



C3P15. FERTILIZACION NITROGENADA EN EMERGENCIA Y ANTESIS EN CEBADA CERVECERA, USO DE CURVAS DE DILUCIÓN COMO HERRAMIENTA DE DIAGNOSTICO

Boero, José J.^{1,2,3*}, Federico M. Gomez¹, Pablo Prystupa^{1,2}, Gustavo N. Ferraris⁴ y Flavio H. Gutierrez Boem^{1,2}

¹Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía, UBA.; ²INBA, CONICET-UBA; ³Universidad Nacional de Lujan; ⁴INTA EEA Pergamino

*Autor de contacto: Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía, UBA. Av. San Martín 4453, CABA CP1417 josejboero@yahoo.com.ar

RESUMEN

La calidad de grano en cebada es un parámetro clave para la producción. El manejo de la fertilización nitrogenada debe ajustarse para lograr altos rendimientos y un adecuado contenido proteico. Existen alternativas para lograr la calidad comercial, como la fertilización basal y complementaria con N. Los objetivos de este trabajo fueron: Determinar el efecto del agregado de N basal y en antesis sobre los parámetros de rendimiento, contenido de proteína y calibre en cebada cervecera, relacionar el estado nutricional del cultivo en antesis con el rendimiento, proteína y calibre a cosecha final y predecir el contenido proteico mediante un índice de nutrición nitrogenada obtenido a través de una curva de dilución crítica. Se realizaron 39 ensayos sobre cultivos comerciales durante 3 años con 2 tratamientos de fertilización nitrogenada: 150 kg ha⁻¹ en emergencia y 20 kg ha⁻¹ foliar en antesis. En antesis se midió la biomasa y el N en planta. A cosecha final se midió rendimiento, componentes y calidad de grano. La fertilización en emergencia aumentó el rendimiento, el contenido proteico y disminuyó el calibre, mientras que la fertilización en antesis aumentó la proteína y rendimiento sin afectar el calibre. El rendimiento estuvo asociado a la biomasa en antesis y al N absorbido en antesis, mientras que el contenido proteico solo se asoció a la concentración de N en biomasa aérea. Se ajustó una curva de dilución al tratamiento N150, que resultó ser menor a las reportadas en bibliografía. El INN obtenido a partir de curvas de dilución se relacionó con la concentración de proteína de los granos, aunque sólo en una forma levemente mejor que la concentración de N en antesis. El INN en antesis no mostró relación con el rendimiento.

Palabras claves: Cebada cervecera, nitrógeno, curva de dilución crítica.

INTRODUCCIÓN

En la última década, en la región pampeana se ha observado que los cultivos de cebada cervecera presentan valores de proteína inferiores a los requeridos por las malterías. Las principales razones son por un lado, el progreso genético de los cultivares, con el consiguiente incremento de rendimiento y, por el otro, la oferta de N (suelo y fertilizante) no ha acompañado la mayor demanda del cultivo (Brihet, 2015).

La industria maltera y cervecera requieren valores de proteínas en un estrecho rango (10-12 %), por lo que es necesaria una regulación precisa del contenido proteico en grano sin detrimento del rendimiento. Se puede aumentar el rendimiento y la proteína en grano simultáneamente fertilizando al comienzo del ciclo del cultivo (siembra-macollaje). Otra alternativa es complementar las fertilizaciones nitrogenadas de base, con aplicaciones foliares durante antesis-espigazón. Como esta aplicación se realiza cuando el cultivo está desarrollado y transcurrido el periodo crítico, se podría diagnosticar el estado nutricional del cultivo con mayor precisión que a la siembra-macollaje.

Tanto el contenido proteico como la necesidad de fertilización, podrían predecirse mediante la evaluación en antesis de variables del cultivo como la biomasa aérea, el N absorbido o la concentración del N en el cultivo. Estas variables se pueden relacionar directamente a variables de interés como ser proteína o rendimiento. Una alternativa para estimar el estado de nutrición nitrogenada de un cultivo en un momento de su ciclo es comparar su concentración de N con un valor crítico obtenido a partir de curvas de dilución crítica para N para un determinado valor de biomasa. De esta manera se obtiene un índice de nutrición nitrogenada (INN), que refleja el estado nutricional del cultivo respecto al óptimo. Los objetivos de este trabajo fueron:

- Determinar el efecto del agregado de N basal y en antesis sobre el rendimiento, contenido de proteína y calibre en cebada cervecera.
- Relacionar el estado nutricional del cultivo en antesis con el rendimiento, proteína y calibre a cosecha final.



