

**CONTENIDO DE NITRÓGENO EN GRANO EN TRIGO Y CEBADA
CERVECERA ANTE CONDICIONES CONTRASTANTES DE FUENTE -
DESTINO EN POST-ANTESIS**

*Trabajo presentado para optar al título de
Especialista en cultivos de granos*

María Lujan Acosta Duarte
Ingeniera Agrónoma - Universidad Nacional de Asunción- 2010



*Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano
Facultad de Agronomía - Universidad de Buenos Aires*

COMITÉ CONSEJERO

Director de tesis

Leonor Gabriela Abeledo

Ingeniera Agrónoma (Universidad de Buenos Aires)

Doctora en Ciencias Agropecuarias (Universidad de Buenos Aires)

JURADO DE TESIS

Director de tesis

Leonor Gabriela Abeledo

Ingeniera Agrónoma (Universidad de Buenos Aires)

Doctora en Ciencias Agropecuarias (Universidad de Buenos Aires)

JURADO

Carla Caputo

Licenciada en Ciencias Biológicas (Universidad de Buenos Aires)

Doctora en Ciencias Biológicas (Universidad de Buenos Aires)

JURADO

Guillermo García

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Buenos Aires)

Magister en Producción Vegetal (Universidad de Buenos Aires)

Fecha de defensa de la tesis: 29 de septiembre de 2014

DEDICATORIA

A Dios, a mi familia, a Ricardo y a mis amigos

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, porque creyeron en mí y porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera, y porque el orgullo que sienten por mí, fue lo que me hizo ir hasta el final. Va por ustedes, por lo que valen, porque admiro su fortaleza y por lo que han hecho de mí.

A mis Abuelos, principales precursores de que este sueño se cumpla, gracias por decirme “Cuando termines tu tesis de grado deberás tener lista la valija y salir al exterior para realizar un post-grado, no te vas a arrepentir” gracias por darme tan sabios consejos, que nunca voy a terminar de agradecerseles.

A mis hermanos, sobrinos y cuñados, gracias por formar parte de este logro y contar siempre con su valioso apoyo, sincero e incondicional.

A Gabriela Abeledo, por formar parte esencial de este logro, por ser mi orientadora y principal guía, por sus enseñanzas, dedicación, paciencia y tiempo para la elaboración del trabajo de tesis, estoy infinitamente agradecida.

A Ricardo Ramos, por ser mi compañero y consejero en esta etapa de mi vida, gracias por darme fuerzas y alentarme en esos momentos en cuales me sentía sin ganas de avanzar y dejar todo atrás, este sueño comenzamos juntos y espero que lo podamos terminar juntos también, por todos estos años vividos y muchos más, muchas gracias.

A Daniel Miralles y Betina Kruk, por sus aportes, corrección, seguimiento, y por sobre todas las cosas gracias por el tiempo que me han brindado para que este trabajo sea culminado de la mejor manera posible.

A Daniela González y Catalina Ferrari por la implantación del ensayo, su conducción y relevamiento de las mediciones a campo. A Silvina Enciso por su colaboración, asistencia y tiempo dedicado en los análisis de laboratorio.

Y por último agradecer a todas aquellas personas que de una u otra manera han contribuido para el logro de mis objetivos.

DECLARACIÓN

Declaro que el material incluido en este trabajo es, a mi mejor saber y entender, original producto de mi propio labor (salvo en la medida en que se identifique explícitamente las contribuciones de otros), y que este material no lo he presentado, en forma parcial o total, en ésta u otra institución.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Importancia de trigo y cebada como cultivos	1
1.2. Generación del rendimiento en trigo y cebada	1
1.3. Limitación de carbono y nitrógeno durante el llenado de los grano	3
2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	6
3. MATERIALES Y MÉTODOS	7
3.1. Condición experimental y conducción del ensayo	7
3.2. Mediciones realizadas	8
3.3. Análisis de los resultados	10
4. RESULTADOS	11
4.1. Condiciones generales del ensayo	11
4.2. Efecto general de los tratamientos sobre el porcentaje de nitrógeno en grano	12
4.3. Efecto del desespiguillado sobre el porcentaje de nitrógeno de los granos del vástago principal	13
4.4. Efecto de la defoliación parcial sobre el porcentaje de nitrógeno en grano del vástago principal	14
4.5. Efecto de la defoliación total sobre el porcentaje de nitrógeno en grano del vástago principal	15
4.6. Diferencias en la respuesta del porcentaje de nitrógeno en grano entre cultivares y entre el vástago principal y los macollos ante variaciones en la relación fuente-destino	16
4.7. Cambio relativo en el peso de los granos y el contenido absoluto de nitrógeno en grano y su relación con el porcentaje de nitrógeno	18
5. DISCUSIÓN	23
6. CONCLUSIONES	25
7. BIBLIOGRAFÍA	26

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Análisis de varianza para el porcentaje de nitrógeno de los granos (PNG) del vástago principal considerando el efecto cultivar, fertilización y tratamientos de fuente – destino (F:D). Se indica la suma de cuadrados, el porcentaje de la suma de cuadrados de cada fuente de variación (excluyendo los residuales) y el nivel de probabilidad. **13**

Cuadro 2. Porcentaje de nitrógeno en los granos (PNG) del vástago principal (VP) en el cultivar de trigo Baguette 13 (Trg) y el cultivar de cebada Scarlett (Ceb) ante modificaciones en la relación fuente – destino (F:D) durante el período de llenado de los granos: control y desespiguillado al 50% a los 7, 14, 21 y 28 días desde antesis (DE 7, DE 14, DE 21, DE 28, respectivamente). Datos promedio para las condiciones de baja y alta disponibilidad de N en suelo a siembra. Dentro de cada columna, letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas (test de Tukey, $p \leq 0,05$). **13**

Cuadro 3. Porcentaje de nitrógeno en los granos (PNG) del vástago principal (VP) en el cultivar de trigo Baguette 13 (Trg) y el cultivar de cebada Scarlett (Ceb) ante modificaciones en la relación fuente – destino (F:D) durante el período de llenado de los granos: control y defoliación parcial (manteniendo la hoja bandera) a los 7, 14, 21 y 28 días desde antesis (HB 7, HB 14, HB 21, HB 28, respectivamente). Datos promedio para las condiciones de baja (N0) y alta (N1) disponibilidad de N en suelo a siembra. Dentro de cada columna, letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas (test de Tukey, $p \leq 0,05$). **15**

Cuadro 4. Porcentaje de nitrógeno en los granos (PNG) del vástago principal (VP) en el cultivar de trigo Baguette 13 (Trg) y el cultivar de cebada Scarlett (Ceb) ante modificaciones en la relación fuente – destino (F:D) durante el período de llenado de los granos: control y defoliación total (cultivo sin hojas) a los 7, 14, 21 y 28 días desde antesis (SH 7, SH 14, SH 21, SH 28, respectivamente). Datos promedio para las condiciones de baja (N0) y alta (N1) disponibilidad de N en suelo a siembra. Dentro de cada columna, letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas (test de Tukey, $p \leq 0,05$). **16**

Cuadro 5. Peso del grano y contenido absoluto de nitrógeno del grano (CANG) del vástago principal (VP) y de los macollos (MAC) en el cultivar de trigo Baguette 13 (Trg) y el cultivar de cebada Scarlett (Ceb) en condiciones de baja (N0) y alta (N1) disponibilidad de N en suelo a siembra correspondiente a la situación control. Dentro de cada columna, letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas (test de Tukey, $p \leq 0,05$). **18**

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Porcentaje de proteína en grano y rendimiento para dosis crecientes de aplicación de fertilizante nitrogenado en suelo. Adaptado de Fishcer (1993)..... **4**
- Figura 2.** Rendimiento del cultivar de trigo Baguette 13 (Trg) y del cultivar de cebada Scarlett (Ceb) creciendo en baja (N0) y alta (N1) disponibilidad de N a siembra en suelo. **11**
- Figura 3.** Porcentaje de nitrógeno en grano (PNG) correspondiente a la situación control comparando (a) el cultivar de trigo Baguette 13 (Trg) y el cultivar de cebada Scarlett (Ceb), (b) baja (N0) y alta (N1) disponibilidad de N a siembra en suelo, y (c) en granos provenientes del vástago principal (VP) o de los macollos (MAC). **12**
- Figura 4.** Cambio relativo respecto al control en el porcentaje de nitrógeno en los granos (PNG) del vástago principal (VP) del (a) cultivar de trigo Baguette 13 (Trg) y (b) el cultivar de cebada Scarlett (Ceb), creciendo con baja (N0) y alta (N1) disponibilidades de N en suelo a siembra, ante modificaciones en la relación fuente - destino (F:D) durante el período de llenado de los granos: desespiguillado del 50% a los 7, 14, 21 y 28 días desde antesis (DDA). El cambio relativo fue calculado respecto a cada control de disponibilidad de N. La línea punteada horizontal indica el tratamiento control. Las barras representan \pm un error estándar de la media. **14**
- Figura 5.** Cambio relativo respecto al control en el porcentaje de nitrógeno en los granos (PNG) del vástago principal (VP) del (a) cultivar de trigo Baguette 13 (Trg) y (b) el cultivar de cebada Scarlett (Ceb), creciendo con baja (N0) y alta (N1) disponibilidades de N en suelo a siembra, ante modificaciones en la relación fuente - destino (F:D) durante el período de llenado de los granos: defoliación parcial a los 7, 14, 21 y 28 días desde antesis (DDA). El cambio relativo fue calculado respecto a cada control de disponibilidad de N. La línea punteada horizontal indica el tratamiento control. Las barras representan \pm un error estándar de la media..... **15**
- Figura 6.** Cambio relativo respecto al control en el porcentaje de nitrógeno en los granos (PNG) del vástago principal (VP) del (a) cultivar de trigo Baguette 13 (Trg) y (b) el cultivar de cebada Scarlett (Ceb), creciendo con baja (N0) y alta (N1) disponibilidades de N en suelo a siembra, ante modificaciones en la relación fuente - destino (F:D) durante el período de llenado de los granos: defoliación total a los 7, 14, 21 y 28 días desde antesis (DDA). El cambio relativo fue calculado respecto a cada control de disponibilidad de N. La línea punteada horizontal indica el tratamiento control. Las barras representan \pm un error estándar de la media. **16**
- Figura 7.** Cambio relativo respecto al control en el porcentaje de nitrógeno en los granos del vástago principal (VP) de cebada en función del obtenido para trigo ante modificaciones en la relación fuente - destino (F:D) durante el período de llenado de los granos: desespiguillado del 50%, defoliación parcial (HB) y defoliación total (SH). Las líneas punteadas vertical y horizontal indican el tratamiento control. La línea punteada diagonal indica la relación 1:1. Las barras representan \pm un error estándar de la media. **17**
- Figura 8.** Porcentaje de nitrógeno en grano (PNG) de los macollos (MAC) y del vástago principal (VP) para el cultivar de trigo Baguette 13 (Trg) y de cebada Scarlett (Ceb). La línea punteada diagonal indica la relación 1:1. **18**

