sentido agronómico: la concentración del nutriente en el grano (NUgrano/R o CNUG, ecuación 1 y 2, respectivamente), y la inversa del índice de cosecha del nutriente (NUabs/NUgrano o ICNU, ecuación 1 y 2, respectivamente) (Sadras, 2006).

$$\frac{NUabs}{R} = \frac{NUgrano}{R} * \frac{NUabs}{NUgrano} \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$\frac{NUgrano}{R} = \frac{CNUG}{ICNU} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Por lo tanto, el NUabs/R puede disminuir o, lo que es lo mismo, la IE puede incrementarse de dos maneras: aumentando el índice de cosecha del nutriente o disminuyendo la concentración del nutriente en el grano. Se debe remarcar que la disminución en la concentración del nutriente en el grano conllevaría a variaciones en la calidad nutricional o industrial del mismo.

El objetivo del presente trabajo fue analizar y comparar las relaciones entre los componentes de Nabs/R y Sabs/R (o de NIE y SIE, respectivamente) determinados por variaciones en ambientes (combinación de sitios y años) y distintas disponibilidades de N y de S (tratamientos).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron dos experimentos de fertilización en condiciones de campo durante el periodo comprendido entre 2014 y 2018 en 50 ambientes (i.e. combinación de sitios x años). Los 50 ambientes corresponden a lotes de producción ubicados en el centro-norte de la región pampeana. Los cultivares utilizados en los ensayos son los cultivares más adoptados en los campos de producción de la región. Los tratamientos se realizaron sobre la fertilización que realizó cada productor en el lote de producción (Control) y constaron de: **Control** (sin agregado de fertilizante adicional al realizado por el productor), **N**: sin limitaciones de N (150 o 250 kg N ha<sup>-1</sup> adicional a la fertilización realizada por el productor), **S**: sin limitaciones de S (15 o 20 kg S ha<sup>-1</sup> adicional a la fertilización realizada por el productor), **NS**: sin limitaciones de N y S (150 o 250 kg N ha<sup>-1</sup> y 15 o 20 kg S ha<sup>-1</sup> adicional a la fertilización realizada por el productor). El experimento 1 se realizó durante las campañas 2014 y 2015 y no incluyó el tratamiento NS. En el periodo 2016 a 2018 se agregó el tratamiento NS de manera de conformar un diseño factorial completo y se incrementó la dosis de S de 15 a 20 kg S ha<sup>-1</sup>. Sólo en el año 2017 se incrementaron las dosis de los tratamientos con N a 250 kg N ha<sup>-1</sup>, los restantes años se utilizaron dosis de 150 kg N ha<sup>-1</sup>. La fertilización se realizó en el periodo comprendido entre la siembra y la emergencia del cultivo, bajo la forma de urea y yeso.

En madurez del cultivo se cosecharon 4 metros lineales (~ 0.84 m<sup>2</sup>) del cultivo por parcela, se secaron a 60°C y se trillaron. Se determinó biomasa aérea, rendimiento en grano, y el número y peso individual de los granos. La concentración de N y S en los granos y rastrojo se determinó mediante una digestión húmeda y una posterior colorimetría (N) o turbidimetría (S). El rendimiento se expresó con 13% de humedad, mientras que la concentración de nutrientes se expresó en base seca.

La relación entre el rendimiento y la cantidad de nutriente absorbida se ajustó a través de un modelo esférico condicional (Setiyono et al., 2010) (ecuación 3).

$$y = \begin{cases} b * \left( \left( \frac{3}{2} \right) * \left( \frac{x}{c} \right) - \left( \frac{1}{2} \right) * \left( \frac{x}{c} \right)^3 \right), & \text{si } x \leq c \\ b, & \text{si } x > c \end{cases} \quad (\text{Ecuación 3})$$

donde y es el rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>), x es la cantidad de nutriente absorbido (kg nutriente ha<sup>-1</sup>), b es el rendimiento potencial (kg ha<sup>-1</sup>) y c es la mínima cantidad de nutriente absorbido (kg nutriente ha<sup>-1</sup>) con la cual se alcanza el rendimiento potencial.