- Predecir el contenido proteico mediante un índice de nutrición nitrogenada obtenido a través de una curva de dilución crítica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Entre los años 2014 y 2016 se realizaron 39 experimentos en el área de cultivo de cebada del norte de la Provincia de Buenos Aires y sur de la provincia de Santa Fe. Los mismos se realizaron sobre cultivos destinados a producción. Las variedades, las prácticas de manejo y la fertilización fueron las empleadas por los productores. Por lo tanto, las dosis de fertilización correspondientes a cada tratamiento se adicionaron a las fertilizaciones ya realizadas. El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con dos repeticiones. Las parcelas tuvieron 4 m de ancho por 16 m de longitud. Los tratamientos fueron los siguientes:

- 1- Control: sin fertilización adicional a la realizada por el productor a la siembra
- 2- N20f: 20 kg N ha⁻¹ como urea líquida, vía foliar en floración (aparición de aristas).
- 3- N150: 150 kg N ha⁻¹ en 2 hojas- inicio de macollaje (sin limitación de N).

Al momento de instalar los ensayos (emergencia-inicio de macollaje) se midió N disponible hasta los 60 cm. En el estrato 0-20 cm, se midió: P extractable (Bray 1), materia orgánica, pH y textura. Además se cuantificó el contenido total de agua hasta el metro de profundidad. En antesis se determinó la biomasa aérea mediante cosecha (2 m lineales de surco) y la concentración de N en planta mediante una digestión húmeda y posterior colorimetría. En suelo se midió contenido de agua hasta un metro y N-NO₃ en los primeros 60 cm. La cosecha final, a madurez fisiológica, se realizó en forma manual y se trilló en trilladora estacionaria. Sobre las muestras obtenidas se determinó la concentración de N. El contenido proteico del grano se calculó multiplicando la concentración de N por el coeficiente 6,25. Se midió el calibre de los granos como el porcentaje, en peso, de granos mayores a 2.5 mm, usando una calibradora Sortimat K-3 (Pfeuffer).

Con los datos de biomasa en antesis y la concentración de N en biomasa aérea se ajustó una curva de dilución crítica usando la metodología de Justes et. al. (1994). A partir de las curvas de dilución crítica se calcularon los índices de nutrición nitrogenada (INN) Se realizaron análisis de regresión entre las variables de cultivo medidas en antesis (biomasa, concentración de N en la biomasa aérea y N absorbido por unidad de superficie) y las medidas a cosecha final (rendimiento, proteína y calibre). Se calcularon los índices de nutrición nitrogenada, como la diferencia entre la concentración de N para un determinado valor biomasa dividido el valor de N crítico para la misma biomasa. Los datos de rendimiento, proteína y calibre de los granos se analizaron mediante ANOVA.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimientos, contenidos proteicos y calibre de los sitios experimentales

Los valores del tratamiento control representaron las condiciones de los sitios, ya que tuvieron el mismo manejo que el cultivo realizado por el productor. El rendimiento medio fue de 5295 kg ha⁻¹, con un amplio rango de valores, oscilando entre 1882 y 8596 kg ha⁻¹ debido a las variaciones entre las condiciones de sitio y año. Para el caso de proteína se observaron en general valores inferiores al mínimo requerido por la industria maltera. El contenido proteico medio fue de 8,4% variando entre 6,6 y 10,4 %. El promedio los calibres observados fue de 84,5%, un 30% de los sitios tuvieron un calibre inferior al mínimo requerido por la industria maltera (85%), con un amplio rango, entre 32,9 hasta 97,2, reflejando la variabilidad existente entre los diferentes sitios y años durante el llenado (Tabla 1).