Figura 9. Cambio relativo respecto al control en el porcentaje de nitrógeno en grano y en el peso seco de los granos para el cultivar de trigo Baguette 13 (Trg) y de cebada Scarlett (Ceb) ante (a) desespiguillados del 50% (DE), (b) defoliación de todas las hojas a excepción de la hoja bandera (HB), y (c) defoliación total (cultivo sin hojas, SH) a los 7, 14, 21 o 28 días desde antesis. Los datos corresponden a los datos por separado del vástago principal (VP) y macollos (MAC) en condiciones de baja (NO) y alta (N1) disponibilidad de N en suelo a la siembra en cada cultivar. Las líneas punteadas vertical y horizontal indican el tratamiento control. La línea punteada diagonal indica la relación 1:1.**20**

Figura 10. Cambio relativo respecto al control en el porcentaje de nitrógeno en grano y en el contenido absoluto de nitrógeno en los granos para el cultivar de trigo Baguette 13 (Trg) y de cebada Scarlett (Ceb) ante (a) desespiguillados del 50% (DE), (b) defoliación de todas las hojas a excepción de la hoja bandera (HB), y (c) defoliación total (cultivo sin hojas, SH) a los 7, 14, 21 o 28 días desde antesis. Los datos corresponden a los datos por separado del vástago principal (VP) y macollos (MAC) en condiciones de baja (NO) y alta (N1) disponibilidad de N en suelo a la siembra en cada cultivar. Las líneas punteadas vertical y horizontal indican el tratamiento control. La línea punteada diagonal indica la relación 1:1.**22**

ABREVIATURAS

C: carbono

CANG: contenido absoluto de nitrógeno en los granos (mg grano^{-1})

Ceb: cebada

Cul: cultivar

DDA: días desde anthesis

DE: tratamiento fuente - destino de desespiguillado

HB: tratamiento fuente - destino de disminución parcial en el tamaño de la fuente actual
(defoliación de todas las hojas verdes del cultivo con excepción de la hoja bandera)

MAC: macollos

PG: peso del grano (mg grano^{-1})

PNG: porcentaje de nitrógeno en los granos (%)

PPG: porcentaje de proteína en los granos (%)

F:D: relación fuente - destino

N: nitrógeno

N0: tratamiento de baja disponibilidad de nitrógeno en suelo (57 kg N ha^{-1})

N1: tratamiento de alta disponibilidad de nitrógeno en suelo (130 kg N ha^{-1})

SH: tratamiento fuente - destino de supresión total en el tamaño de la fuente foliar
actual (defoliación de todas las hojas verdes del cultivo)

VP: vástago principal

Trg: trigo

RESUMEN

Trigo y cebada son cultivos con un alto grado de difusión a nivel mundial. Ambos son importantes como especies cultivables debido a la utilidad que poseen sus granos. El principal destino de trigo es la industria harinera y el de cebada la industria maltera. Estas industrias requieren que el grano posea un porcentaje de proteína determinado. El objetivo general del trabajo fue analizar en forma comparada para trigo y cebada las variaciones en el porcentaje de nitrógeno en el grano ante modificaciones en la relación fuente - destino en post-antesis. Los factores considerados en el análisis fueron (i) un cultivar de trigo y cebada, (ii) dos niveles contrastantes de disponibilidades de nitrógeno en suelo a siembra (57 kg N ha^{-1} , N0; 130 kg N ha^{-1} , N1), (iii) variaciones en la relación fuente - destino (F:D) a lo largo del período de llenado (7, 14, 21 y 28 días desde antesis), dadas por (iii.1) sin modificación en la relación fuente - destino (control), (iii.2) incremento en la disponibilidad de recursos por grano mediante desespiguillado (tratamiento DE), (iii.3) disminución parcial en el tamaño de la fuente foliar actual (defoliación de todas las hojas verdes del cultivo con excepción de la hoja bandera, tratamiento HB), y (iii.4) supresión total en el tamaño de la fuente foliar actual (defoliación de todas las hojas verdes, tratamiento SH). El desespiguillado en trigo aumentó el porcentaje de nitrógeno en grano (PNG) independientemente del momento en el cual se realizó dicho tratamiento, y con mayor efecto en la situación NO que N1. En cebada, solo el tratamiento DE 7 generó incrementos en el PNG respecto al control. Por consiguiente, la limitación por nitrógeno post-antesis fue mayor en trigo que en cebada y se evidenció hasta estados intermedio - avanzados del período de llenado. Los tratamientos de defoliaciones parciales o totales no presentaron diferencias en PNG con respecto a la situación control en ningún momento del periodo de llenado en el que se realizó el tratamiento en ninguno de los cultivares. La respuesta del PNG a los cambios F:D de granos provenientes del vástago principal fue semejante a la de los granos de los macollos.

PALABRAS CLAVES:

trigo, cebada, relación fuente - destino post-antesis, porcentaje de nitrógeno en grano

ABSTRACT

Wheat and barley are crops with a remarkable worldwide spreading. Both species are important due to their grains use. Bread bakery industry is wheat's main destiny while barley is predominantly destined to the malting industry. Both industries demand specific grain protein contents. The main objective of the present work was to comparatively analyse wheat and barley grain nitrogen percentage variations in response to changes in the source - sink relationship during post-anthesis. Factors considered in the analysis were: (i) one wheat cultivar and one barley cultivar, (ii) two contrasting soil nitrogen levels at sowing (57 kg N ha^{-1} , N0; 130 kg N ha^{-1} , N1), (iii) variations in the source - sink relationship (F:D) during the grain filling period (7, 14, 21 y 28 days after anthesis): (iii.1) control, (iii.2) increase in the nitrogen source - sink relationship (spikelet-trimming, DE treatment), (iii.3) partial decrease in the nitrogen foliar source (complete defoliation excepting flag leaf, HB treatment), (iii.4) complete decrease in the nitrogen foliar source (complete defoliation, SH treatment). Spikes trimming increased grain nitrogen percentage (PNG) in wheat independently of the day after anthesis when the treatment was imposed, and this effect was higher under the N0 condition than under N1. In barley, only the DE 7 treatment increased PNG respect to the control. Thus, post-anthesis nitrogen limitation was higher in wheat than in barley and evident up to intermediate stages of the grain filling period. The HB and SH treatments did not provoke changes in PNG respect to the control in any stage of the grain filling period in either wheat or barley. Variations in PNG in response to the F:D treatments was similar between main stem grains and tiller grains.

KEYWORDS:

wheat, barley, post-anthesis source-sink ratio, grain nitrogen concentration

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Importancia de trigo y cebada como cultivos

Trigo y cebada son cultivos con un alto grado de difusión a nivel mundial. La producción mundial de trigo en el año 2012 fue de aproximadamente 660 millones de toneladas, con una superficie cosechada de 220 millones de hectáreas (FAO, 2013). Por otra parte, cebada tuvo una producción y superficie cosechada a nivel mundial en el año 2012 de 134 millones de toneladas y 48,6 millones de hectáreas respectivamente. Ambos cultivos son importantes como especies cultivables debido a la utilidad que poseen sus granos. El principal destino de trigo es la industria harinera. A nivel mundial, el cultivo de cebada es destinado principalmente al consumo animal; sin embargo, dentro de América del Sur uno de sus destinos prioritarios es la industria maltera.

Las partidas de trigo destinadas a la industria harinera, así como las partidas de cebada enviadas a la industria maltera, requieren que el grano posea un porcentaje de proteína determinado para ser utilizados. La concentración de proteína en grano es uno de los principales criterios que figuran en las especificaciones de comercialización y calidad, tanto para el procesamiento como para la exportación de granos (Bancal, 2009). El concepto de calidad es variable ya que depende del criterio especificado con relación al mercado y a la industria que utilice dichos granos y, además, es dinámico, ya que se modifica en el tiempo con los distintos usos y necesidades de cada región o país (Savin y Sorlino, 2004). Las normas de calidad para la comercialización de trigo en Argentina establecen que el contenido de proteína en grano debe ser mayor del 11%, mientras que para la cebada se requiere que el contenido de proteína en grano se mantenga dentro de un rango de proteína dado (entre 10 y 12% de proteína en grano).

1.2. Generación del rendimiento en trigo y cebada

A lo largo de su ciclo, los cultivos de trigo y cebada atraviesan distintos estados fenológicos que pueden ser analizados considerando cinco etapas (Slafer et al., 2004; Miralles et al., 2011). La primer etapa es la de pre-emergencia y abarca de siembra a emergencia; durante esta etapa tiene lugar el crecimiento de la radícula y de los órganos encargados de la emergencia de la plántula (el epicótilo y el coleótilo). La segunda etapa, denominada de pre-macollaje, comienza con la emergencia de la primer hoja por sobre la superficie del suelo y se extiende hasta la aparición de la cuarta hoja. Durante

esta segunda etapa se observa la aparición y crecimiento de hojas, donde cada hoja emerge desde un falso tallo formado por las vainas de las hojas ya aparecidas. Las hojas continúan apareciendo desde ese falso tallo y en un momento dado, coincidiendo con la aparición de la cuarta hoja, comienza también la aparición de macollos desde el interior de las vainas de las hojas. Este es el comienzo de la tercer etapa conocida como etapa de macollaje. La cuarta etapa comienza con la elongación de los entrenudos del tallo (etapa de encañazón), proceso que determina el cese de la aparición de macollos y mortandad de los macollos más pequeños. En esta cuarta etapa continúan a su vez apareciendo hojas hasta que aparece la última hoja (denominada hoja bandera) y se observa luego la espiga encerrada dentro de la vaina de la hoja bandera (estado de vaina engrosada). Posteriormente, con la elongación del pedúnculo de la espiga (último entrenudo), tiene lugar la emergencia de la espiga (espigazón) por sobre la última hoja. La hoja bandera en cebada se caracteriza por presentar un tamaño sensiblemente inferior al de las restantes hojas e inferior también al tamaño de la hoja bandera de trigo. Tanto trigo como cebada son especies cleistógamas pero una diferencia adicional entre ambas es que en trigo el estado de antesis (liberación de polen por parte de las anteras) tiene lugar con posterioridad a la espigazón mientras que antesis en cebada se produce inmediatamente luego del estado de vaina engrosada (cuando las aristas de la espiga emergen 3-4 cm por sobre la última hoja) y previo a la espigazón (Miralles et al., 2011; Fernández Gómez y Wilson, 2012). Entre antesis y madurez tiene lugar la etapa de llenado de los granos (quinta y última etapa del ciclo del cultivo). Durante la etapa de llenado de grano se pueden reconocer 3 fases: (i) la fase lag, en la que tiene lugar la diferenciación de las células del endosperma pero no se evidencia crecimiento activo del grano, y (ii) la etapa de llenado efectivo de los granos hasta que se alcanza el estado de madurez fisiológica, y (iii) posteriormente madurez de cosecha.

El rendimiento en grano de un cultivo queda definitivamente establecido recién al finalizar su ciclo ontogénico y alcanzar el estado de madurez. Sin embargo, el rendimiento se genera a lo largo de toda la ontogenia debido al aporte que van realizando las distintas estructuras que lo componen (Slafer et al., 2004). Los principales componentes numéricos en los cultivos de trigo y cebada son el número de granos establecidos por unidad de área y el peso de los granos. Ambos componentes quedan definidos en momentos determinados del ciclo.

