

Realidades y mitos en el manejo del nitrógeno en cereales de invierno en Uruguay

Foto: Esteban Hoffman

Esteban Hoffman

Universidad de la República. Facultad de Agronomía.
Departamento de Producción Vegetal. GTI Agricultura.
Ecofisiología y manejo de cultivos. Profesor adjunto. EEMAC.
Uruguay. tato@fagro.edu.uy

Carlos Perdomo

Universidad de la República. Facultad de Agronomía.
Departamento de Suelos y Aguas. Profesor titular. Montevideo.
Uruguay.

Nicolás Fassana

Universidad de la República. Facultad de Agronomía.
Departamento de Producción Vegetal. GTI Agricultura.
Ecofisiología y manejo de cultivos. Ayudante de investigación.
EEMAC. Uruguay.

Oswaldo Ernst

Universidad de la República. Facultad de Agronomía.
Departamento de Producción Vegetal. GTI Agricultura.
Sistemas de producción. Profesor titular. EEMAC. Uruguay.

Andrés Berger

INIA La Estanzuela. Programa Cultivos de Secano. Investigador
Principal. Colonia. Uruguay.

INTRODUCCIÓN

En la medida que el mejoramiento genético eleva el potencial de rendimiento de los cultivos, crece la demanda de nitrógeno (N) y, por lo tanto, la fertilización nitrogenada pasa a ser una determinante significativa de la concreción del potencial de rendimiento en grano de los cereales (Sinclair y Horie, 1989; Salvaghiotti *et al.*, 2009).

El sistema de agricultura continua implementado en Uruguay ha provocado una reducción en la capacidad del suelo de aportar N (García *et al.*, 2009; Siri y Ernst, 2009; Hoffman *et al.*, 2013; Mazzilli *et al.*, 2015), determinando un incremento en las cantidades de N que es necesario aplicar a los cultivos (Hoffman y Perdomo, 2011; Centurión y Chinazo, 2012; Hoffman *et al.*, 2013; Cazaban y Rubio, 2014; Hoffman *et al.*, 2014; Mazzilli, 2014). Si bien la cantidad agregada de N por parte de los productores actualmente es mayor a la de hace unos años, la brecha en relación a las necesidades de N se ha incrementado, y ello explica en parte la variación del rendimiento de los cereales entre chacras y empresas en Uruguay (Ernst, 2014; Hoffman *et al.*, 2014; Mazzilli, 2014). Este desajuste entre las dosis aplicadas y las necesidades de los cultivos de N es uno de los principales responsables del estancamiento de la productividad nacional de los cereales en los últimos 10 a 12 años (García, 2009; Hoffman *et al.*, 2014; Hoffman *et al.*, 2015; Ernst *et al.*, 2016).

El constante aumento en los costos de producción, coincidente con la baja en los precios del grano de los cereales en las últimas zafas, crea urgencia en que se logre incrementar racionalmente la productividad de estos cultivos (contemplando

que no se reduzcan los márgenes brutos). Para que ello ocurra, el ajuste de los nutrientes debe considerar los cuatro requisitos básicos (4R) para la nutrición de las plantas (Bruulsema *et al.*, 2013). Esto implica que los resultados son una función del correcto ajuste y selección del o los momentos, dosis, ubicación y fuente de nutrientes.

La propuesta de manejo del N para cereales de invierno disponible en Uruguay (Hoffman *et al.*, 2001; Perdomo *et al.*, 2001; Hoffman *et al.*, 2010) es una herramienta que tiene en cuenta esos cuatro requisitos (Hoffman y Perdomo, 2011). Las alternativas para evitar fuertes caídas de la Eficiencia de Uso del Nitrógeno (EUN), cuando las dosis de N necesarias se incrementan, también deberán contemplar la eliminación o reducción de las restricciones dadas por el ambiente y otros factores de manejo.

Existe abundante información que indica que la cantidad

de N actualmente agregada estaría limitando el potencial de rendimiento de los cereales en Uruguay, sobre todo en cereales de invierno (Hoffman *et al.*, 2013; Ernst *et al.*, 2016).

LAS NECESIDADES ACTUALES DE N

Como consecuencia, en parte, del cambio hacia un sistema de agricultura continua sin rotación con pasturas, ha disminuido la oferta de N por parte de los suelos, llevando a que se incremente la diferencia entre las necesidades de N de los cultivos y el aporte del suelo. El resultado de este cambio es el aumento en las dosis de N necesarias para lograr altos rendimientos (Hoffman y Perdomo, 2011; Hoffman *et al.*, 2013) y una sensible disminución en la cantidad de N absorbida por los cultivos, en ausencia de fertilización nitrogenada (Figura 1).