Efecto de aplicación de N en emergencia sobre rendimiento, contenido de proteína y calibre.

La aplicación de 150 kg de N en emergencia incrementó significativamente el rendimiento respecto al tratamiento control a nivel general. La media de rendimiento para este tratamiento fue de 5848 kg ha⁻¹. El incremento medio observado, respecto al control, fue de 553 kg ha⁻¹, representando un incremento porcentual de 10,4%. La respuesta fue variable entre sitios (interacción sitio x tratamiento significativa) (Tabla 1).

El contenido de proteína medio para este tratamiento fue 10,5%, variando entre 7,1 y 13,3%. La fertilización incrementó significativamente la proteína respecto al control, siendo este incremento de 2,14 puntos, representando un incremento porcentual de 9,5%. Un 18% de los casos superaron el valor límite requerido por la industria (12%). Por otro



lado, la fertilización en emergencia afectó negativamente el calibre respecto del tratamiento control, generando una disminución de 7,4 puntos en el calibre, representando una disminución de porcentual de 9,6. Un 48% de los sitios mostraron un calibre inferior al mínimo requerido por la industria.

Efecto de aplicación de N en antesis sobre rendimiento, contenido de proteína y calibre.

Los tratamientos fertilizados en antesis tuvieron un rendimiento medio de 5563 kg ha⁻¹. Este tratamiento incrementó el rendimiento en 268 kg ha⁻¹ (un 5% más que el control) y dependiente del sitio (Tabla 2). El contenido de proteína medio para este tratamiento fue 9,0%, con un rango entre 6,6 y 9,8%, lo que representó un incremento de 0,59 puntos respecto del control (un 7% mayor que el control). En ningún caso este tratamiento superó el valor límite requerido por la industria (12%). Esta aplicación foliar de N no afectó el calibre de los granos.

Tabla 1 Medidas resumen para las variables rendimiento, proteína y calibre. Letras diferentes junto a las medias indican diferencias significativas por test LSD Fischer ($p < 0.05$).

	Rendimiento (kg ha. ⁻¹)			Proteína (%)			Calibre (%)		
	Control	N 20 foliar	N 150	Control	N 20 foliar	N 150	Control	N 20 foliar	N 150
Promedio	5295 A	5563 B	5848 C	8.42 A	9.01 B	10.56 C	84.5 B	85.4 B	77.1 A
Cuartil 25	3868	4133	4091	7.65	8.40	9.69	81.5	79.5	72.2
Cuartil 75	7018	7193	7492	9.06	9.82	11.68	93.1	94.7	91.4
Mínimo	1882	1693	2554	6.60	6.66	7.14	32.9	30.5	19.7
Máximo	8596	9221	8724	10.69	11.21	13.34	97.2	96.3	96.7

Tabla 2: Análisis de varianza para rendimiento, proteína y calibre. Valores de p para los efectos Sitio, Tratamiento, su interacción y los contrastes (test de t) entre el control y los tratamientos.

	Rendimiento	Proteína	Calibre
Sitio	<0.01	<0.01	<0.01
Tratamiento	<0.01	<0.01	<0.01
Sitio x Tratamiento	<0.01	<0.01	<0.01
Contrastes			
Control vs N 150	<0.01	<0.01	<0.01
Control vs N 20 f	0,02	<0.01	0,50

Relación entre el status nutricional del cultivo en antesis con rendimiento, proteína y calibre.

El rendimiento del cultivo estuvo relacionado positivamente a la biomasa en antesis ($R^2 = 0,49$; $p < 0,01$) y en menor medida al N absorbido por unidad de superficie ($R^2 = 0,23$; $p < 0,01$), mientras que no se relacionó a la concentración de N en planta (Figura 1). El rendimiento suele estar fuertemente asociado al número de granos, y el número de granos suele relacionarse al crecimiento del cultivo antes de antesis, donde se encuentre el período crítico para el cultivo (Prystupa *et al.*, 2004; Arisnabarreta & Miralles, 2008). Por lo tanto, la biomasa acumulada en antesis es un indicador de este crecimiento y del rendimiento.