El número de granos establecidos por unidad de área se encuentra asociado, para una densidad de siembra dada, a la cantidad de espigas establecidas por planta y a la

cantidad de granos que posee cada espiga. En los cultivos de trigo y cebada la cantidad de espigas por unidad de superficie depende del número de espigas provenientes del vástago principal más las provenientes de los macollos. Por otra parte, la cantidad de granos establecidos por espiga depende del número de espiguillas por espigas y de la cantidad de granos por espiguilla. Trigo se caracteriza por presentar espiguillas plurifloras, de forma tal que posee la capacidad de establecer más de un grano por espiguilla, presentando de dos a tres granos por espiguilla al momento de madurez. En América del Sur, la cebada destinada a la industria maltera es la denominada de dos hileras y se caracteriza por presentar solo una flor fértil por espiguilla, estableciéndose solo un grano por espiguilla. El número final de granos en trigo queda definido unos 10 días después de anthesis (Fischer, 1985), mientras que en cebada queda definido al momento de espigazón (Arisnabarreta y Miralles, 2008).

A pesar de que el número de granos por unidad de área es el componente que explica en mayor medida las variaciones en el rendimiento (Slafer et al., 2004), el peso de los granos es también un importante contribuyente al rendimiento (Borrás et al., 2004). El peso de los granos se establece durante la etapa de llenado de los granos y queda definido en madurez fisiológica. En dicha etapa se establece también el contenido de nitrógeno (N) de los granos. La relación entre la deposición de carbono y la de N condiciona el porcentaje de dicho elemento en los granos. En trigo y cebada, el PNG posee una estrecha relación con el porcentaje de proteína en base a la siguiente equivalencia:

$$PPG (\%) = PNG (\%) \times 5,83 \quad (Eq. 1)$$

donde: *PPG* es el porcentaje de proteína en grano (expresado en %), *PNG* el porcentaje de nitrógeno en grano (%), y 5,83 un factor de conversión (Jones, 1926; Jones, 1931; FAO, 2003).

1.3. Limitación de carbono y nitrógeno durante el llenado de los grano

La disponibilidad de N en el suelo es una de las variables ambientales más importantes para la determinación de la concentración de proteína en grano. A nivel productivo, el uso de fertilizantes es la principal práctica de manejo utilizada para modificar el contenido de N en suelo. Si el contenido de N en suelo es deficiente, el establecimiento de proteína en grano disminuye ante incrementos del rendimiento (efecto dilución) (Figura 1, fase I), y a medida que aumenta la dosis de aplicación de N aumentan tanto la concentración de proteína como el rendimiento en grano (Figura 1,

fase II) (Fischer et al., 1993; Savin y Sorlino, 2004). Cuando el rendimiento alcanza su máximo, aplicaciones adicionales de N en suelo solo generan incrementos en la concentración de proteína en grano (zona de consumo de lujo) (Figura 1, fase III). Altos pesos de grano se relacionan negativamente con la concentración relativa de N en grano debido al efecto dilución (Triboi et al., 2006). A su vez, la fertilización incrementa la proporción de granos provenientes de los macollos, los cuales presentan granos de menor peso que los granos del vástago principal (de Ruiter, 1999; Arisnabarreta y Miralles, 2006; de San Celedonio et al., 2014).

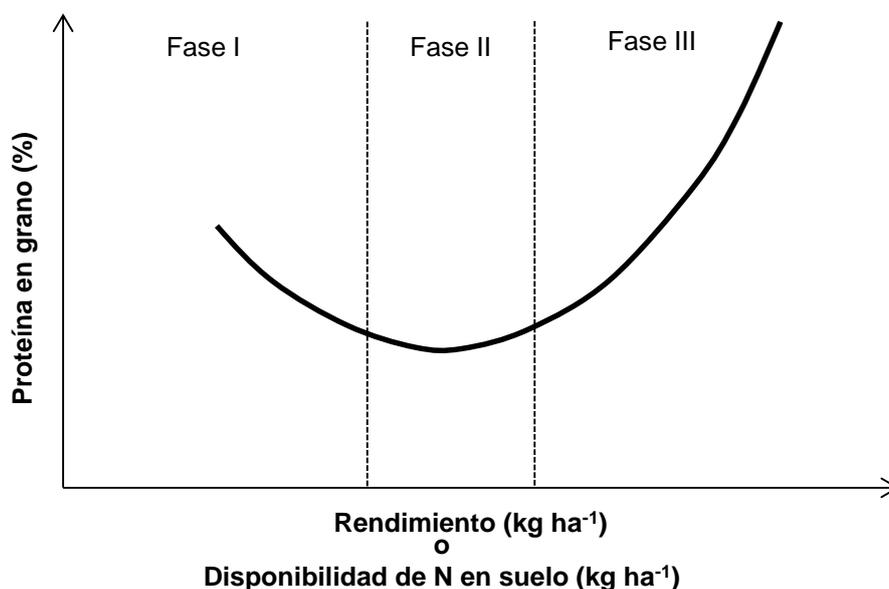


Figura 1. Porcentaje de proteína en grano y rendimiento para dosis crecientes de aplicación de fertilizante nitrogenado en suelo. Adaptado de Fishcer (1993).

El N presente en los granos a madurez proviene de: (i) absorción por parte del cultivo de N del suelo durante la etapa de llenado, y (ii) removilización hacia los granos de N acumulado en el cultivo durante la etapa de pre-antesis. La etapa de llenado de los granos se caracteriza por presentar una progresiva senescencia de hojas, lo cual libera una importante cantidad de N que es luego movilizado hacia los granos. La removilización es la mayor fuente de N para el llenado de los granos (Delogu et al., 1998; Bancal, 2009). Según estudios realizados por Triboi et al. (2006), bajo condiciones no limitantes de suministros de N en trigo aproximadamente el 80% del N acumulado en los granos proviene del N almacenado en la planta en pre-antesis. En cambio, en cebada, 10- 100% del N en grano es absorbido durante el crecimiento vegetativo y translocado luego durante el periodo de llenado de los granos (Przulj y

Momcilovic, 2001). Sin embargo, los factores que determinan los flujos de N durante el llenado de granos están lejos de ser claros (Bancal, 2009).

La manipulación de la relación fuente - destino (F:D) por reducción artificial en el número de granos por espiga (aumento en el tamaño de la fuente por grano debido a tratamientos de desespiguillado) o por defoliación (disminución en el tamaño de la fuente) constituye una estrategia para analizar si el cultivo se encuentra limitado por fuente o destino (Borrás et al., 2004). Trabajos realizados para condiciones diferentes (diferentes investigaciones trabajando con distintos fondos genéticos y ambientales, diferentes tipos de tratamientos, etc.), en los que se estudió la respuesta del peso final de los granos a manipulaciones F:D durante el llenado de granos en trigo, concluyeron que grandes cambios en la disponibilidad de asimilados (carbono) por grano produjeron cambios muy pequeños o despreciables en el peso de los granos (Slafer y Savin, 1994; Calderini y Reynolds, 2000; Borrás et al., 2004; Serrago et al., 2013). No obstante, otros resultados indican que durante esta etapa existe una co-limitación F:D (Acreche y Slafer, 2006). La misma tendencia fue observada para cebada (Dreccer et al., 1997; Bingham et al., 2007) aunque trabajos recientes demuestran que cebada presenta mayor limitación por fuente que trigo (Álvarez Prado et al., 2012). Estas evidencias indicarían que la cantidad de carbohidratos acumulados, y disponibles durante el periodo de llenado de granos, serían suficientes (o al menos no altamente limitantes) para asegurar la satisfacción de su demanda (Slafer et al., 2004). En oposición a la escasa limitación por carbono, distintos autores indicaron que tanto trigo (Martre et al., 2003; Triboi et al., 2006) como cebada (Dreccer et al., 1997; Voltas et al., 1997) presentan una clara limitación por fuente nitrogenada durante la etapa de llenado. Estos trabajos fueron realizados mediante manipulaciones F:D (desespiguillado) durante la etapa inmediatamente posterior a antesis (entre los 0 y 10 días después de antesis).

En resumen, la evidencia existente hasta el momento indica que trigo y cebada presentan baja limitación por carbono durante post-antesis (desespiguillar no genera modificaciones en el peso de los granos o, si las genera, son de escasa magnitud) (Slafer y Savin, 1994; Borrás et al., 2004); aunque sí presentan limitación por N durante post-antesis (desespiguillar incrementa el porcentaje de N de los granos) (Triboi et al., 2006; Dreccer et al., 2003). Sin embargo, no existen trabajos en los que ese análisis se haya realizado en forma conjunta para trigo y cebada. Ni tampoco se ha analizado cómo la limitación por N se modifica a medida que avanza el período de llenado de los granos.

2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Las **hipótesis** de trabajo planteadas fueron:

- a) Trigo y cebada presentarán similar grado de limitación por N en post-antesis, la cual disminuirá a medida que avanza el período de llenado de los granos.
- b) Ante cambios en la relación F:D, los granos de trigo y cebada provenientes de macollos presentarán mayor grado de respuesta en el PNG que aquellos provenientes del vástago principal.
- c) Aumentos en la disponibilidad de N por grano (tratamiento de desespiguillado) generarán incrementos en el PNG, debido a aumentos en el contenido absoluto de nitrógeno en los granos (CANG, mg grano^{-1}) sin que se generen modificaciones en el peso de esos granos ni en trigo ni en cebada.
- d) Disminuciones en la disponibilidad de N por grano (tratamientos de defoliación) generarán en trigo y cebada mermas en el PNG debido a caídas en el CANG más que a modificaciones en el peso de esos granos.

En base a dichas hipótesis, el **objetivo general** del trabajo fue analizar, en forma comparada para trigo y cebada, las variaciones en el contenido de nitrógeno en el grano ante modificaciones en la relación F:D en post-antesis.

Los **objetivos específicos** planteados fueron:

- a) Analizar si trigo y cebada presentan distinto grado de limitación por N en post-antesis
- b) Analizar si a lo largo del período de llenado de los granos se modifica el grado de limitación de N que presentan trigo y cebada
- c) Analizar si, para cada cultivar, la limitación por N difiere entre el vástago principal y los macollos.
- d) Analizar si las modificaciones en el PNG en trigo y cebada se deben a cambios en el peso de esos granos o en el CANG.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Condición experimental y conducción del ensayo

Se realizó un ensayo en el campo experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (FAUBA, 34° 35' S, 58° 29' O) combinando los siguientes factores:

(i) cultivar: se utilizó un cultivar de trigo (Trg) y otro de cebada (Ceb). El cultivar de Trg utilizado fue Baguette 13 y en el caso de Ceb fue Scarlett. Ambos cultivares se caracterizan por presentar alto potencial de rendimiento y similar fenología (medida como días a antesis). Al hacerse referencia a lo largo del texto a los resultados obtenidos con el cultivar de Trg o Ceb utilizados se hará referencia, con objeto de simplificar la redacción del texto, a trigo y cebada en sentido genérico sin que ello implique una referencia a la universalidad de cultivares de cada especie.

(ii) dos niveles contrastantes de disponibilidades de N a siembra. Para lograr las dos disponibilidades de N en suelo se tomaron muestras de suelo en pre-siembra y se cuantificó el contenido de nitratos (0-60 cm). El nivel de N en suelo (como nitratos) para la condición de baja disponibilidad nitrogenada (N0) fue de 57 kg N ha⁻¹. En la condición de alta disponibilidad nitrogenada (N1) el nivel total de N establecido fue de 130 kg N ha⁻¹, el cual se alcanzó considerando el nivel de nitratos original en suelo y una aplicación de urea una semana con posterioridad a la emergencia del cultivo.