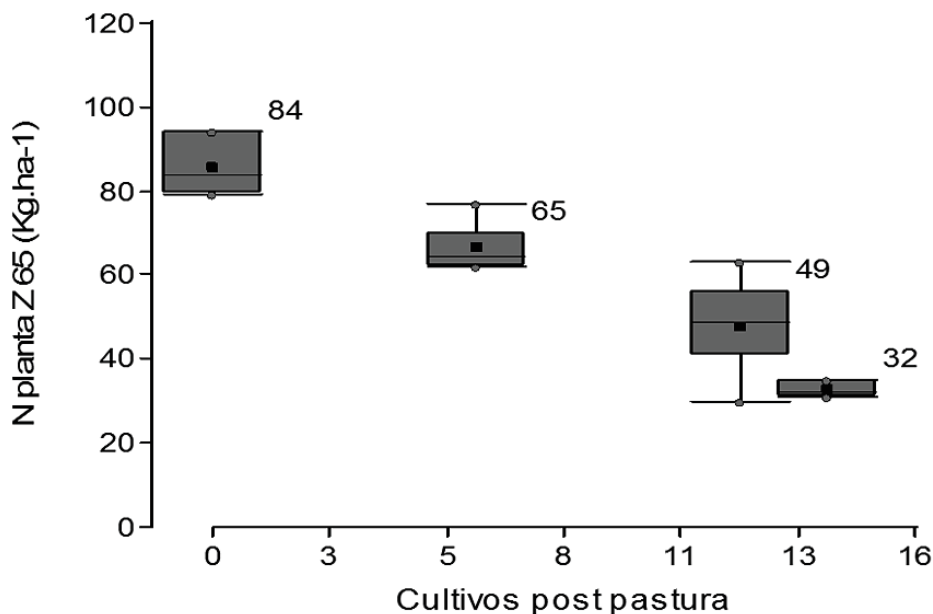


Figura 1. Variación en la cantidad de N absorbido en trigo a Z65 (Zadoks *et al.*, 1974) en cultivos sin agregado de N en relación al número de cultivos pos-pasturas. Red experimental de manejo de N en trigo. Año 2011 (Hoffman *et al.*, 2015).



Cultivo de trigo en pleno llenado de grano en Uruguay

El aporte de N desde el suelo durante la estación de crecimiento se reduce sensiblemente cuando se comparan situaciones de chacras con más de cinco años de agricultura continua, con lo que podría aportar un suelo bajo una rotación con pasturas y hasta cinco años de agricultura. Estos resultados forman parte del diagnóstico surgido de una profusa y consistente información generada recientemente a nivel local, que evidencian la significativa pérdida de rendimiento en grano registrada cuando las necesidades no son cubiertas en chacras con baja capacidad de aporte de N (Ernst y Siri, 2011; Hoffman y Perdomo, 2011; Centurión y Chinazo, 2012; Hoffman *et al.*, 2013; Ernst, 2014; Hoffman *et al.*, 2014; Ernst *et al.*, 2016).

Por otro lado, la estimación del incremento en la demanda de N de los cereales en la medida que aumenta el potencial a concretar (Baethgen, 1992; Hoffman y Perdomo, 2011; García y Correndo, 2013; Berger *et al.*, 2014a) ha cambiado sensiblemente en los últimos 15 años (Figura 2).

la República, y la constatación de que estos cultivares integran la lista de los más sembrados a nivel de producción (Hoffman *et al.*, 2015), asumiendo requerimientos medios de 30 kg de N por tonelada de grano (García y Correndo, 2013), se estima que la demanda de este nutriente desde el año 2000 a la fecha ha crecido a una tasa de 6 kg de N ha⁻¹ año⁻¹. Independientemente del aporte de N de los suelos, comparando estos nuevos cultivares con los integrantes del grupo de élite de fines de los 90, implica un aumento en la demanda de aproximadamente 100 kg adicionales de N ha⁻¹.

Como resultado de la caída de la capacidad de aporte de N de los suelos de chacras que dejaron de rotar con pasturas al menos hace 10 años (Figura 1) y el incremento en la demanda estimada de N (Figura 2), la oferta relativa de N por parte del suelo ha disminuido y esto sería la base del crecimiento en las necesidades de N a agregar vía fertilizantes (Figura 3).

