

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

E. Hoffman^{1*}, C. Perdomo², N. Fassana¹, O. Ernst¹, y A. Berger³

- *Los cereales de invierno del sistema agrícola uruguayo, bajo el nivel tecnológico actual, son deficientes en nitrógeno (N). Esto resulta en niveles de proteína en grano por debajo de lo que requiere la industria.*
- *La información contemporánea nos brinda evidencias de que el modelo de manejo de N para cereales de invierno en Uruguay detecta las deficiencias, pero las dosis recomendadas podrían ser sub-óptimas en chacras viejas, sobre todo en las aplicaciones a Z30. Sin embargo, en el corto plazo, la información disponible puede aportar significativamente a la resolución del problema.*
- *La investigación en curso busca resolver el problema de agregar más N, sin disminuir la eficiencia de uso del nutriente (EUN).*

Introducción

En la medida que el mejoramiento genético eleva el potencial de rendimiento de los cultivos, crece la demanda de 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 de la época de aplicación, 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 los 4R (Hoffman y Perdomo, 2011). Las alternativas para evitar fuertes caídas de la eficiencia de uso del N (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**).

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 con hasta cinco años de agricultura. Estos resultados forman parte del diagnóstico surgido de una profusa y consistente información generada recientemente a nivel local, que

¹ Facultad de Agronomía. Departamento de Producción Vegetal. GTI Agricultura. EEMAC. Universidad de la República. Paysandú, Uruguay

² Facultad de Agronomía. Departamento de Suelos y Aguas. Universidad de la República. Montevideo, Uruguay

³ INIA La Estanzuela. Programa Cultivos de Secano. Colonia, Uruguay

* Autor de contacto. Correo electrónico: tato@fagro.edu.uy

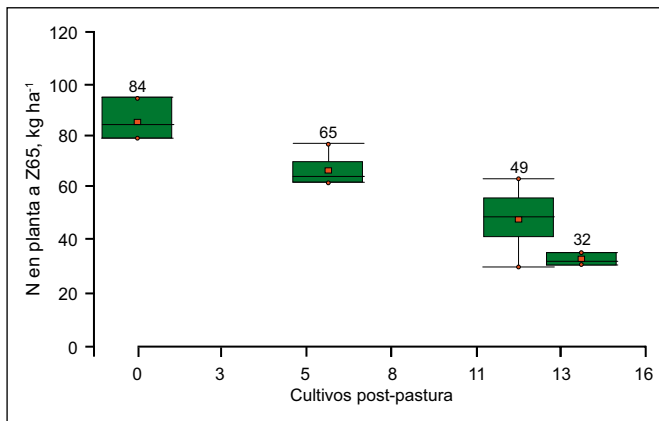


Figura 1. Variación en la cantidad de N absorbido en trigo a Z65 (antes) (Zadoks et al., 1974) en cultivos sin agregado de N en relación al número de cultivos post-pasturas. Red experimental de manejo de N en trigo. Año 2011 (Hoffman et al., 2015).

evidencia 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 de rendimiento (Baethgen, 1992; Hoffman y Perdomo, 2011; García y Correndo, 2013; Berger et al., 2014a), ha cambiado sensiblemente en los últimos 15 años (Figura 2).

En base a los resultados de la ganancia genética en trigo y cebada, se estima que la demanda de N desde el año 2000 a la fecha ha crecido a una tasa de 6 kg ha⁻¹ año⁻¹. Estas estimaciones surgen a partir del estudio de evolución del potencial del material élite evaluado en el programa de caracterización de cultivares de trigo y cebada de la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República (FAGRO-UdelaR), y la constatación de que estos cultivares integran la lista de los más sembrados a nivel de producción (Hoffman et al., 2015), suponiendo

requerimientos medios de 30 kg de N por tonelada de grano (García y Correndo, 2013). Independientemente del aporte de N por los suelos, la comparación de estos nuevos cultivares con los integrantes del grupo de élite de fines de los 90', muestra un aumento en la demanda de aproximadamente 100 kg N ha⁻¹.

Como resultado de la caída de la capacidad de aporte de N por los suelos de chacras que dejaron de ser rotadas 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).