Tanto para N como para S, se ajustaron las funciones de borde superior (Q95), inferior (Q05) y la correspondiente a la mediana de los datos por medio de regresiones por cuantiles (R Core

Team, 2019). La NIE y SIE se estimaron como la relación entre el rendimiento correspondiente al 80% del potencial (parámetro b de la ecuación 3) y la cantidad de nutriente absorbido para ese rendimiento obtenido, asumiendo que la eficiencia de uso del nutriente es constante hasta el 80% del rendimiento potencial (Dobermann y Cassman, 2002). De esta forma, se estimaron la NIE y SIE mínimas, medianas y máximas, empleando las funciones de borde superior, mediana y de borde inferior, respectivamente.

Los valores de la concentración de nutriente en grano relativo (Fig. 4. a) se estimaron como la relación entre los valores de concentración de nutriente en grano observados y el mínimo valor de concentración de nutriente en grano predicho por la función ajustada en la Fig. 2 (7.164 y 0.636, para N y S, respectivamente). Los valores de índice de cosecha relativo (Fig 4. b) se estimaron como la relación entre los valores de índice de cosecha de nutriente observados y el plateau correspondiente a cada nutriente (Fig. 3).

## RESULTADOS

Los valores medios, mínimos y máximos de rendimiento, N y S absorbido, concentración de N y S en grano y los índices de cosecha de N y S se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Estadísticas de resumen.

Variable	Media	Rango IQ	Min - Máx
Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> , 13% hum.)	5905	4565 – 7195	1520 – 9317
N absorbido (kg N ha <sup>-1</sup> )	100.6	74.6 – 130.9	21.0 – 172.3
CNG (g N kg <sup>-1</sup> )	14.71	12.57 – 16.74	7.06 – 23.39
ICN	0.76	0.73 – 0.81	0.41 – 0.89
S absorbido (kg S ha <sup>-1</sup> )	9.3	7.0 – 11.7	2.2 – 18.6
CSG (g S kg <sup>-1</sup> )	1.08	0.98 – 1.19	0.53 – 1.45
ICS	0.60	0.53 – 0.66	0.40 – 0.77
N:S en grano (g N g S <sup>-1</sup> )	14.11	11.85 – 14.89	8.25 – 33.98

Rango IQ: rango intercuartiles (25-75% percentil); CNG y CSG: concentración de N y S en grano, respectivamente; ICN y ICS: índice de cosecha de nitrógeno y azufre, respectivamente.

La relación entre el rendimiento y la cantidad de nutriente absorbido se ajustó a través de regresiones por cuantiles para N y S, separando la población de rendimientos en los cuantiles correspondientes al 5, 50 y 95% (Q05, Q50 y Q95, Fig. 1). Las NIE máxima, mediana y mínima estimadas fueron 81.8, 70.8 y 43.1 kg grano kg N<sup>-1</sup>, respectivamente. De manera análoga, las SIE máxima, mediana y mínima estimadas fueron 1002.6, 644 y 437.8 kg grano kg S<sup>-1</sup>, respectivamente.