(iii) variaciones en la relación fuente - destino a lo largo del período de llenado (7, 14, 21 y 28 días desde antesis, DDA) dadas por

(iii.1) sin modificación en la relación fuente - destino (control)

(iii.2) incremento en la disponibilidad de recursos por grano: desespiguillado del 50% en sentido longitudinal (Miralles y Slafer, 1995) (tratamiento DE),

(iii.3) disminución parcial en el tamaño de la fuente foliar actual: defoliación de todas las hojas verdes del cultivo con excepción de la hoja bandera (tratamiento HB), y

(iii.4) supresión total en el tamaño de la fuente foliar actual: defoliación de todas las hojas verdes del cultivo (tratamiento SH).

Los tratamientos (iii.2) a (iii.4) se realizaron tanto en el vástago principal (VP) como en los macollos (MAC) en diferentes momentos del estado de los cultivos (a los 7, 14, 21 y 28 días post-antesis) en una superficie correspondiente a 40 cm lineales y sus borduras (120 cm en total), manteniéndose a su vez una condición testigo en la cual no

se modificó la relación F:D (situación control). La nomenclatura utilizada a lo largo del presente trabajo para identificar los tratamientos fue AA XX, donde AA se refiere al tipo de relación fuente - destino (DE: desespiguillado; HB: disminución parcial en el tamaño de la fuente actual manteniendo la hoja bandera; SH: defoliación total) y XX se refiere al día desde antesis en el que se modificó la relación F:D (7, 14, 21 o 28 días desde antesis).

La disposición del ensayo fue en parcelas divididas siguiendo un diseño en bloques completamente aleatorizados con tres repeticiones. Las parcelas principales correspondieron a la combinación de cultivar y disponibilidad de N en suelo y las subparcelas a las variaciones F:D. Cada parcela principal estuvo compuesta por 8 surcos separados a una distancia de 0,20 m y 3 m de largo. La separación entre parcelas principales fue de 1,5 m. La siembra se realizó mediante un sistema de cintas, las cuales habían sido previamente confeccionadas. En cada cinta se colocaron manualmente semillas distanciadas a 2 cm (equivalente a una densidad de 250 plantas por m²). El ensayo fue sembrado el 13 de julio de 2011 (González, 2012). A lo largo del ciclo del cultivo se realizaron riegos complementarios a las precipitaciones y se realizó control de malezas, plagas y enfermedades (González, 2012).

3.2. Mediciones realizadas

Fenología. Se registraron los estados de emergencia del cultivo, antesis y madurez fisiológica siguiendo la escala de Zadoks et al. (2014) para trigo. En el cultivar de cebada, especie en la cual la antesis tiene lugar previo a la espigazón, el momento de antesis se consideró cuando las aristas emergieron 3-4 cm por sobre la vaina de la hoja bandera (Miralles et al., 2011; Fernández Gómez y Wilson, 2012). Madurez fisiológica se estimó considerando la información recopilada por González (2012).

Rendimiento y peso de grano. Para medir rendimiento en madurez en la situación testigo de cada parcela principal (i.e. condición sin desespiguillar y sin defoliar) se muestreó 1 m lineal de plantas. De dichas plantas se separaron las espigas y se trillaron. Los granos se colocaron en estufa a 60 °C por 72 hs y luego se pesaron. El rendimiento fue expresado como peso seco. En madurez se cosecharon 8 plantas dentro de cada tratamiento F:D y 8 plantas para la condición testigo, diferenciándose las espigas correspondientes al VP y a los MAC, y se separaron sus granos. Los granos se contaron, luego se colocaron en estufa a 60 °C por 72 hs y posteriormente se pesaron, expresándose el peso de los granos en términos de peso seco.

El peso de los granos se analizó en valores absolutos (mg grano^{-1}) y en términos relativos respecto a cada control con objeto de comparar el efecto de los tratamientos. El peso seco relativo del grano respecto a su control se calculó como:

$$PSRG_{ijkl} = PG_{ijkl} (\text{mg}) \times PG_{control_{ijl}} \quad (\text{Eq. 2})$$

donde: $PSRG_{ijkl}$ es el peso seco relativo del grano respecto al control para el cultivar i creciendo en la disponibilidad de N en suelo j en el tratamiento F:D k para la categoría de grano l , PG_{ijkl} es el peso absoluto del grano del cultivar i creciendo en la disponibilidad de N en suelo j con el tratamiento F:D k para la categoría de grano l , y $PG_{control_{ijl}}$ es el peso absoluto del grano del cultivar i creciendo en la disponibilidad de N en suelo j para la condición sin manipulación F:D para la categoría de grano l .

Contenido de N en grano. Para calcular el contenido de N en grano, los granos fueron previamente molidos. El PNG en los granos se determinó a través del método de micro-Kjeldahl (AACC, 1987) en el Laboratorio de Nitrógeno de la Cátedra de Cerealicultura FAUBA. El contenido absoluto de nitrógeno (mg N por grano) en los granos se determinó como:

$$CANG = PG \times PNG \quad (\text{Eq. 3})$$

donde: $CANG$ es el contenido absoluto de nitrógeno en el grano (mg N grano^{-1}), PG es el peso del grano (mg), y PNG es el porcentaje de nitrógeno en el grano (mg N mg^{-1} en %).

Para realizar comparaciones entre tratamientos, el PNG se analizó en términos relativos respecto a cada control como:

$$PNGR_{ijkl} = PNG_{ijkl} (\text{mg}) \times PNG_{control_{ijl}} \quad (\text{Eq. 4})$$

donde: $PNGR_{ijkl}$ es el porcentaje de nitrógeno del grano respecto al control para el cultivar i creciendo en la disponibilidad de N en suelo j en el tratamiento F:D k para la categoría de grano l , PNG_{ijkl} es el porcentaje de nitrógeno del grano del cultivar i creciendo en la disponibilidad de N en suelo j con el tratamiento F:D k para la categoría de grano l , y $PNG_{control_{ijl}}$ es el porcentaje de nitrógeno del grano del cultivar i creciendo en la disponibilidad de N en suelo j para la condición sin manipulación F:D para la categoría de grano l .

Y el CANG relativo respecto a cada control se calculó como:

$$CANGR_{ijkl} = CANG_{ijkl} (\text{mg}) \times CANG_{control_{ijl}} \quad (\text{Eq. 5})$$

donde: $CANGR_{ijk}$ es el contenido absoluto de nitrógeno en el grano respecto al control para el cultivar i creciendo en la disponibilidad de N en suelo j en el tratamiento F:D k para la categoría de grano l , $CANG_{ijk}$ es el contenido absoluto de nitrógeno en el

grano del cultivar i creciendo en la disponibilidad de N en suelo j con el tratamiento F:D k para la categoría de grano l , y $CANGcontrol_{ij}$ es el contenido absoluto de nitrógeno en el grano del cultivar i creciendo en la disponibilidad de N en suelo j para la condición sin manipulación F:D para la categoría de grano l (mg N grano^{-1}).

3.3. Análisis de los resultados

Para determinar diferencias entre tratamientos para las variables en estudio se realizaron, usando el software estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2008), análisis de varianza (ANOVA) y, cuando correspondía, se empleó la prueba de test de Tukey para la comparación entre tratamientos con un nivel de significancia al 5%. Las asociaciones entre diferentes variables se establecieron por medio de análisis de regresión.

4. RESULTADOS

4.1. Condiciones generales del ensayo

La antesis tuvo lugar en ambos cultivares el 28 de octubre. La temperatura media explorada a lo largo del período de llenado fue de 19,6 °C, con una temperatura mínima media de 15,6 °C y una temperatura máxima media de 24,3 °C (la máxima temperatura absoluta alcanzada durante la etapa fue de 30,7 °C). Trigo alcanzó madurez fisiológica el 30 de noviembre y presentó, por consiguiente, una duración del período de llenado de 33 días (González, 2012). Cebada llegó a madurez fisiológica el 27 de noviembre y presentó una longitud de llenado de 30 días (González, 2012).

El rendimiento para la condición control presentó diferencias significativas por efecto de los tratamientos de fertilización ($p \leq 0,05$), siendo tanto en trigo como en cebada mayor el rendimiento en N1 que en N0 ($p \leq 0,05$) (Figura 2). El rendimiento de Ceb fue de 536 g m⁻² en N0 y 920 g m⁻² en N1, mientras que el rendimiento de Trg fue de 413 g m⁻² y 764 g m⁻² para los tratamientos sin (N0) o con fertilización (N1), respectivamente (Figura 2).

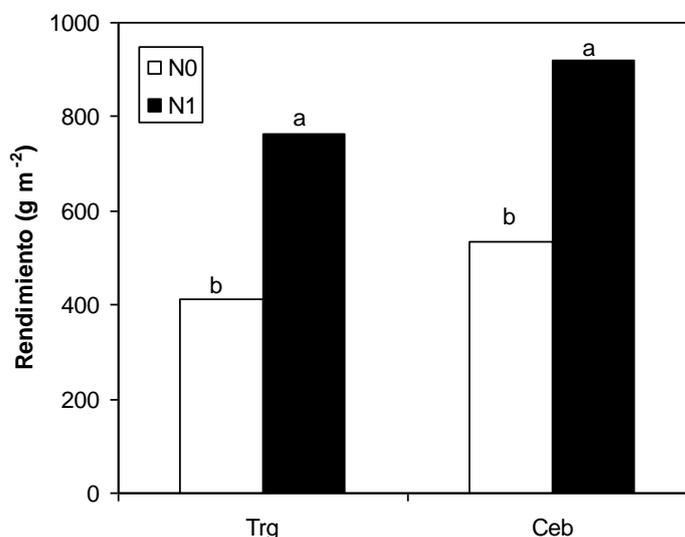


Figura 2. Rendimiento del cultivar de trigo Baguette 13 (Trg) y del cultivar de cebada Scarlett (Ceb) correspondiente a la situación control, creciendo en baja (N0) y alta (N1) disponibilidad de N a siembra en suelo.

Para la situación control, el PNG fue superior ($p \leq 0,001$) en Trg (1,75 %) que en Ceb (1,48 %) (Figura 3) y, a su vez, fue mayor para la condición de alta disponibilidad

de N a siembra que para la situación sin fertilizar (Figura 3). El PNG no fue en el control estadísticamente distinto ($p \geq 0,10$) entre el VP y los MAC (Figura 3).