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 en la aplicación de 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 exceda el contenido 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".

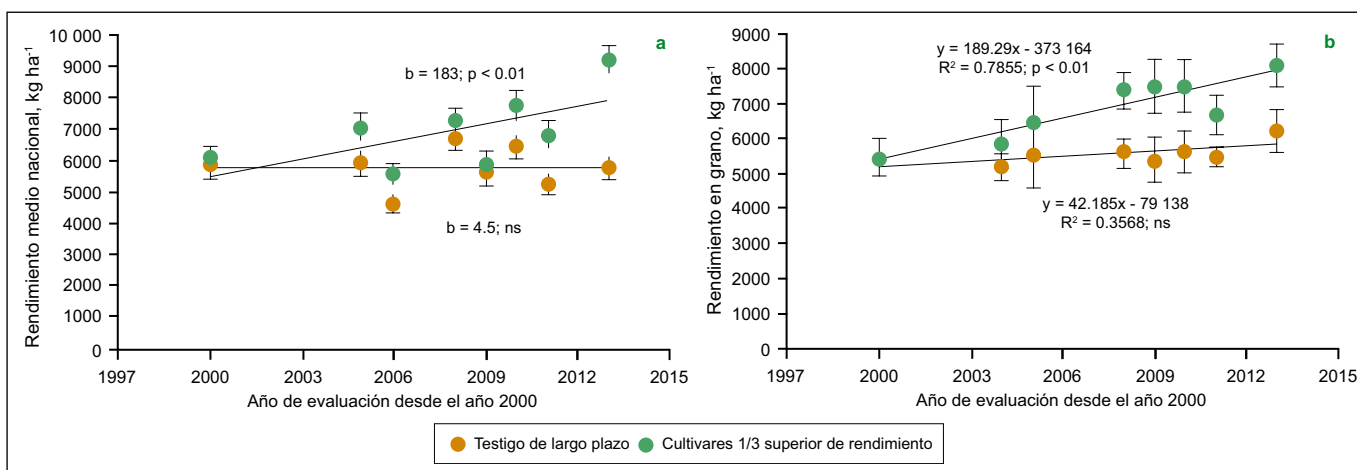


Figura 2. Ganancia genética de cereales de invierno en Uruguay. Evolución del rendimiento en grano de los cultivares de élite en relación a los testigos genéticos, durante el siglo XXI (a - cebada) (b - trigo, Hoffman et al., 2014).