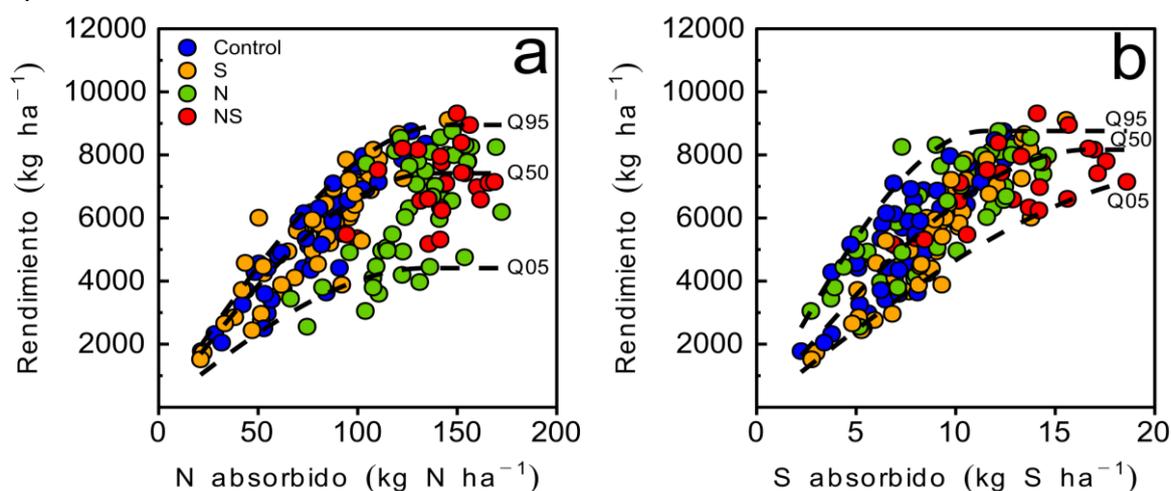


Figura 1. Relación entre el rendimiento y la cantidad de nutriente absorbido. a) Nitrógeno, b) Azufre. Q95, Q50 y Q05 corresponden a las funciones de borde superior, mediana y de borde inferior, respectivamente.

Tanto CNG como CSG se asociaron de manera curvilínea a la cantidad de N y S absorbido por unidad de rendimiento, respectivamente (Fig. 2). La relación entre CSG y el Sabs/R presentó mayor variabilidad que la relación entre el CNG y Nabs/R ( $R^2 = 0.62$  y  $0.82$ , para S y N, respectivamente).

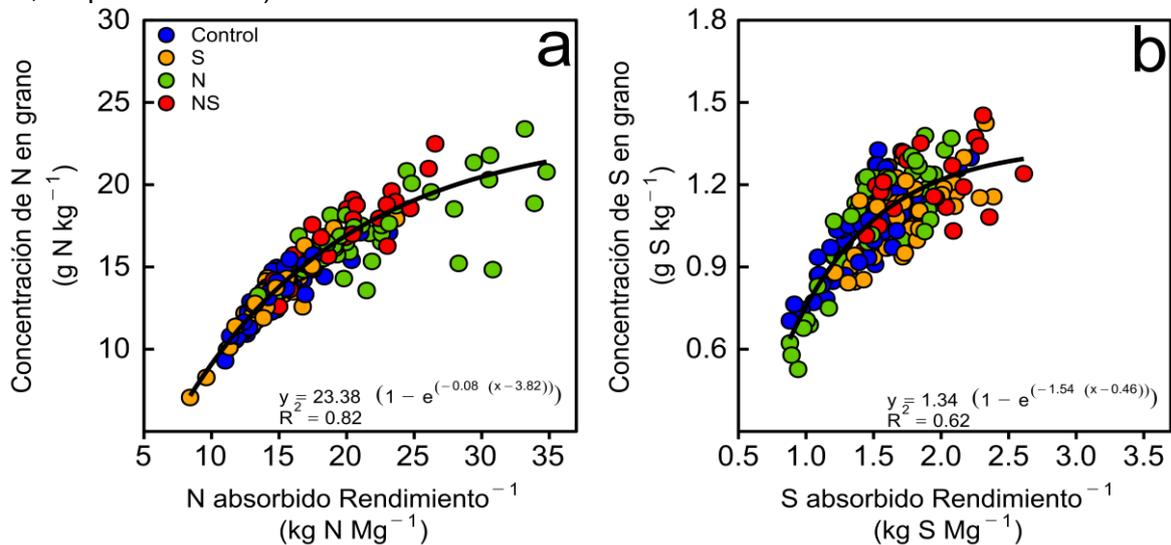


Figura 2. Relación entre la concentración de nutriente en grano y la cantidad de nutriente absorbido por unidad de rendimiento. a) Nitógeno, b) Azufre.