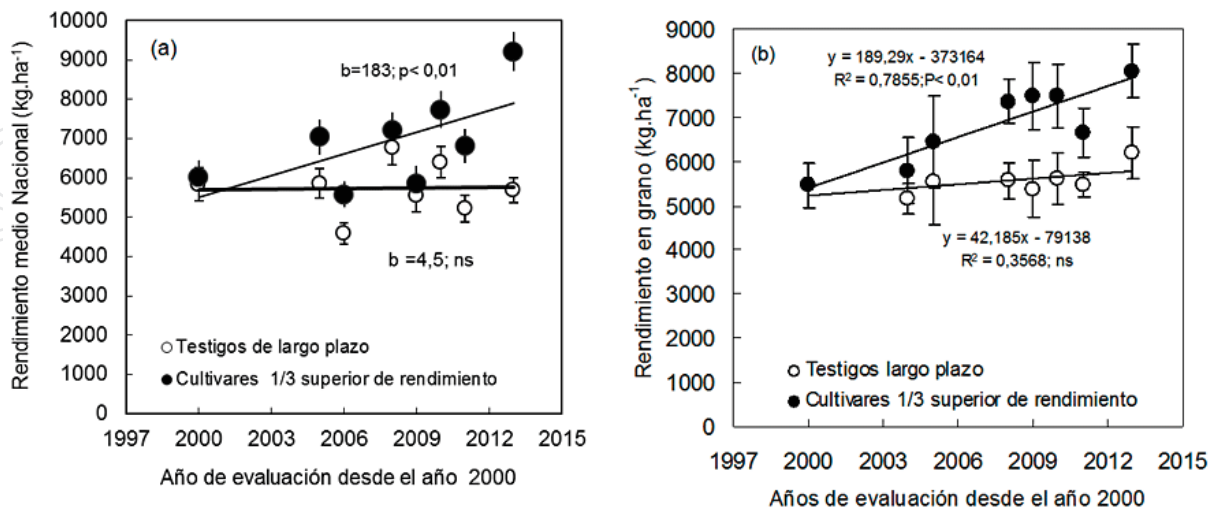


Figura 2. Ganancia genética de cereales de invierno en Uruguay. Evolución del rendimiento en grano de los cultivares élites en relación a los testigos genéticos, durante el siglo XXI (a – cebada), (b – trigo, Hoffman *et al.*, 2014).

En base a los resultados de la ganancia genética, que surgen a partir de estudio de evolución del potencial del material de élite evaluado en el programa de caracterización de cultivares de trigo y cebada de la Facultad de Agronomía de la Universidad de

El diagrama conceptual del cambio en la evolución de la oferta de N de los suelos y la demanda de los cultivos en estos últimos 15 años (Figura 3), deja en evidencia por qué se han incrementado las dosis óptimas de N.

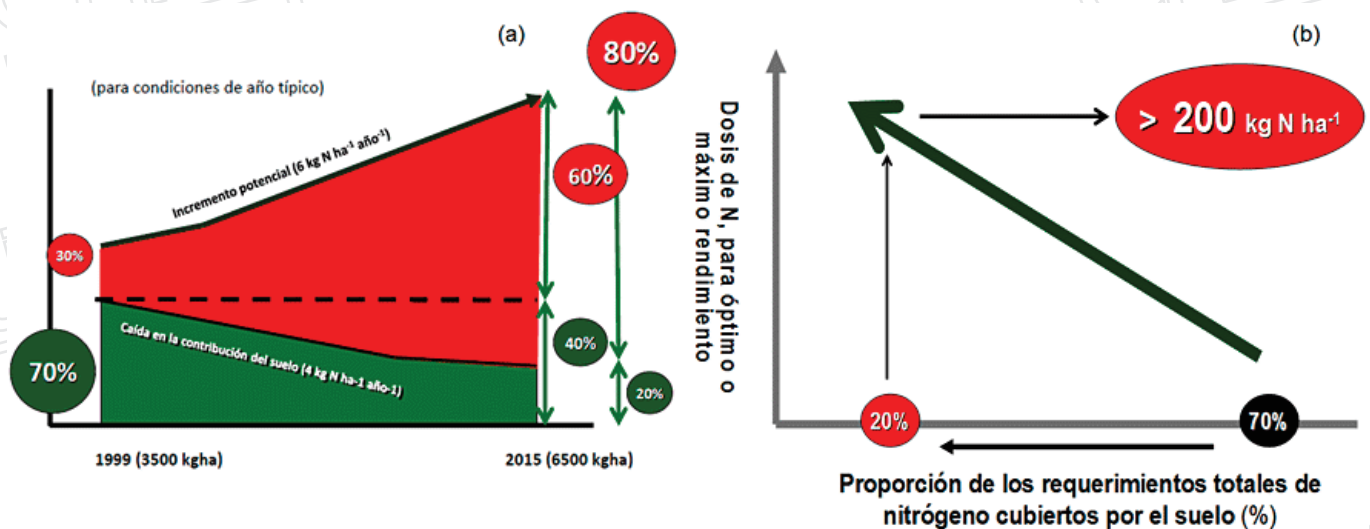


Figura 3. Diagramas de la evolución de (a) la demanda de N en cereales de invierno y aportes relativos de N por parte del suelo, y necesidad relativa de N del fertilizante desde el fin de siglo XX a la fecha, en Uruguay, y (b) cambio en las dosis totales de N en función de la evolución de las necesidades de N cubiertas por el suelo.

REALIDAD Y MIEDOS ASOCIADOS AL USO DE ALTAS DOSIS DE N EN CEBADA CERVECERA

Las cantidades totales de N usadas a nivel de producción, en muchos casos no alcanzan a cubrir el 50 % de las necesidades de N por los cultivos (Hoffman *et al.*, 2013; Ernst, 2014; Hoffman *et al.*, 2014). Las razones o argumentos son muchos y exceden al objetivo de este trabajo. Sin embargo, aún persisten diferencias en los argumentos entre el trigo y la cebada cervecera, típicos de la década del 90. Entre ellos, y sin profundizar en sus fundamentos, surgen afirmaciones consideradas verdades que pueden estar reflejando los miedos o las dificultades, pero que finalmente guían parte del manejo de N y podrán ser consideradas como parte de la explicación del desajuste del N que se registra en los cultivos de cebada cervecera a nivel de producción (Hoffman *et al.*, 2014). Entre ellas se podrían mencionar las más frecuentes: (i) se «usa menos N que en el trigo para que no se pase de proteína»; (ii) «cuando la proteína es elevada es porque se está agregando más N de lo necesario»; (iii) «no se puede usar mucho N a Z30, porque incrementa las probabilidades de que sea alta la proteína en grano».