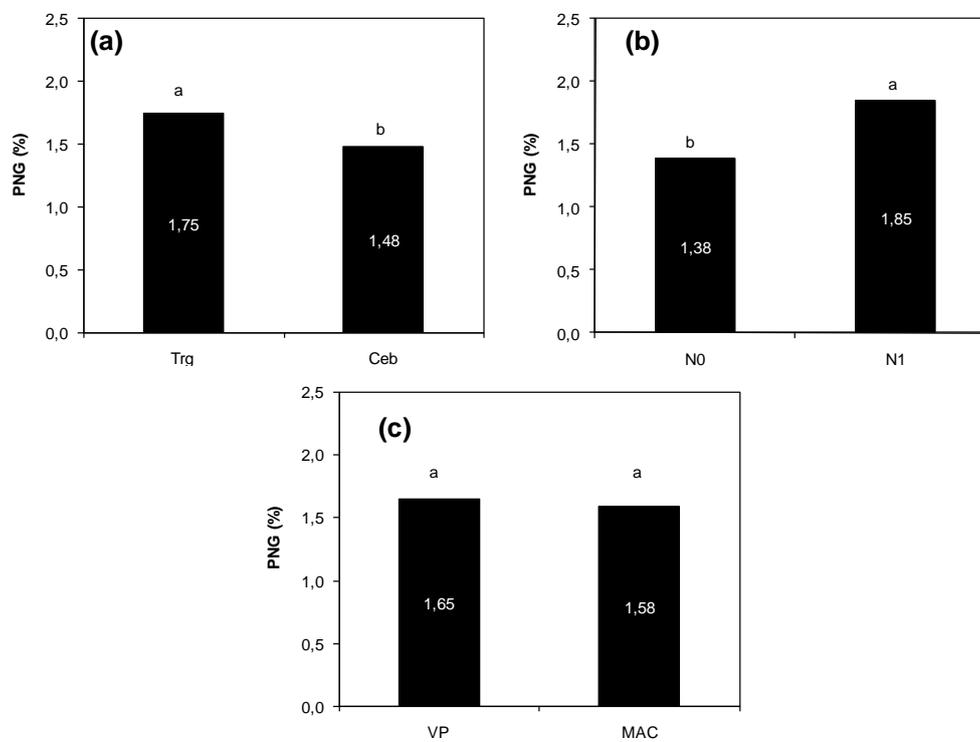


Figura 3. Porcentaje de nitrógeno en grano (PNG) correspondiente a la situación control comparando (a) el cultivar de trigo Baguette 13 (Trg) y el cultivar de cebada Scarlett (Ceb), (b) baja (N0) y alta (N1) disponibilidad de N a siembra en suelo, y (c) en granos provenientes del vástago principal (VP) o de los macollos (MAC).

4.2. Efecto general de los tratamientos sobre el porcentaje de nitrógeno en grano

Para el conjunto de datos, el PNG varió tanto por efecto cultivar como por efecto de los tratamientos de fertilización y F:D, con interacción triple entre dichos factores (Cuadro 1). Como resultado del análisis de varianza, se desprende que 38% del total de la suma de cuadrados (excluyendo residuales) correspondió al efecto directo de los tratamientos F:D, 32% al factor cultivar y 22% al efecto de los tratamientos de fertilización (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis de varianza para el porcentaje de nitrógeno (PNG) de los granos del vástago principal considerando el efecto cultivar, fertilización con N y tratamientos de fuente – destino (F:D). Se indica la suma de cuadrados, el porcentaje de la suma de cuadrados de cada fuente de variación (excluyendo los residuales) y el nivel de probabilidad.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	% de la suma de cuadrados	p
Cultivar (Cul)	9,457	32	***
Fertilización (N)	6,453	22	***
Tratamiento F:D (F:D)	11,298	38	***
Cul * N	0,073	0	ns
Cul * F:D	0,978	3	ns
N * F:D	0,668	2	ns
Cul * N * F:D	1,015	3	*
Residual	4,661		

ns no significativo ($p > 0,05$), * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, *** $p \leq 0,001$

4.3. Efecto del desespiguillado sobre el porcentaje de nitrógeno de los granos del vástago principal

El tratamiento DE en Trg aumentó el PNG independientemente del momento en el cual se realizó dicho tratamiento (Cuadro 2). En Ceb, solo el tratamiento DE 7 generó incrementos en el PNG respecto al control en dicha categoría de grano (Cuadro 2). A su vez, hubo efecto del factor cultivar, ya que el incremento en el PNG ante desespiguillados fue mayor en Trg que en Ceb.

Cuadro 2. Porcentaje de nitrógeno en los granos (PNG) del vástago principal (VP) en el cultivar de trigo Baguette 13 (Trg) y el cultivar de cebada Scarlett (Ceb) ante modificaciones en la relación fuente – destino (F:D) durante el período de llenado de los granos: control y desespiguillado al 50% a los 7, 14, 21 y 28 días desde antesis (DE 7, DE 14, DE 21, DE 28, respectivamente). Datos promedio para las condiciones de baja y alta disponibilidad de N en suelo a siembra. Dentro de cada columna, letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas (test de Tukey, $p \leq 0,05$).

	PNG (%)	
	Trigo	Cebada
Control	1,79 b	1,51 b
DE 7	2,52 a	2,13 a
DE 14	2,48 a	1,89 ab
DE 21	2,50 a	1,67 b
DE 28	2,19 a	1,48 b

Para Trg, el cambio relativo respecto al control en el PNG en los granos del VP mediante desespiguillados (i.e. incrementos de fuente) fue mayor en la situación N0 que N1 independientemente del momento en el cual se realizó ese desespiguillado (7, 14, 21 o 28 DDA) (Figura 4). El efecto del desespiguillado sobre el PNG tendió a ser de menor magnitud hacia el final del llenado de los granos (Figura 4). En Ceb, el cambio relativo

en el PNG respecto al control por efecto del desespiguillado no presentó diferencias entre los tratamientos de fertilización N0 y N1. El desespiguillado a los 7 DDA incrementó en promedio un 43% el PNG y a partir de allí con el avance del período de llenado tendió a disminuir su impacto sobre el PNG (Figura 4).

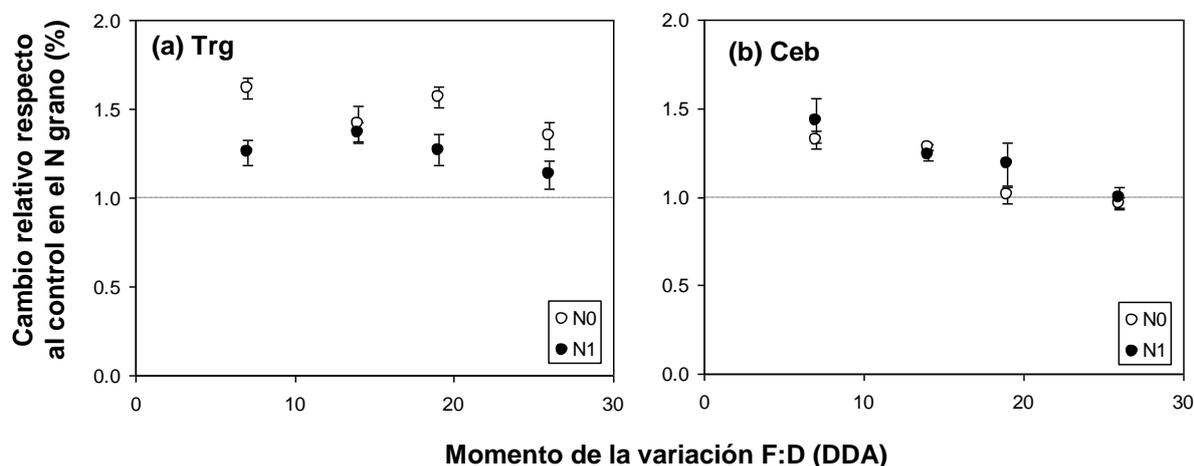


Figura 4. Cambio relativo respecto al control en el porcentaje de nitrógeno en los granos (PNG) del vástago principal (VP) del (a) cultivar de trigo Baguette 13 (Trg) y (b) el cultivar de cebada Scarlett (Ceb), creciendo con baja (N0) y alta (N1) disponibilidades de N en suelo a siembra, ante modificaciones en la relación fuente - destino (F:D) durante el período de llenado de los granos: desespiguillado del 50% a los 7, 14, 21 y 28 días desde anthesis (DDA). El cambio relativo fue calculado respecto a cada control de disponibilidad de N. La línea punteada horizontal indica el tratamiento control. Las barras representan \pm un error estándar de la media.

4.4. Efecto de la defoliación parcial sobre el porcentaje de nitrógeno en grano del vástago principal

En Trg y Ceb la defoliación parcial no generó diferencias estadísticamente significativas en el PNG del VP comparado con la situación control (Cuadro 3). En términos relativos, ante disminuciones de fuente mediante defoliaciones parciales en Trg, no se presentaron diferencias en el PNG con respecto a la situación control en ningún momento del periodo de llenado en el que se realizó el tratamiento ni diferencias entre las condiciones de baja (N0) o alta (N1) disponibilidades de N (Figura 5). En el cultivar de Ceb las defoliaciones parciales tampoco generaron diferencias estadísticamente significativas en el PNG en ningún momento del llenado (Cuadro 3), pese a provocar las defoliaciones realizadas a los 7 y 14 DDA disminuciones relativas respecto al control de ca. 20% en el PNG. Las defoliaciones parciales tardías (21 y 28 DDA) presentaron un PNG sin cambios relativos con relación al control (Figura 5).

Cuadro 3. Porcentaje de nitrógeno en los granos (PNG) del vástago principal (VP) en el cultivar de trigo Baguette 13 (Trg) y el cultivar de cebada Scarlett (Ceb) ante modificaciones en la relación fuente – destino (F:D) durante el período de llenado de los granos: control y defoliación parcial (manteniendo la hoja bandera) a los 7, 14, 21 y 28 días desde antesis (HB 7, HB 14, HB 21, HB 28, respectivamente). Datos promedio para las condiciones de baja (N0) y alta (N1) disponibilidad de N en suelo a siembra. Dentro de cada columna, letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas (test de Tukey, $p \leq 0,05$).

	PNG (%)	
	Trigo	Cebada
Control	1,79 a	1,51 a
HB 7	1,75 a	1,34 a
HB 14	1,82 a	1,25 a
HB 21	1,80 a	1,40 a
HB 28	1,85 a	1,42 a

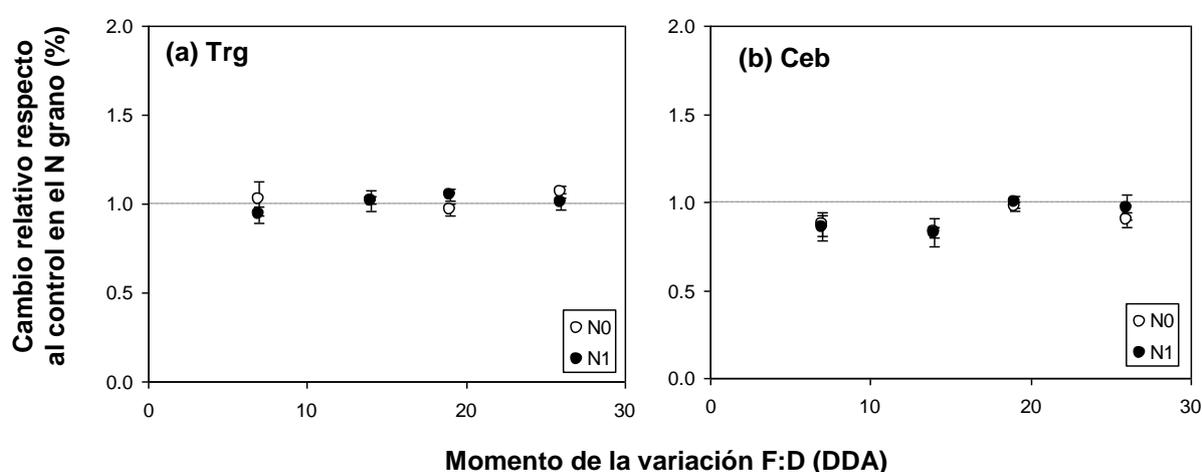


Figura 5. Cambio relativo respecto al control en el porcentaje de nitrógeno en los granos del vástago principal (VP) del (a) cultivar de trigo Baguette 13 (Trg) y (b) el cultivar de cebada Scarlett (Ceb), creciendo con baja (N0) y alta (N1) disponibilidades de N en suelo a siembra, ante modificaciones en la relación fuente - destino (F:D) durante el período de llenado de los granos: defoliación parcial a los 7, 14, 21 y 28 días desde antesis (DDA). El cambio relativo fue calculado respecto a cada control de disponibilidad de N. La línea punteada horizontal indica el tratamiento control. Las barras representan \pm un error estándar de la media.