El ICN se asoció negativamente con Nabs/R hasta llegar a un valor constante. De manera similar, el ICS se asoció negativamente con el Sabs/R. En ambos nutrientes, el modelo lineal-plateau presentó un mejor ajuste respecto a un modelo lineal simple ( $p < 0.001$ ). Si bien ambas relaciones en su fase lineal fueron negativas, las tasas de disminución fueron mayores en S que en N (Fig. 3)

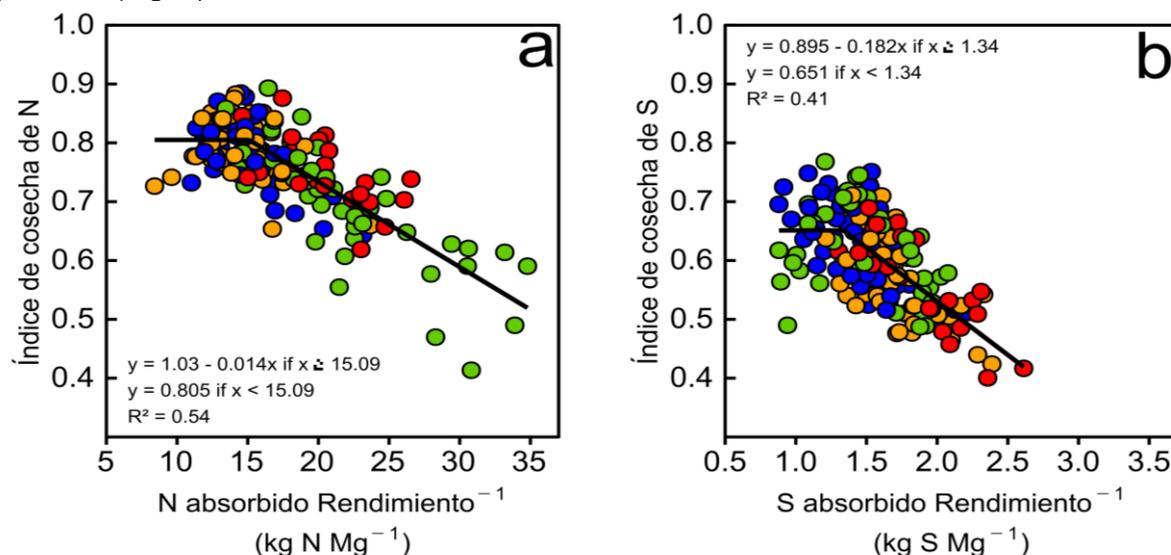


Figura 3. Relación entre el índice de cosecha de nutriente y la cantidad de nutriente absorbido por unidad de rendimiento. c) Nitógeno, d) Azufre.

Dado que los rangos observados de concentración y de índice de cosecha fueron similares entre N y S se pudo comparar las relaciones observadas (i.e. CNUG vs NUabs/R y ICNU vs NUabs/R) entre ambos nutrientes. El incremento de la concentración de nutriente en grano es proporcional al incremento de la abundancia de ambos nutrientes en el cultivo (NUabs/R) hasta alcanzar un incremento de  $\sim 132$  y  $69\%$  para N y S, respectivamente (Fig. 4.a).

Mientras que la tasa de incremento en CNG disminuye fuertemente por encima de 16.4 g N kg<sup>-1</sup>, en el caso de CSG sucede a partir de valores por encima de 0.89 g S kg<sup>-1</sup>. El ICS disminuyó ~ 38% más que ICN en las situaciones en las que el cultivo absorbió el doble de la cantidad de nutriente, por encima de 15 kg N Mg<sup>-1</sup> y 1.3 kg S Mg<sup>-1</sup> (Fig. 4.b)