En Uruguay hay suficiente información disponible que permite profundizar y analizar estas afirmaciones. En este sentido, recientemente un equipo de Fagro-Udelar e INIA, que trabajan juntos en la nutrición nitrógeno-azufrada en cereales de invierno, advertían acerca de las necesidades de N y sobre las dificultades para elevar la concentración de N en grano en las chacras viejas —aun frente a dosis muy elevadas de N— (Jornada de la Mesa Nacional del Trigo, 2016). En esta instancia fue presentada y analizada la información que dejó en evidencia el potencial problema de calidad de grano a nivel nacional, asociado a la baja proteína, derivado de la indudable desnutrición nitrogenada por la que atraviesan los principales cereales de invierno en Uruguay y el posible resultado del aparente menor índice de cosecha del nuevo material genético.

El trabajo de relevamiento tecnológico realizado por la Fagro en proyecto financiado por la MNECC en 2012, muestra el desajuste de N, sobre todo a Zadoks 30 (Z30). En este estadio, y seguramente resultado de los antiguos miedos a las elevadas concentraciones de N en grano, progresivamente las dosis de N agregadas se alejan de las necesarias, cuanto mayor es la deficiencia de este nutriente en este estadio (Figura 4).

De los trabajos llevados adelante en el país, también surge igual evidencia para el cultivo de trigo —aunque a dosis levemente superiores— (Figura 4), cuando la realidad de este cultivo, a diferencia de la cebada, es la necesidad de altas concentraciones de N en grano. Paradójicamente, el comportamiento en cuanto a la fertilización nitrogenada es similar para ambos cereales, cuando los argumentos no lo son.

Sin profundizar en el análisis de esta conducta asumida a nivel productivo, es un hecho que después de dosis de N a Z22 elevadas (Hoffman *et al.*, 2014), no se estaría dispuesto a repetir dosis de N a Z30 similares, independientemente de las necesidades y del cultivo. Como consecuencia de ello, cuando se registran deficiencias de N a Z30 significativas, las cantidades totales de N se alejan de las necesarias, situación que se registra en una mayor proporción en chacras viejas (Hoffman *et al.*, 2013). Probablemente esto sea la causa de la no concreción de altos rendimientos, cuando tanto el material genético como las condiciones climáticas lo permitirían.

Tecnológicamente surge fuerte evidencia, entonces, de que cuando los rendimientos en grano son elevados como consecuencia de las bondades climáticas del año (como en la zafra 2015), el desajuste de la fertilización nitrogenada (Hoffman *et al.*, 2014; Ernst *et al.*, 2016), resulta en un muy bajo nivel de proteína en grano.

UNA NUEVA REALIDAD QUE DEBEMOS CONSIDERAR

En el actual escenario de producción, los potenciales alcanzables del nuevo material genético disponible se han incrementado a tasas muy elevadas. Hoffman *et al.* (2014) estiman que las ganancias de potencial para el trigo en los últimos 15 años han sido del orden del 3,5 % por ha y por año (Figura 2). La cebada parece acompañar al trigo con tasas similares en este mismo período (Figura 2). En los mejores ambientes es posible observar rendimientos experimentales que se acercan a las 11 t de grano ha⁻¹. A nivel experimental se produce una fuerte dilución del N en grano que conduce a caídas significativas en los niveles de proteína cruda (PC), valores que dependen del nivel de rendimiento y condiciones de oferta total de N en cada ambiente (Figura 5). Salvo en situaciones de rendimiento muy bajos, los niveles de dilución son cercanos a 0,5 % de PC en grano por cada tonelada de incremento del rendimiento en grano (Figura 5).