4.5. Efecto de la defoliación total sobre el porcentaje de nitrógeno en grano del vástago principal

El tratamiento de defoliación total (cultivo sin hojas) no generó modificaciones en el PNG del VP en ninguno de los dos cultivares (Cuadro 4). En el cultivar de Trg, el cambio relativo respecto a la situación control en el PNG por la defoliación total no presentó diferencias entre los tratamientos de fertilización N0 y N1 con excepción de la condición SH 7 de la situación N1 que generó una caída en el PNG del 23 % respecto al control (Figura 6). En Ceb, por su parte, el cambio relativo respecto al control en el PNG del VP mediante defoliaciones totales produjo reducciones en el PNG de ca. 13 %

comparados con la situación control, independientemente del momento en el cual se realizó esa defoliación y de la condición de fertilización (N0 y N1), pero sin que esas diferencias sean estadísticamente significativas (Figura 6).

Cuadro 4. Porcentaje de nitrógeno en los granos (PNG) del vástago principal (VP) en el cultivar de trigo Baguette 13 (Trg) y el cultivar de cebada Scarlett (Ceb) ante modificaciones en la relación fuente – destino (F:D) durante el período de llenado de los granos: control y defoliación total (cultivo sin hojas) a los 7, 14, 21 y 28 días desde antesis (SH 7, SH 14, SH 21, SH 28, respectivamente). Datos promedio para las condiciones de baja (N0) y alta (N1) disponibilidad de N en suelo a siembra. Dentro de cada columna, letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas (test de Tukey, $p \leq 0,05$).

	PNG (%)	
	Trigo	Cebada
Control	1,79 a	1,51 a
SH 7	1,60 a	1,27 a
SH 14	1,70 a	1,39 a
SH 21	1,80 a	1,35 a
SH 28	1,85 a	1,32 a

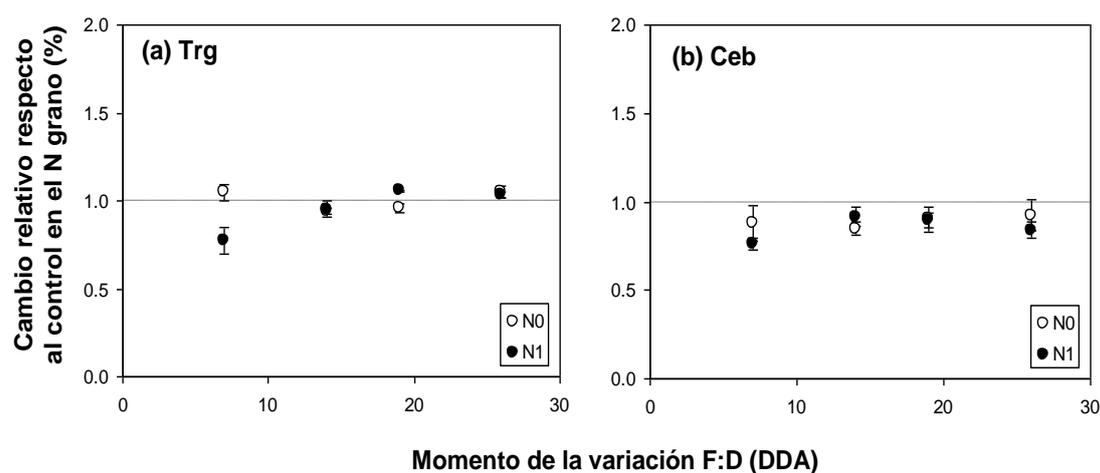


Figura 6. Cambio relativo respecto al control en el porcentaje de nitrógeno en los granos (PNG) del vástago principal (VP) del (a) cultivar de trigo Baguette 13 (Trg) y (b) el cultivar de cebada Scarlett (Ceb), creciendo con baja (N0) y alta (N1) disponibilidades de N en suelo a siembra, ante modificaciones en la relación fuente - destino (F:D) durante el período de llenado de los granos: defoliación total a los 7, 14, 21 y 28 días desde antesis (DDA). El cambio relativo fue calculado respecto a cada control de disponibilidad de N. La línea punteada horizontal indica el tratamiento control. Las barras representan \pm un error estándar de la media.

4.6. Diferencias en la respuesta del porcentaje de nitrógeno en grano entre cultivares y entre el vástago principal y los macollos ante variaciones en la relación fuente - destino

Comparando ambos cultivares, ante tratamientos de desespiguillado (i.e. DE) la respuesta del PNG a modificaciones en la relación F:D fue mayor en Trg que en Ceb; de

forma tal que incrementos en la relación F:D generaron aumentos en el PNG de mayor magnitud en Trg que en Ceb (Figura 7). Por el contrario, ante condiciones de defoliación, sean parciales o totales (i.e. disminución en la relación F:D), la caída en el PNG tendió a ser mayor en Ceb que en Trg, aunque de escasa magnitud en ambos cultivares (Figura 7).

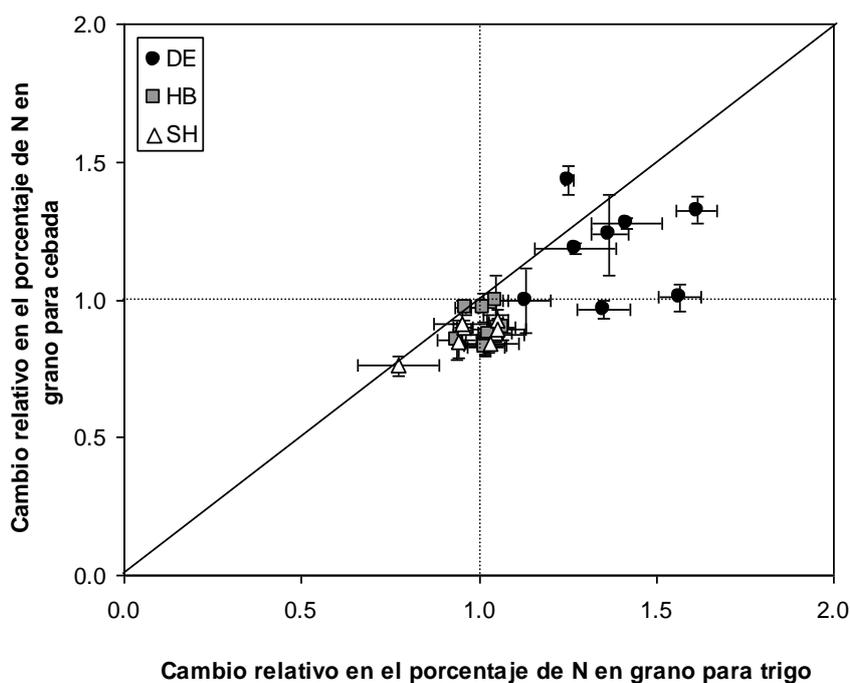


Figura 7. Cambio relativo respecto al control en el porcentaje de nitrógeno en los granos (PNG) del vástago principal de cebada (Ceb) en función del obtenido para trigo (Trg) ante modificaciones en la relación fuente - destino (F:D) durante el período de llenado de los granos: desespiguillado del 50% (DE), defoliación parcial (HB) y defoliación total (SH). Las líneas punteadas vertical y horizontal indican el tratamiento control. El cambio relativo fue calculado respecto a cada control de disponibilidad de N. La línea punteada diagonal indica la relación 1:1. Las barras representan \pm un error estándar de la media.

El PNG fue similar en granos provenientes de diferentes categorías de espigas de la misma planta, tanto en Trg como en Ceb. El PNG del VP no presentó diferencias destacadas con el obtenido en los MAC, ni hubo interacción ($p \geq 0,05$) en el comportamiento que los granos VP o MAC presentaron con los diferentes tratamientos F:D (Figura 8).

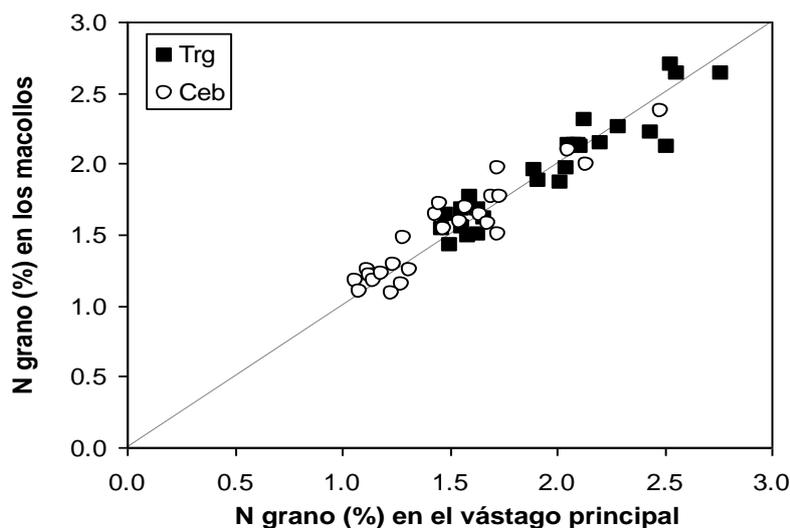


Figura 8. Porcentaje de nitrógeno en grano de los macollos (MAC) y del vástago principal (VP) para el cultivar de trigo Baguette 13 (Trg) y de cebada Scarlett (Ceb). La línea continua diagonal indica la relación 1:1.

4.7. Cambio relativo en el peso de los granos y el contenido absoluto de nitrógeno en grano y su relación con el porcentaje de nitrógeno

Para la situación control (i.e. condición sin desespiguillar y sin defoliar), el peso de los granos fue mayor en el VP que en los MAC en Trg, pero sin diferencias estadísticamente significativas en el peso de los granos del VP y MAC en Ceb (Cuadro 5). El CANG fue mayor en la condición N1 que en la condición sin agregado de fertilizante N0 tanto en Trg como en Ceb, sin que se evidencien diferencias estadísticamente significativas entre los granos provenientes del VP y los MAC (Cuadro 5).

Cuadro 5. Peso del grano y contenido absoluto de nitrógeno del grano (CANG) del vástago principal (VP) y de los macollos (MAC) en el cultivar de trigo Baguette 13 (Trg) y el cultivar de cebada Scarlett (Ceb) en condiciones de baja (N0) y alta (N1) disponibilidad de N en suelo a siembra correspondiente a la situación control. Dentro de cada columna, letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas (test de Tukey, $p \leq 0,05$).