El contenido de proteína estuvo asociado positivamente a la concentración de N en planta en antesis ($R^2= 0,57$; $p<0,01$), también al N absorbido por unidad de superficie, aunque en menor medida ($R^2= 0,31$; $p<0,01$) (Figura 1). Proteína no se relacionó con la biomasa acumulada en antesis (Figura 1). La concentración de N es un indicador de la disponibilidad de N que puede ser removilizado durante el llenado para ser incorporado al grano.

El calibre de los granos se correlacionó negativamente con la concentración de N en planta en antesis, aunque su ajuste fue bajo ($R^2= 0,32$; $p<0,01$). Esta relación podría explicarse dado que las plantas con mayor disponibilidad de N tienen tendencia a fijar mayor cantidad de granos en los extremos de las espigas y macollos siendo estos granos de menor tamaño (Eagles *et al.*, 1995). Por otro lado, el calibre no se relacionó significativamente con biomasa ni N absorbido. Esta falta de relación con el estado del cultivo en antesis se podría explicar porque el calibre está determinado principalmente por el crecimiento del cultivo durante el llenado de granos.

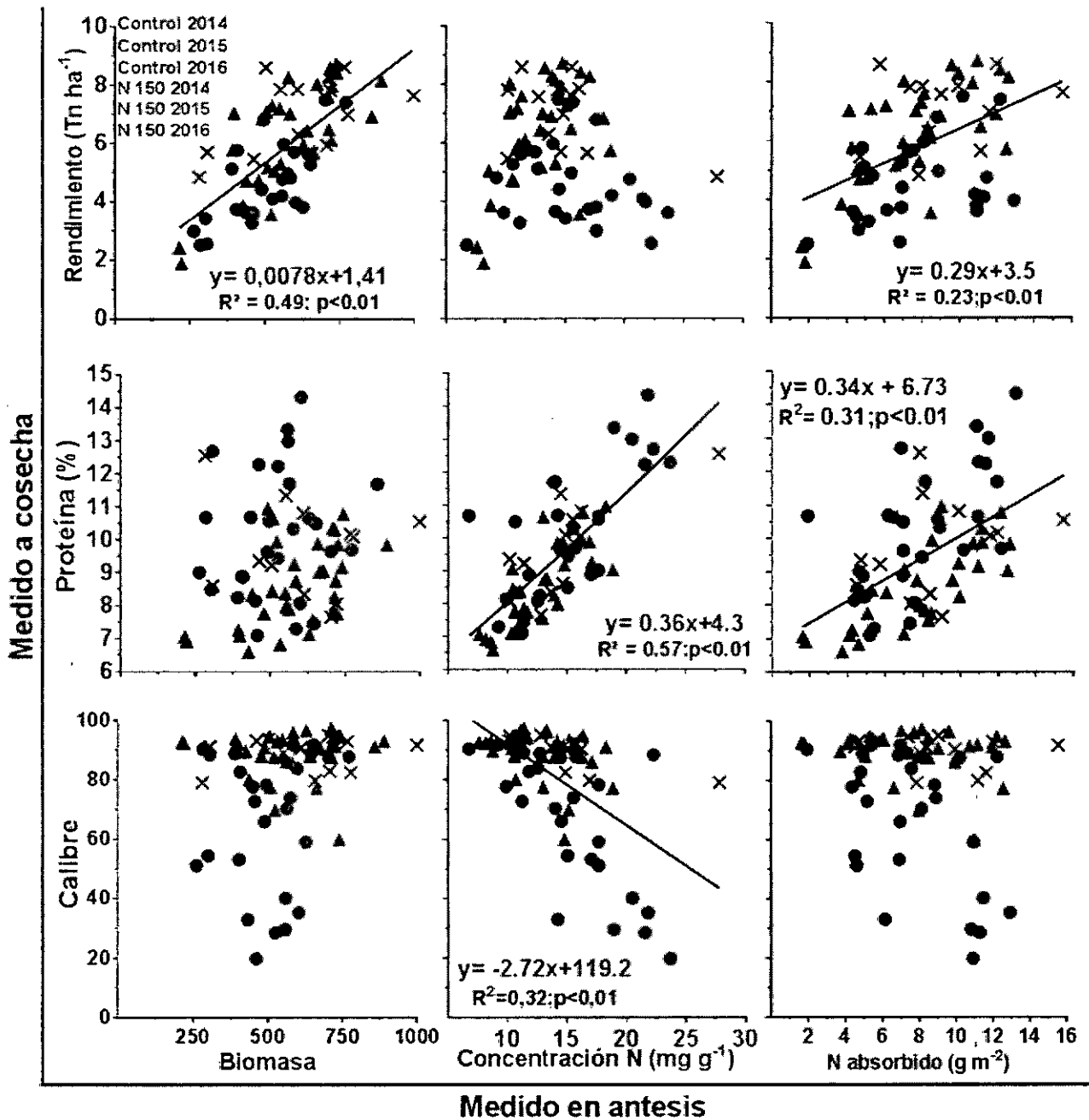


Figura 1: Rendimiento, proteína y calibre a cosecha final en función de biomasa, concentración de N y N absorbido en antesis.



Ajuste de las curvas de dilución crítica y cálculo del INN.