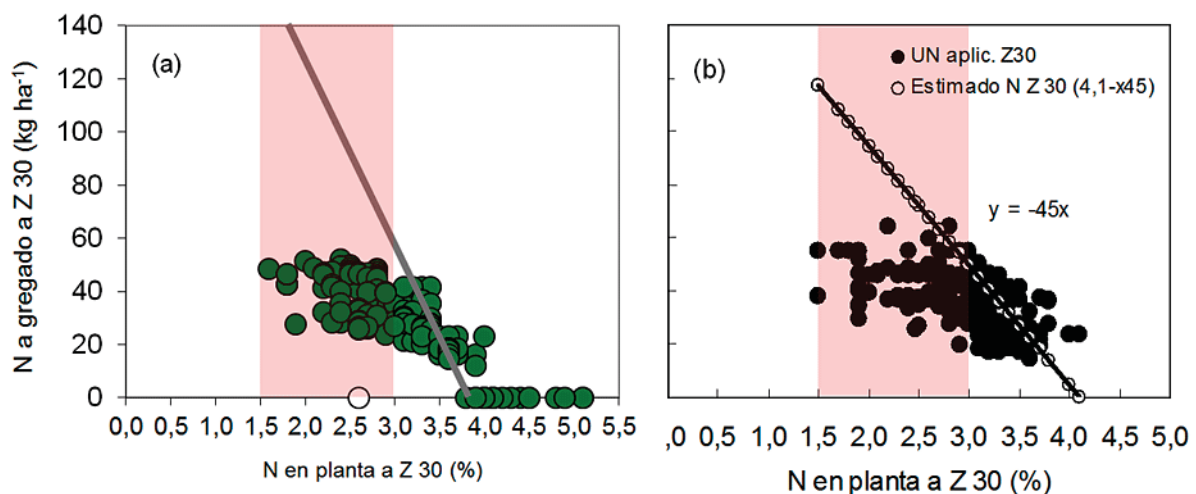


Figura 4. Agregado de N en Cebada (a) y Trigo a Z30 (b) a nivel de producción, en función del nivel de N en planta a Z30. (a) - Relevamiento nacional de cebada -MNECC (Hoffman *et al.*, 2014); (b) - Proyecto N trigo 2013 - Fagro (Hoffman, Fassana y Perdomo; sp).

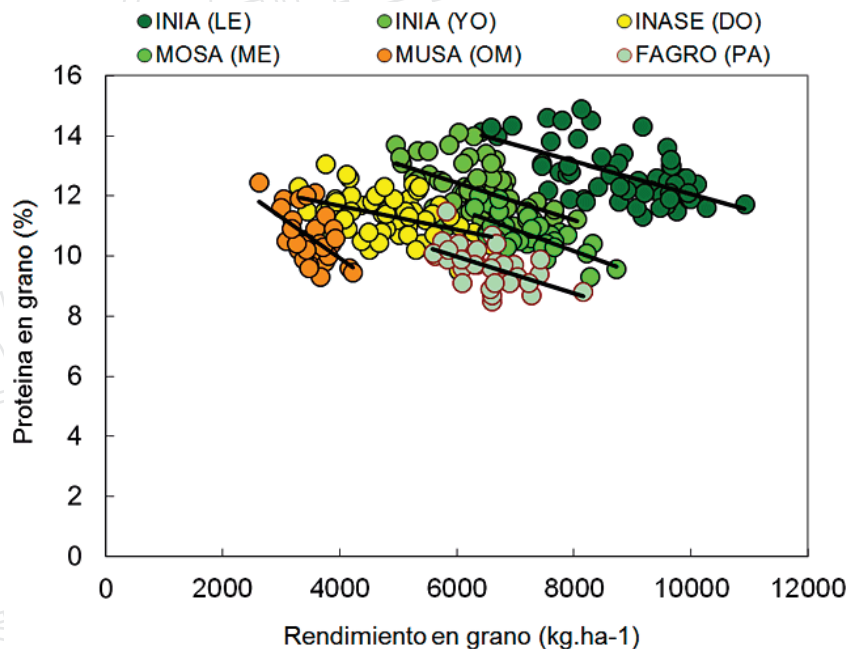


Figura 5. Cambios en la concentración de proteína cruda (PC) en grano de cebada cervecera en función de la variación del rendimiento en grano de distintos cultivares y los parámetros a y b de la ecuación que relaciona la PC y el rendimiento en grano, para seis localidades. Elaborado en base a la Red Nacional de Evaluación de Cultivares de Cebada Cervecera. INASE- INIA.

Si se consideran estos niveles de dilución y la caída de la PC en grano en cebada cervecera (Figura 5), y el cambio en el potencial como resultados de progreso genético del orden las 3 t de grano ha⁻¹ en estos últimos 15 años (Figura 2), se ha modificado por el solo hecho del cambio del potencial, en casi 1,5 % menos al rango a donde puede variar hoy el nivel de PC en grano. Es por ello que comenzamos a registrar valores bajos de PC en grano en los ambientes experimentales en donde se logran los mayores rendimientos y con el supuesto de que el manejo de N acerca la oferta a la demanda.

O esto último no está ocurriendo, o estamos ingresando

con las herramientas de diagnóstico y recomendación de N en una fase de sub-dosis o estamos para el nivel de rendimiento en grano alcanzado con un índice de cosecha de N (ICN) de los nuevos cultivares más bajos (como tantas veces fue reclamado a fines de la década de los noventa). Comienza a existir evidencia de que están conviviendo a nivel experimental más de uno de estos factores juntos. En este sentido si bien no hay trabajos específicos acerca del ICN de los nuevos cultivares, comienza a surgir evidencia indirecta de cambios en el nuevo material genético (Figura 6).