		Peso del grano (mg grano^{-1})		CANG (mg grano^{-1})	
		Trg	Ceb	Trg	Ceb
VP	N0	35,92 a	39,36 b	0,56 b	0,50 b
	N1	37,90 a	49,10 a	0,95 a	0,83 a
MAC	N0	32,88 b	34,71 b	0,51 b	0,40 b
	N1	32,60 b	44,50 ab	0,69 a	0,79 a

Los desespiguillados provocaron aumentos en el peso de los granos de menor proporción que los obtenidos en el PNG (Figura 9). La magnitud de dicha respuesta

difirió entre cultivares. En Trg, los desespiguillados generaron aumentos significativos en el PNG pero escasas variaciones en el peso de los granos, mientras que en Ceb provocaron tanto aumentos en el PNG como en el peso de los granos (Figura 9). Disminuciones parciales de fuente (defoliación parcial) no ocasionaron cambios determinantes respecto a la situación control en el PNG en ninguno de los dos cultivares utilizados, aunque esta reducción de fuente produjo en Trg disminuciones significativas en el peso seco de los granos, manteniéndose en Ceb el peso de los granos similar al control. (Figura 9). Defoliaciones totales provocaron en Trg disminuciones en el peso de los granos de similar magnitud que las obtenidas en el PNG. En Ceb, se evidenció impacto de la defoliación total sobre el peso de los granos cuando las defoliaciones fueron realizadas a los 7 DDA, dándose una disminución de ca. 10% , y de ca. 20% en el PNG (Figura 9).

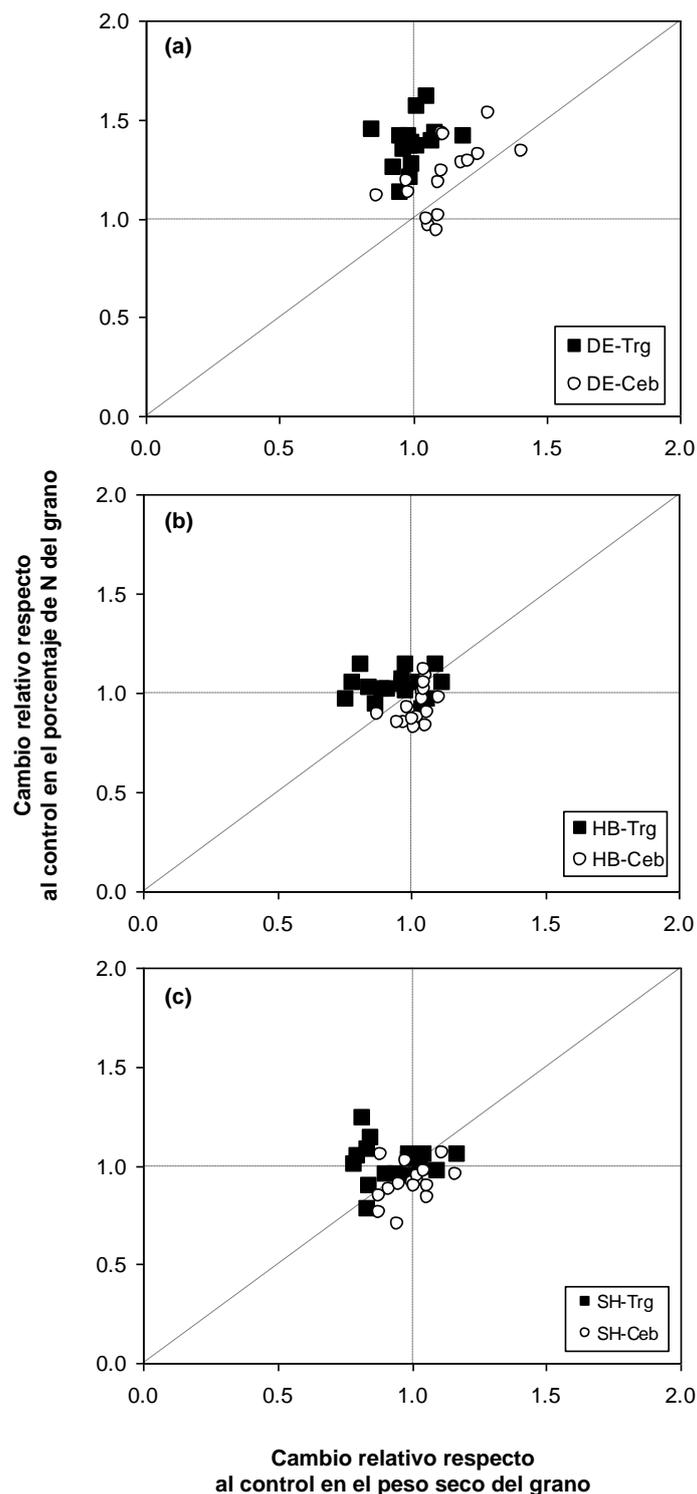


Figura 9. Cambio relativo respecto al control en el porcentaje de nitrógeno en grano y en el peso seco en los granos para el cultivar de trigo Baguette 13 (Trg) y de cebada Scarlett (Ceb) ante (a) desespiguillados del 50% (DE), (b) defoliación de todas las hojas a excepción de la hoja bandera (HB), y (c) defoliación total (cultivo sin hojas, SH) a los 7, 14, 21 o 28 días desde antesis. Los datos corresponden a los datos por separado del vástago principal (VP) y macollos (MAC) en condiciones de baja (NO) y alta (N1) disponibilidad de N en suelo a la siembra en cada cultivar. El cambio relativo fue calculado respecto a cada control de disponibilidad de N. Las líneas punteadas vertical y horizontal indican el tratamiento control. La línea punteada diagonal indica la relación 1:1.

Los tratamientos de desespiguillado incrementaron el CANG en Trg y en Ceb (Fig. 10). En particular en Ceb, dado el efecto de los desespiguillados en aumentar el peso, el CANG aumentó en forma más que proporcional al aumento observado en el PNG (Figura 10). Los tratamientos de defoliación parcial y total tuvieron en Trg y en Ceb un efecto de similar magnitud en el PNG y en el CANG, sin presentar diferencias significativas respecto al control (excepto para los tratamientos HB 7 y SH 7, en los que se observó una tendencia a presentar menor PNG y CANG que el control) (Figura 10).

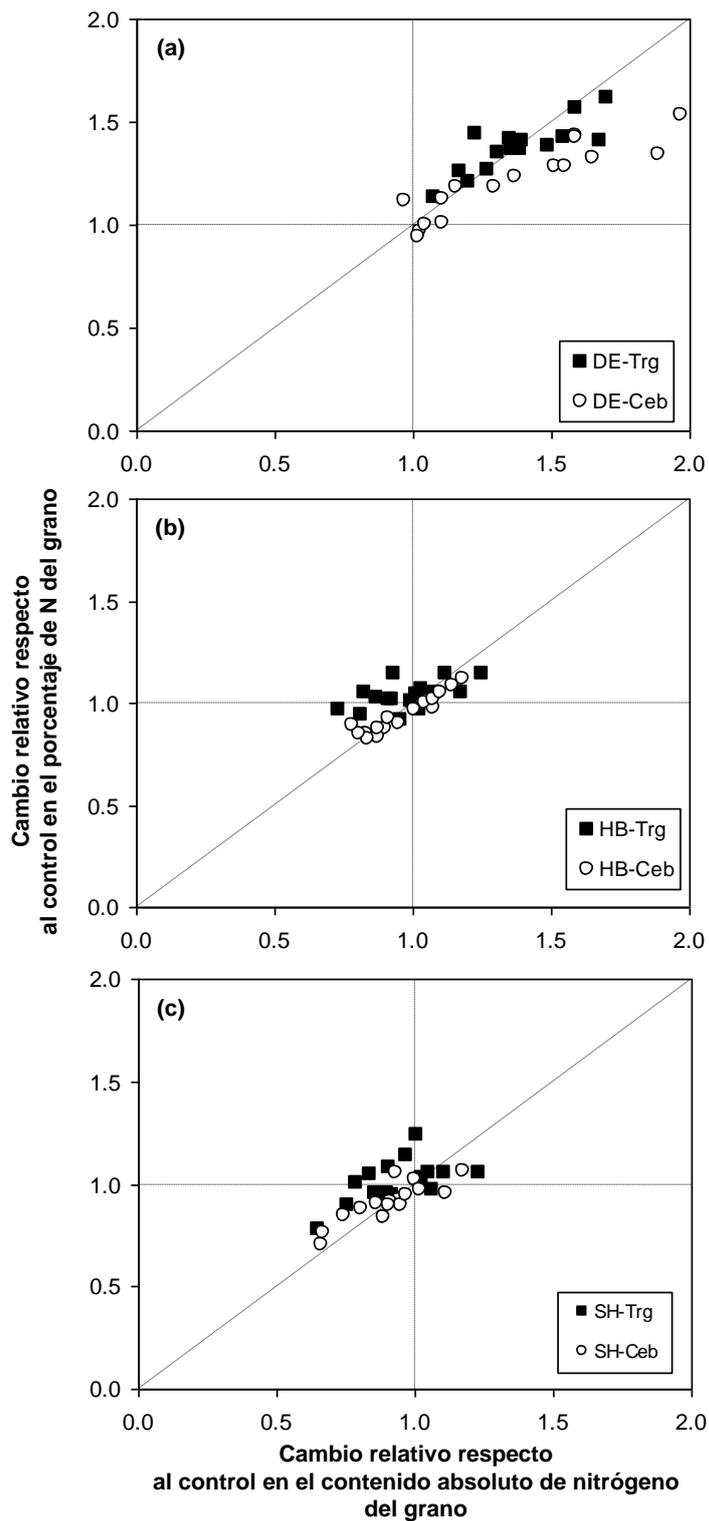


Figura 10. Cambio relativo respecto al control en el porcentaje de nitrógeno en grano y en el contenido absoluto de nitrógeno en los granos para el cultivar de trigo Baguette 13 (Trg) y de cebada Scarlett (Ceb) ante (a) desespiguillados del 50% (DE), (b) defoliación de todas las hojas a excepción de la hoja bandera (HB), y (c) defoliación total (cultivo sin hojas, SH) a los 7, 14, 21 o 28 días desde antesis. Los datos corresponden a los datos por separado del vástago principal (VP) y macollos (MAC) en condiciones de baja (NO) y alta (N1) disponibilidad de N en suelo a la siembra en cada cultivar. El cambio relativo fue calculado respecto a cada control de disponibilidad de N. Las líneas punteadas vertical y horizontal indican el tratamiento control. La línea punteada diagonal indica la relación 1:1

5. DISCUSIÓN

En el presente trabajo se analizó cómo es modificado el PNG en Trg (cultivar Baguette 13) y Ceb (cultivar Scarlett) ante modificaciones en la relación F:D durante el período de llenado, en cultivos creciendo a campo con disponibilidades contrastantes de N en el suelo a siembra (situación sin o con agregado de fertilizante, N0 y N1, respectivamente). El PNG en los granos para la situación control fue superior en Trg que en Ceb. Pero en ambos cultivares ese PNG representó en promedio un bajo PPG respecto a las normas de comercialización, equivalente en promedio a 10,4 % de proteína para Trg y 8,8 % para Ceb. La causa de este bajo PPG puede estar asociada a los altos rendimientos logrados que generó un efecto dilución (Triboi et al., 2006). Una posible causa a ese bajo PPG puede especularse sea que no todo el N aplicado por fertilizante en la condición N1 estuvo disponible para el cultivo; sin embargo, no se cuenta con análisis de N en suelo posteriores a siembra o luego de la aplicación del fertilizante que permitan corroborarlo.