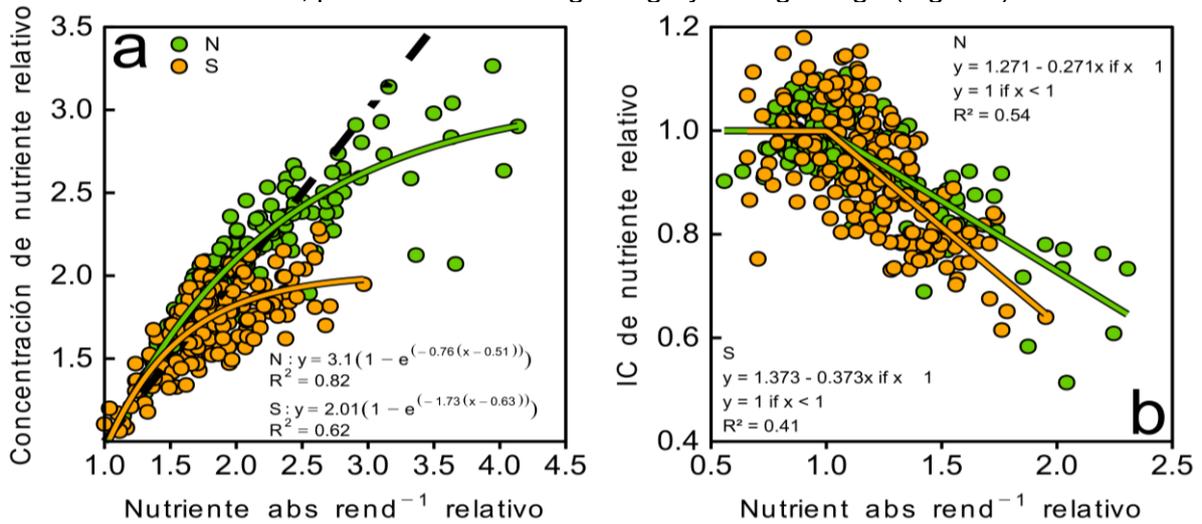


Figura 4. a) Relación entre concentración de nutriente en grano relativo y la cantidad de nutriente absorbido por unidad de rendimiento. La línea punteada indica la relación 1:1. b) Relación entre el índice de cosecha de nutriente relativo y la cantidad de nutriente absorbido por unidad de rendimiento. Los símbolos y líneas verdes corresponden a N, mientras que los anaranjados a S.

La relación N:S en grano presentó un mayor grado de asociación con Nabs/R respecto a Sabs/R (Fig. 5). La relación observada entre la relación N:S en grano y Sabs/R, está fuertemente influenciada por la nutrición nitrogenada del cultivo (Fig. 5. b).

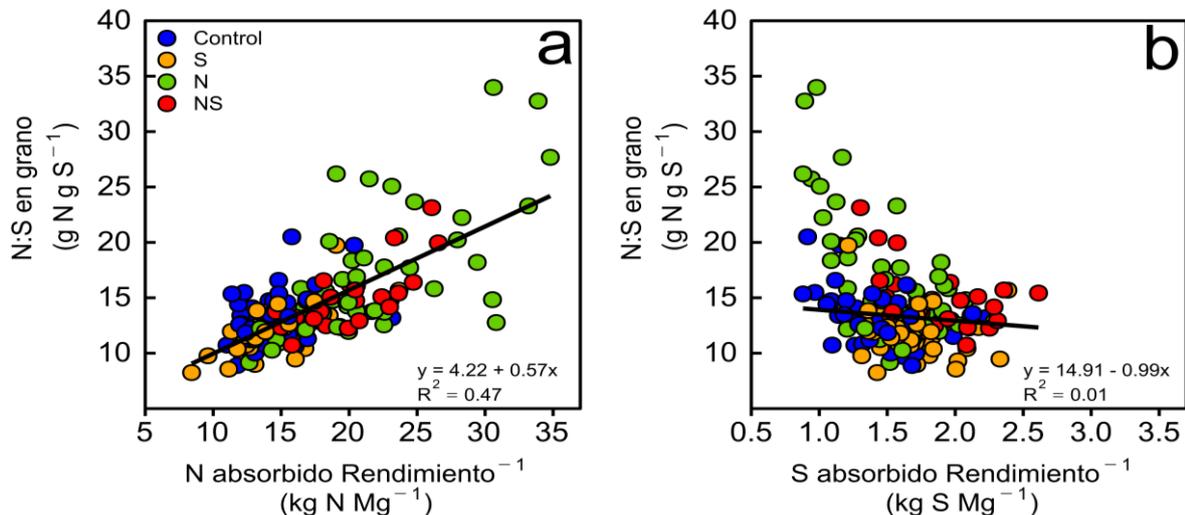


Figura 5. Relación entre la relación N:S en grano y la cantidad de nutriente absorbido por unidad de rendimiento. a) Nitrógeno. b) Azufre.