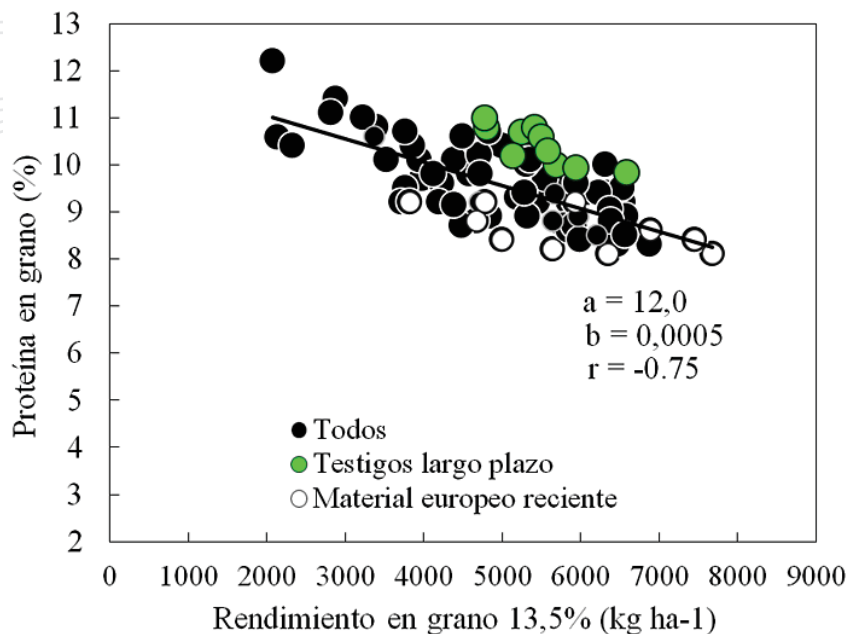


Figura 6. Cambios en la concentración de proteína cruda en grano de cebada cervecera en función de la variación del rendimiento en grano de distintos cultivares evaluados en el año 2015 en Paysandú, dentro del programa de caracterización de cultivares de cebada de la EEMAC-Fagro-Udelar (tomado de Hoffman *et al.*, 2015).

En 2015 en Paysandú, con rendimientos en grano del orden de las 6 t.ha⁻¹ (año que no fue óptimo para el logro de los mayores potenciales posibles en esta zona del país), la PC en grano varió entre 10 y 11 % para los testigos genéticos de largo plazo. Mientras que con el mismo manejo del N e igual rendimiento en grano, la PC en grano del nuevo material genético de elite se ubicó casi 2 % por debajo.

Debemos pensar en un cambio si queremos resolver el alto

riesgo de ingresar en una zona de proteína baja consistente. Más allá de cuál es realmente el ICN actual del material genético en uso, debemos orientarnos hacia cultivos que logren niveles de biomasa total producida muy elevados a cosecha (> a las 20 t de MS ha⁻¹) (Berger *et al.*, 2014b; Hoffman *et al.*, 2014) y consecuentemente, cantidades de N absorbidas también altas (\geq a 200 kg. de N ha⁻¹) (Figura 7).

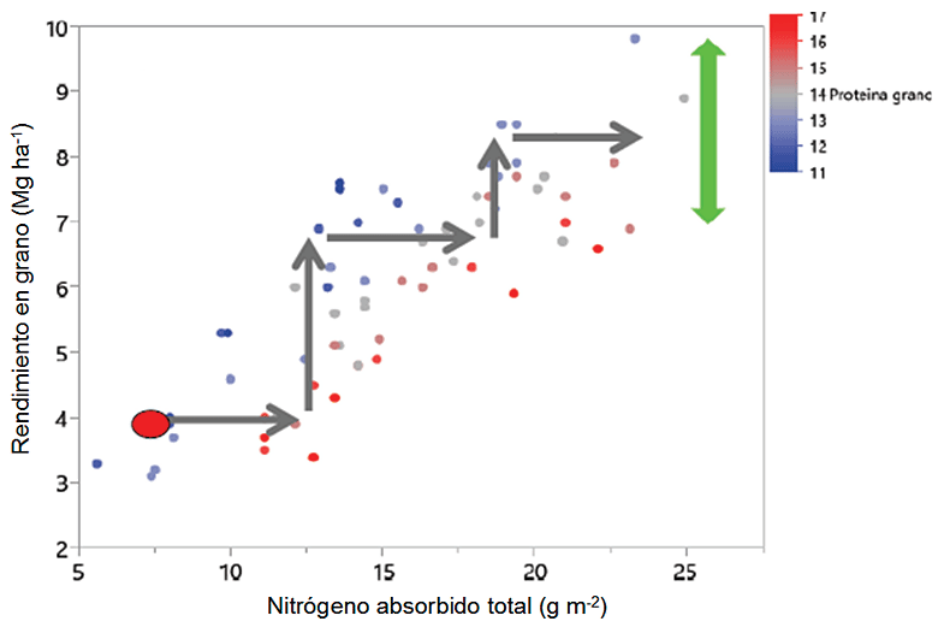


Figura 7. Variación del rendimiento y proteína en grano de trigo, en función del incremento en la cantidad total de N absorbido a cosecha (Berger *et al.*, 2014).



Cultivo de cebada cervecedera a inicios de llenado de grano en Uruguay

Cuando esto ocurra, en la medida que se siga asistiendo a ganancias genéticas como las anteriormente mencionadas, y por tanto siga incrementándose el rendimiento en grano, deberá seguir incrementando la absorción de N.