El PNG para la situación control fue superior en la condición fertilizada (N1) que sin fertilizar (N0). Esto demuestra que Trg y Ceb exploraron para la condición N0 una situación en la cual tanto la generación del rendimiento como el establecimiento de N en los granos estaban limitados por la disponibilidad de N en el suelo. Por el contrario, la condición N1 provocó un aumento significativo del rendimiento a incrementos en la disponibilidad de N en suelo (Figura 1) (Fischer, 1993).

En Trg, aún en estados avanzados de post-antesis, el PNG aumentó por efecto del desespiguillado. Y ese efecto fue más marcado en la condición N0 que N1, lo cual indica un grado de limitación por N en grano superior para la condición N0. En cambio en Ceb a los 20 DDA ya no se observaron cambios por desespiguillados con respecto al control. Esto indica que tanto el cultivar de Trg como de Ceb utilizados presentaron una marcada limitación por N, en concordancia con lo mostrado por Dreccer et al. (2003) y Voltas et al. (1997) para cebada y Bancal (2009) para trigo. Sin embargo, esa limitación por N fue más acentuada a inicio del período de llenado de los granos que hacia el final, y más marcada en Trg que en Ceb.

El PNG no presentó diferencias estadísticamente significativas respecto al control con defoliaciones (sean parciales o totales) para cualquier momento durante el periodo de post-antesis. Ello significa que la removilización de N de reserva desde otros órganos (i.e. tallos) y/o la absorción de N durante post-floración permitió alcanzar niveles de PNG semejantes al control. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Dreccer et

al. (1997), quienes realizaron defoliaciones parciales en cebada a los 5 días después de antesis (removieron todas las hojas del cultivo excepto la hoja bandera) y tampoco hallaron modificaciones significativas en el contenido de N de los granos a madurez. Este resultado constituye una temática que merecería ser estudiada a futuro.

La respuesta encontrada en los MAC y VP fueron similares independientemente del efecto fertilización o tratamiento F:D. Este dato es importante ya que difiere entre Trg y Ceb la proporción de rendimiento proveniente del VP o de los MAC. En Trg, el rendimiento se compone de granos provenientes principalmente del VP mientras que en Ceb el rendimiento proviene principalmente de los MAC (de Ruiters, 1999; Arisnabarreta y Miralles, 2006; de San Celedonio et al., 2014). Sin embargo, esta diferencia en el impacto del VP o los MAC sobre el rendimiento no se tradujo en diferencias marcadas entre estructuras en su PNG.

Incrementos en la disponibilidad de fuente por grano (i.e. tratamientos de DE) generaron un aumento en el peso del grano en Ceb de mayor magnitud que el logrado en Trg (González et al., 2012). De forma tal que Trg presentó una limitación por N superior a la limitación por carbono. Por el contrario, en Ceb la limitación por carbono fue mayor a su limitación por N (siendo un cultivo conservativo en el PNG final obtenido). Ello determinó que los desespiguillados generaran en Ceb un aumento en el CANG más que proporcional al aumento observado en el PNG.

6. CONCLUSIONES

La primera hipótesis indicaba que “Trg y Ceb presentarán similar grado de limitación por N en post-antesis pero dicha limitación disminuirá a medida que avanza el período de llenado de los granos”. Esta hipótesis es rechazada debido a que en el cultivar de cebada la limitación por N en grano fue mayor con el tratamiento de DE realizado a los 7 DDA y luego esa limitación decayó a medida que avanzó el período de llenado de los granos; sin embargo, la limitación por N en Trg persistió por más tiempo que en Ceb y fue de mayor magnitud.

La segunda hipótesis indicaba que “Ante cambios en la relación F:D, los granos de trg y ceb provenientes de MAC presentarán mayor grado de respuesta en el PNG que granos del VP”. Esta hipótesis es rechazada debido a que los granos de los MAC tuvieron similar respuesta en el PNG que los granos provenientes del VP tanto en Trg como en Ceb.

La tercera hipótesis planteaba que “Aumentos en la disponibilidad de N por grano (tratamiento de DE) generarán incrementos en el PNG debido a aumentos en el CANG sin que se generen modificaciones en el peso de esos granos ni en Trg ni en Ceb”. Esta hipótesis es rechazada debido a que tratamientos de DE no generaron modificaciones en el peso del grano de Trg pero sí incrementaron el peso del grano en Ceb.

La cuarta hipótesis proponía que “Disminuciones en la disponibilidad de N por grano (tratamientos de defoliación) generarán en Trg y Ceb mermas en el PNG debido a caídas en el CANG más que a modificaciones en el peso de esos granos”. Esta hipótesis es rechazada. Tratamientos de defoliación (parcial o total) no generaron caídas estadísticamente significativas en el PNG.

7. BIBLIOGRAFÍA

- AACC, 1987. Approved Methods of the AACC: Method 46-11. American Association of Cereal Chemists Inc., St Paul, MN., USA. ISBN 10-0913250481.
- Acreche MM, Slafer GA, 2006. Grain weight response to increases in number of grains in wheat in a Mediterranean area. *Field Crops Research* 98: 52-59.
- Álvarez Prado S, Gallardo JM, Serrago RA, Kruk BC, Miralles DJ, 2012. Comparative behavior of wheat and barley associated with field release and grain weight determination. *Field Crops Research* 144: 28-33.
- Arisnabarreta S, Miralles DJ, 2006. Yield Responsiveness in Two-and Six-Rowed Barley Grown in Contrasting Nitrogen Environments. *Journal of Agronomy & Crop Science* 192: 178-185.
- Arisnabarreta S, Miralles DJ, 2008. Critical period for grain number establishment of near isogenic lines of two- and six-rowed barley. *Field Crops Research* 107: 196-202.
- Bancal P, 2009. Decorrelating source and sink determinism of nitrogen remobilization during grain filling in wheat. *Annals of Botany* 103: 1315-1324.
- Bingham IJ, Blake J, Foulkes MJ, Spink J, 2007. Is barley yield in the UK sink limited? II. Factors affecting potential grain size. *Field Crops Research* **101**: 212-220.
- Borrás L, Slafer GA, Otegui ME, 2004. Seed dry weight response to source–sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. *Field Crops Research* **86**: 131-146.
- Calderini DF, Reynolds MP, 2000. Changes in grain weight as a consequence of de-graining treatments at pre- and post-anthesis in synthetic hexaploid lines of wheat (*Triticum durum* ´ *T. tauschii*). *Australian Journal of Plant Physiology* **27**: 183-191.
- de Ruiter JM, 1999. Yield and quality of malting barley (*Hordeum vulgare* L. “Valetta”) in response to irrigation and nitrogen fertilization. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* **27**: 307-317.
- de San Celedonio RP, Abeledo LG, Miralles DJ, 2014. Identifying the critical period for waterlogging on yield and its components in wheat and barley. *Plant & Soil*, in press. <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-014-2028-6>.
- Delogu G, Cattivelli L, Pecchioni N, De Falcis D, Maggiore T, Stanca AM, 1998. Uptake and agronomic efficiency of nitrogen in winter barley and winter wheat. *European Journal of Agronomy* **9**: 11-20.

- Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M, Robledo CW, 2008. InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Dreccer MF, Grashoff C, Rabbinge R, 2003. Source-sink ratio in barley (*Hordeum vulgare* L.) during grain filling: effects on senescence and grain protein concentration. *Field Crops Research* **49**: 269-277.
- FAO, 2003. Food energy – methods of analysis and conversion factors. Food and Nutrition Paper N° 77. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. ISSN 0254-4725. pp. 93.
- FAO, 2013. Statistical database. [http:// faostat.fao.org/](http://faostat.fao.org/) Verificado el 11 octubre 2012.
- Fernández Gómez J, Wilson Z, 2012. Non-destructive staging of barley reproductive development for molecular analysis based upon external phenology. *Journal of Experimental Botany* **63**: 4085-4094.
- Fischer RA, 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *Journal of Agricultural Science* **105**: 447-461.
- Fischer RA, Howe GN, Ibrahim Z, 1993. Irrigated spring wheat and timing and amount of nitrogen fertilizer. I. Grain yield and protein content. *Field Crops Research* **33**: 37-56.
- González D, 2012. Peso de grano en trigo y cebada cervecera ante condiciones contrastantes de fuente - destino en post-antesis. Trabajo de intensificación para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.
- Jones DB, 1926. A new factor for converting the percentage of nitrogen in wheat into that of protein. *Cereal Chemistry* **3**: 194-198.
- Jones DB, 1931. Factors for converting percentages of nitrogen in foods and feeds into percentages of protein. United States Department of Agriculture (USDA), Circ. 183, Washington DC, USA.
- Martre P, Porter JR, Jamieson PD, Triboi E, 2003. Modeling Grain Nitrogen Accumulation and Protein Composition to Understand the Sink/Source Regulations of Nitrogen Remobilization for Wheat. *Plant Physiology* **133**: 1959-1967.
- Miralles DJ, Slafer GA, 1995. Individual grain weight responses to genetic reduction in culm length in wheat as affected by source-sink manipulations. *Field Crops Research* **43**: 55-66.

- Miralles DJ, Arisnabarreta S, Alzueta I, 2011. Desarrollo ontogénico y generación del rendimiento. En: Cebada cervecera. Miralles DJ, Benech-Arnold RL, Abeledo LG (eds.). Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires, Argentina. ISBN 978-987-9260-84-5.
- Przulj N, Momcilovic V, 2001. Genetic variation for dry matter and nitrogen accumulation and translocation in two-rowed spring barley II. Nitrogen translocation. *European Journal of Agronomy* **15**: 255-265.
- Savin R, Sorlino DM, 2004. Calidad de los granos y estimadores más comunes. En: Producción de Cultivos de Granos. Bases Funcionales para su Manejo. Satorre E, Benech-Arnold R, Slafer GA, de la Fuente EB, Miralles DJ, Otegui ME, Savin R (eds.). Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires, Argentina.
- Serrago RA, Alzueta I, Savin R, Slafer GA, 2013. Understanding grain yield responses to source –sink ratios during grain filling in wheat and barley under contrasting environments. *Field Crops Research* **150**: 42-51.
- Slafer GA, Savin R, 1994. Source-sink relationships and grain mass at different positions within the spike in wheat. *Field Crops Research* **37**: 39-49.
- Slafer GA, Miralles DJ, Savin R, Whitechurch EM, González FG, 2004. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en trigo. En: Producción de Cultivos de Granos. Bases Funcionales para su Manejo. Satorre E, Benech-Arnold R, Slafer GA, de la Fuente EB, Miralles DJ, Otegui ME, Savin R (eds.). Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires, Argentina.
- Triboi E, Martre P, Girousse C, Ravel C, Triboi-Blondel AM, 2006. Unravelling environmental and genetic relationships between grain yield and nitrogen concentration for wheat. *European Journal of Agronomy* **25**: 108-118.
- Voltas J, Romagosa I, Araus JL, 1997. Grain size and nitrogen accumulation in sink reduced barley under Mediterranean conditions. *Field Crops Research* **52**: 117-126.
- Zadoks JC, Chang TT, Konzak CF, 1974. A decimal code for the growth stage of cereals. *Weed Research* **14**: 415-421.