Con los valores de biomasa y concentración de N en planta en antesis del tratamiento fertilizado en emergencia (N 150), se ajustó una curva de dilución para N ($N_{150} = 4,6 * \text{Biomasa} - 0,533$). El valor de N de referencia obtenido con los datos experimentales fue inferior al de curvas de N crítico determinadas para cebada por otros autores (Justes *et. al.* 1994; Zhao *et. al.* 2014), para todo el rango de valores de biomasa (Figura 2). Si bien no se puede afirmar que la curva de N150 sea una función de valores críticos, llama la atención que todas las observaciones del tratamiento N150 estén por debajo de las curvas informadas para cebada. Estos resultados sugieren que estas curvas no representan adecuadamente la población de cultivos de cebada de nuestra red. Estas diferencias podrían atribuirse a que las curvas de referencias fueron realizadas con cebada de invierno.

El INN, calculado a partir de las curvas de dilución crítica se relacionó significativamente con la concentración de proteína en los granos (Figura 3). Usando la función ajustada con los datos experimentales (N150) se obtuvo una relación significativa con el contenido proteico ($R^2 = 0,56$; $p < 0,01$). Por otro lado, el INN calculado con la curva de referencia de Zhao *et. al.* (2014) también se ajustó a los datos, presentando una mejor relación con proteína ($R^2 = 0,63$; $p < 0,01$). Estos ajustes no fueron mucho mejores que los observados directamente con la concentración de N en antesis ($R^2 = 0,57$). Por otro lado, los INN calculados no se relacionaron al rendimiento del cultivo.

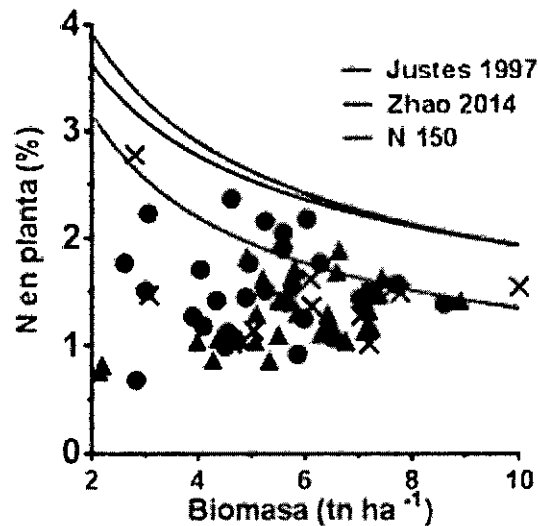


Figura 2: Concentración de N en planta en función de la biomasa en etapa de antesis con la curva de dilución del tratamiento N150 y dos curvas de dilución crítica de referencia.