Más allá de si cambiamos o no el sistema y volvemos a contar con chacras que roten con pasturas y por tanto se incremente la capacidad de aporte de N promedio de los suelos, seguiremos asistiendo a un incremento de las dosis de N, aunque sea a tasas inferiores a las registradas en lo que va del siglo.


Estamos trabajando en los principales factores que permiten mantener o incrementar la EUN frente a elevadas dosis de N derivadas del fertilizante. En este camino, desde hace 20 años trabajamos para objetivar el manejo de este nutriente y actualmente estamos explorando los cambios que nos exige la realidad actual y la que creemos será la futura.

COMENTARIOS FINALES

1. Todas las gramíneas del sistema agrícola uruguayo actualmente son víctimas de la falta del N, y por tanto la deficiencia nitrogenada caracteriza el nivel tecnológico del momento.

2. A pesar del incremento en las cantidades de N agregadas, siguen siendo insuficientes y crece el desfase con la demanda. Parte de los problemas derivados de esta situación, cuando se dan condiciones climáticas que favorecen la expresión de altos rendimientos en grano, es un nivel de PC muy por debajo de lo que requiere la industria.

3. La información contemporánea nos brinda evidencias de que el modelo de manejo de N para cereales de invierno en Uruguay, detecta las deficiencias, pero en chacras viejas se podría estar quedando corto en las dosis, sobre todo a Z30. Sin embargo esto no implica directamente que estemos pensando en más N en este estadio.

4. Debemos apuntar a resolver el problema de agregar más N, sin que se nos caiga drásticamente la EUN; aunque en el corto plazo aún podemos hacer mucho usando la información que ya está disponible. 

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAETHGEN, W. 1992. Fertilización nitrogenada de cebada cervecera en el Litoral Oeste del Uruguay. INIA La Estanzuela. Serie Técnica N° 24. 58p.

Berger, A.G.; Gaso, D.; Calistro, R.; Morales, M.X. 2014a. Limitantes ambientales y potencial de rendimiento de trigo en Uruguay. En: Seminario Internacional 1914-2014: Un siglo de mejoramiento de trigo en La Estanzuela: un valioso legado para el futuro. 27-29 agosto 2014. INIA La Estanzuela, Colonia. Resúmenes. pp. 33.

Berger, A.G.; Vázquez, D.; Calistro, R.; Morales, X. 2014b. Acumulación de nitrógeno y determinación de la calidad panadera en trigos de alto rendimiento. Congreso uruguayo de suelos y VI encuentro de la SUCS. Colonia del Sacramento, 6-8 agosto 2014.

Bruulsema, T.; Fixen, P.; Sulewski, G. 2013. 4R de la nutrición de plantas: un manual para mejorar el manejo de la nutrición de plantas. IPNI. Norcross, Georgia, EE.UU. Traducción al español Oficinas de IPNI Latinoamérica.

Cazaban, M.; Rubio, D.N. 2014. Efecto de la fertilización nitrogenada tardía (V10-11), sobre el rendimiento de maíz. [Tesis para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo]. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. Uruguay. 81p.

Centurión, A.H., Chinazo, M.V. 2012. Rendimiento alcanzable en trigo en función de los años de agricultura. Relevamiento de chacras. [Tesis para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo]. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. Uruguay. 72p.

Ernst, O. 2014. Efecto de los años de agricultura continua sobre el rendimiento actual y alcanzable en trigo en Uruguay. En: Intensificando el conocimiento del suelo y medioambiente para producir más y mejor. Congreso Uruguayo de ciencias de suelo. VI encuentro de la SUCS. [En línea] Consultado 17 setiembre 2015. Disponible en: <http://www.suelos.com.uy/pdf/p/i-t.pdf>

Ernst, O.; Kemanian, A.; Mazzilli, S.; Cadenazzi, M.; Dogliotti, S. 2016. *Depressed attainable wheat yields under continuous annuals no-till agriculture suggest declining soil productivity.* *Field Crops Research*, 186: 107-116.

Ernst, O.; Siri Prieto, G. 2011. La agricultura en Uruguay. Su trayectoria y consecuencias. En: Ribeiro A. [Ed.]. II Simposio Nacional de Agricultura. No se llega si no se sabe a dónde ir. El abordaje necesario para que el proceso de expansión agrícola madure en Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. Hemisferio Sur. 149-163.

García, A.; Morón, A.; Quincke, A. 2009. El indicador del potencial de mineralización (PMN): Posible uso para recomendación de fertilización en trigo por el método de balance. En: Mejores prácticas de manejo para una mayor eficiencia en la nutrición de cultivos. Simposio de Fertilidad. IPNI Cono Sur-Fertilizar AC. Mayo del 2009. Rosario-Argentina. pp. 218-220.