## DISCUSIÓN

Las relaciones observadas positivas y curvilíneas entre rendimiento y N absorbido fue similar a las observadas por otros autores en distintos cultivos y nutrientes (Setiyono et al., 2010; Xu et al., 2015). La relación entre CNG y el Nabs/R presentó una tendencia curvilínea (Fig. 2.a), de manera similar a lo reportado en trabajos previos (Sadras, 2006). CNG explicó la mayor proporción de la varianza de NIE, en concordancia a lo observado por Sadras, (2006). La SIE correspondiente a la mediana fue similar a la estimada en maíz por otros autores (i.e. 690 kg

ks S<sup>-1</sup>, Carciochi et al., 2020). Al igual que en N, la mayor variabilidad del SIE fue atribuible a cambios en CSG. Cabe destacar que una mayor proporción de varianza fue atribuida a cambios en el ICS respecto a lo estimado en N (28.1 vs 18.3%, para ICS e ICN, respectivamente). El hecho de que CSG alcance el plateau frente a incrementos en Sabs/R menores respecto a lo que ocurre en el caso de N (Fig. 4.a), permitiría explicar la nula y/o pequeña e inconsistente modificación de CSG en situaciones donde no se observó respuesta del rendimiento al agregado de S en distintos cereales (Lerner et al., 2006; Zhao et al., 2006). La relación N:S en grano es sensible a la abundancia de S en el cultivo, en situaciones de suficiencia nitrogenada (Fig 5.b). Esto está en concordancia a lo observado por varios autores, donde tanto la CSG como la relación N:S en grano se modifica frente al agregado de N y no de S (Lerner et al., 2006; Zhao et al., 2006).

## CONCLUSIONES

La concentración de N y S en grano incrementan frente a una mayor cantidad de nutriente absorbido por unidad de rendimiento. Sin embargo, a partir de cierto nivel de N y S absorbido por unidad de rendimiento, el ICN y el ICS disminuyen frente al incremento en las cantidades de nutriente absorbido por unidad de rendimiento. El ICS disminuye más marcadamente respecto a lo que lo hace el ICN. Como consecuencia, la relación N:S en grano depende en gran medida de Nabs/R.

## BIBLIOGRAFIA

- Carciochi, W.D.; Sadras, V.O.; Pagani, A. & Ciampitti, I.A. 2020. Co-limitation and stoichiometry capture the interacting effects of nitrogen and sulfur on maize yield and nutrient use efficiency. *European Journal of Agronomy*, 113: 125973.
- Dobermann, A. & Cassman, K. 2002. Plant nutrient management for enhanced productivity in intensive grain production systems of the United States and Asia. *Plant and Soil*, 247: 153-175.
- Janssen, B.H. 1998. Efficient use of nutrients. An art of balancing. *Field Crops Research*, 56: 197-201.
- Lerner, S.; Seghezzo, M.; Molfese, E.; Ponzio, N.; Cogliatti, M. & Rogers, W. 2006. N- and S-fertiliser effects on grain composition, industrial quality and end-use in durum wheat. *Journal of Cereal Science*, 44: 2-11.
- Sadras, V.O. 2006. The N:P stoichiometry of cereal, grain legume and oilseed crops. *Field Crops Research*, 95: 13-29.
- Setiyono, T.; Walters, D.; Cassman, K.; Witt, C. & Dobermann, A. 2010. Estimating maize nutrient uptake requirements. *Field Crops Research*, 118: 158-168.
- van Keulen H., y H.D.J. van Heermst. 1982. Crop response to the supply of macronutrients. *Agric. Res. Rep. 916, C. Agric. Publ. Doc., Wageningen*, 45 p.
- Xu, X.; Xie, J.; Hou, Y.; He, P.; Pampolino, M. F.; Zhao, S.; Qiu, S.; Johnston, A. M. & Zhou, W. 2015. Estimating nutrient uptake requirements for rice in China. *Field Crops Research*, 180: 37-45.
- Xu, X.; Xie, J.; Hou, Y.; He, P.; Pampolino, M. F.; Zhao, S.; Qiu, S.; Johnston, A. M. & Zhou, W. 2015. Estimating nutrient uptake requirements for rice in China. *Field Crops Research*, 180: 37-45.
- Zhao, F.; Fortune, S.; Barbosa, V.; McGrath, S.; Stobart, R.; Bilsborrow, P.; Booth, E.; Brown, A. & Robson, P. 2006. Effects of sulphur on yield and malting quality of barley. *Journal of Cereal Science*, 43: 369-377.