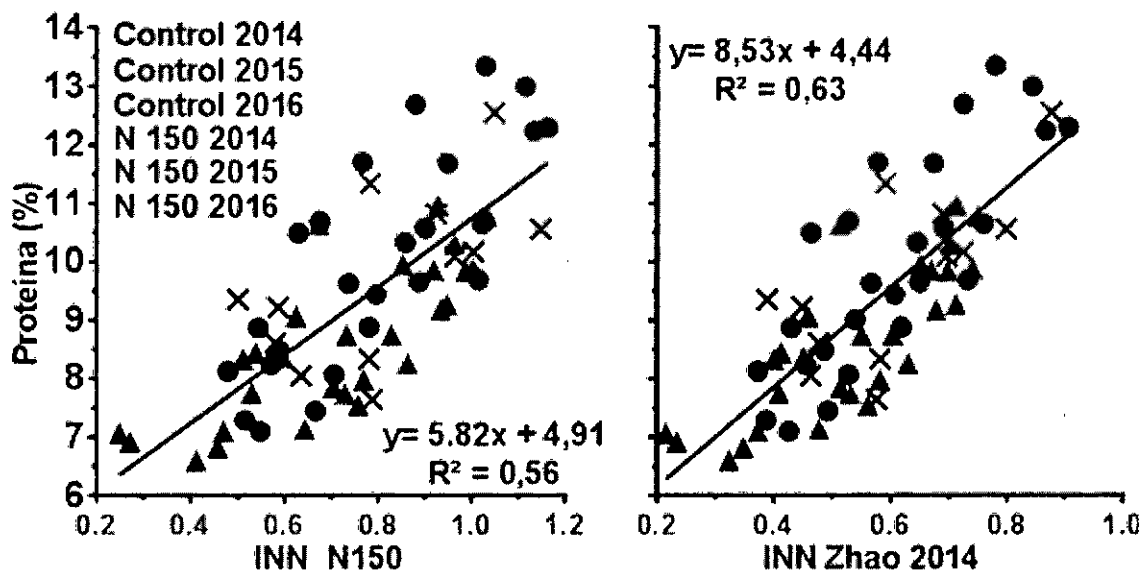




Figura 3: Proteína en función del índice de Nutrición nitrogenada (INN), obtenido mediante la curva de dilución ajustada al tratamiento N 150 y la curva de Zhao *et. al.* 2014.

CONCLUSIONES

Fertilización de base incrementó rendimiento y proteína, fertilización foliar aumentó proteína y, en menor medida el rendimiento. Rendimiento se asoció a biomasa en antesis, proteína se asoció concentración de N en planta.

El NNI resultó un buen estimador del contenido de proteína aunque las curvas críticas informadas en literatura no parecen representar adecuadamente los cultivares actuales.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración de: Nicolás y Tati Casella de Italsem S.A., Gustavo Franco; Gustavo Herrá de ASP S.A, Alejandro Alegre y Esteban Marré de El Mayoral S.R.L., Sebastian Arias, Carlos Gutiérrez, Gustavo Falconi de El Ceibo Cereales, Emilio Secreto, Marcelo Sabione y Jorge Álvarez.

BIBLIOGRAFÍA

- Arisnabarreta, S. & D. Miralles. 2008. Critical period for grain number establishment of near isogenic lines of two- and six-rowed barley. *Field Crops Res.* 107:196-202.
- Brihet, J.M. 2015. Relevamiento de Tecnología Agrícola Aplicada. Campaña 2012/13. Bolsa de Cereales, Buenos Aires, 206 pp.
- Eagles, H.A., A.G. Bedgood, J.F. Panozzo & P.J. Martin. 1995. Cultivar and environmental effects on malting quality in barley. *Aust. J. Agric. Res.* 46: 831-844
- Justes E., Mary B., Meynard J.-M., Machet J.-M., Thelier-Huche L. (1994). Determination of a Critical Nitrogen Dilution Curve for Winter Wheat Crops. *Annals of Botany* 74:397-407.
- Prystupa, P., R. Savin & G.A. Slafer. 2004. Grain number and its relationship with dry matter, N and P in the spikes at heading in response to NxP fertilization in barley. *Field Crops Res.* 90: 245-254.
- Zhao, B., 2014. Determining of a critical dilution curve for plant nitrogen concentration in winter barley. *Field Crops Res.* 160, 64-72.