García, F.O. 2009. Introducción: Marco de referencia del Simposio. En: Hoffman E., Ribeiro A, Marco de referencia de I Simposio Nacional de Agricultura de secano. GTI-Agricultura - Fagro-Udelar- IPNI Cono Sur. Hemisferio Sur. 3-5 p

García, F.O.; Correndo, A. 2013. Planilla de cálculo para estimar la absorción y extracción de nutrientes cereales, oleaginosas, industriales y forrajeras. IPNI Programa Latinoamérica Cono Sur. [En línea]. Consultado 7 setiembre 2015. Disponible en: <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1024>

Hoffman, E.; Perdomo, C. 2011. Manejo del nitrógeno en cereales de invierno, en un escenario de cambios del sistema agrícola uruguayo. En: Ribeiro A. [Ed.]. II Simposio Nacional de Agricultura. No se llega si no se sabe a dónde ir. El abordaje necesario para que el proceso de expansión agrícola madure en Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. Hemisferio Sur. 45-60.

Hoffman, E.M.; Locatelli, A.; Fassana, C.N.; Viega, L.; Castro, A.J. 2014. Evaluación de la evolución de la oferta varietal del trigo en Uruguay en el siglo XXI. En: Memorias de Seminario Internacional. 1914 – 2014, un Siglo de Mejoramiento de Trigo en La Estanzuela. Agosto 2014. INIA La Estanzuela. Colonia Uruguay (en prensa).

Hoffman, E.M.; Fassana, C.N.; Mazzilli, S.; Berger, A.; Ernst, O. 2015. La productividad parcial de los nutrientes. La necesidad de incrementar la eficiencia de uso del nitrógeno. En: Ribeiro A, Barbazan M. [Eds.] IV Simposio Nacional de Agricultura. Buscando el camino para la intensificación sostenible de la agricultura. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. Hemisferio Sur. 131-140.

Hoffman, E.; Arbelteche, P.; Fassana, C.N.; Locatelli, A.; Gutierrez, G.; Viega, L.; Castro, A.J. 2014. Estudio del posicionamiento tecnológico y estratégico de la cebada cervecera en Uruguay. Relevamiento de cultivos de invierno. Proyecto de la MNECC. Uruguay. 42p.

Hoffman, E.; Fassana, C.N.; Perdomo, C. 2013. Manejo de nitrógeno en cereales de invierno. ¿Agregando más nos estamos quedando cortos? En: Ribeiro A, Silva H. [Eds.] III Simposio Nacional de Agricultura. No se llega si no se sabe a dónde ir. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. Hemisferio Sur. 51-62.

Hoffman, E.; Perdomo, C.; Ernst, O.; Bordolli, M.; Pastorini, M.; Pons, C.; Borghi, E. 2010. Propuesta para el manejo del nitrógeno en cultivos de invierno en Uruguay. En: Informaciones Agronómicas del Cono sur. IPNI-Instituto Internacional de Nutrición de Planta- ISSN 1666- 7115- RPI. 782346. Nro 46. Junio del 2010. Argentina. 13-18p

Hoffman, E.; Perdomo, C.; Ernst, O.; Bordolli, M.; Pastorini, M.; Pons, C.; Borghi, E. 2001. Propuesta de manejo de la fertilización nitrogenada para cultivos de invierno en Uruguay. En: Seminario Nacional de discusión técnica. Junio del 2001. Paysandú-Uruguay. EEMAC-Fagro-Udelar.

Mazzilli, S. 2014. Registros de chacra: principales variables que determinaron el rendimiento y calidad. En: Jornada de cultivos de invierno de FUCREA. [En línea] Consultado 17 setiembre 2015. Disponible en: <http://www.fucrea.org/informacion/index.php?Typeld=15&ClassId=46&Id=1315>

Mazzilli, S.; Ernst, O.; Sastre, A.; Terra, G. 2015. Disponibilidad de nitratos en sistemas agrícolas sin laboreo y su relación con variables ambientales y de manejo. *Agrociencia Uruguay*, 19 (1): 131-139.

Perdomo, C.; Hoffman, E.; Pons, C.; Borghi, E. 2001. Fertilización en cebada cervecera. Boletín de Divulgación Facultad de Agronomía - Udelar - OIEA Gestión de la Nutrición de las Plantas, el Suelo y el Agua Reunión final de Coordinadores Proyecto Gestión del suelo, las plantas y el agua: ARCAL XXII, 26-30 marzo 2001, Oaxaca, México.

Salvaggiotti, F.; Castellarin, J.M.; Miralles, D.J.; Pedrol, H.M. 2009. *Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake.* *Field Crop Research*, 113: 170-177.

Sinclair, T.R.; Horie, T. 1989. *Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: a review.* *Crop Science*, 29: 90-98.

Siri Prieto, G.; Ernst, O. 2009. Cambios en el contenido de carbono y nitrógeno del suelo: ¿hacia dónde va el sistema? En: Hoffman E, Ribeiro A, Ernst O, García FO [Org]. Primer Simposio Nacional de Agricultura de secano. Universidad de la República. Facultad de Agronomía, 111-123.

Zadoks, J.C.; Chang, T. T.; Konzak, C.F. 1974. *A decimal code for the growth stages of cereals.* *Weed research*, 14(6), 415-421.