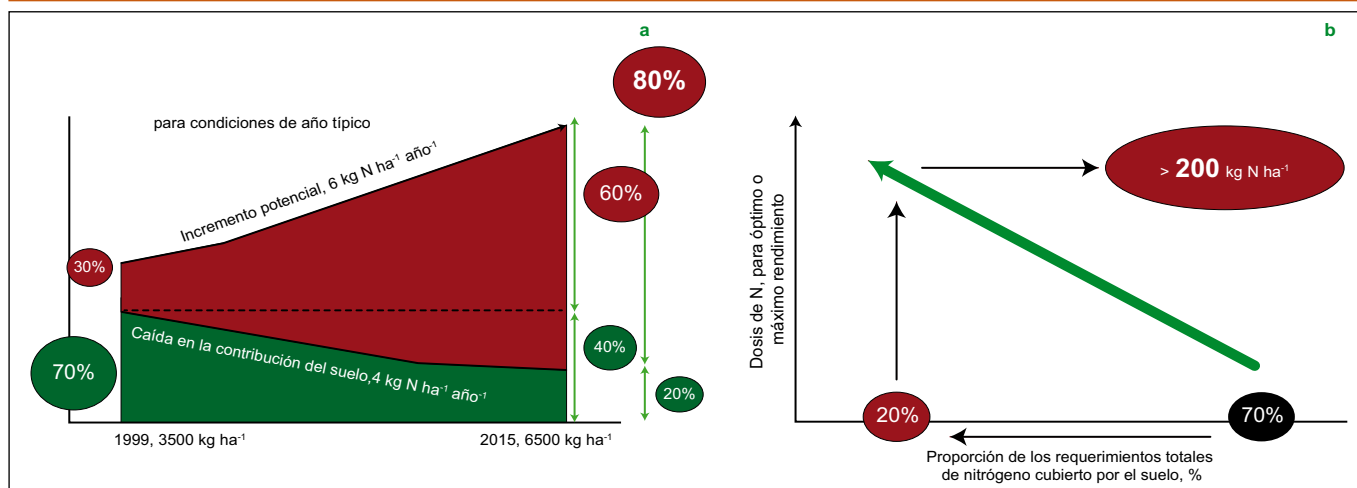


Figura 3. Diagramas de la evolución de (a) la demanda de N en cereales de invierno y aportes relativos de N por parte del suelo, y necesidad relativa de N del fertilizante desde el fin del siglo XX a la fecha, en Uruguay, y (b) cambio en las dosis totales de N en función de la evolución de las necesidades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

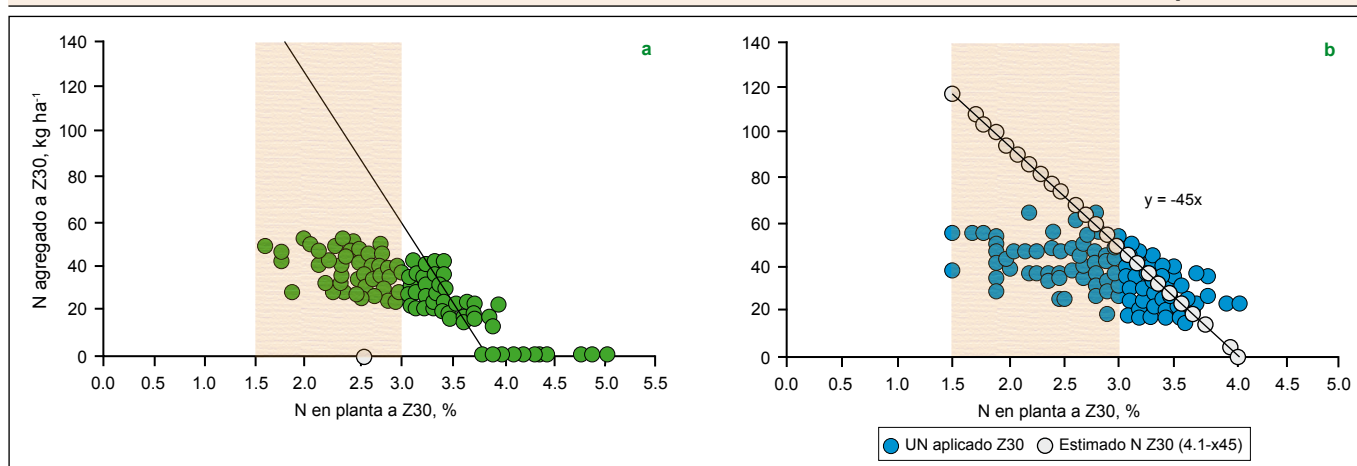


Figura 4. Nitrógeno agregado en cebada (a) y trigo a Z30 (b) a nivel de producción, en función del nivel de N en planta a Z30. (a) - Relevamiento nacional de cebada -MNECC (Hoffman et al., 2014); (b) - Proyecto N trigo 2013 - FAGRO (Hoffman, Fassana y Perdomo; inédito).

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, advertía acerca de las necesidades de N y 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 la información presentada y analizada dejó en evidencia el problema potencial 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 el proyecto financiado por la Mesa Nacional de Entidades de Cebada Cervecera (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 (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 en realidad este cultivo, a diferencia de la cebada, necesita altas concentraciones de N en el 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 aplicar dosis elevadas de N a Z22 (Hoffman et al., 2014), no se estaría dispuesto a repetir la aplicación de dosis similares de N a Z30, independientemente de las necesidades y del cultivo. Como consecuencia de ello, cuando se registran deficiencias significativas de N a Z30, las cantidades totales de N aplicadas 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 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 nivel de proteína en grano muy bajo.

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 año (Figura 2). La cebada parece acompañar al trigo con tasas similares en este mismo periodo. En los mejores ambientes es posible observar rendimientos experimentales que se acercan a las 11 t de grano ha⁻¹. A ese nivel de rendimiento se produce una fuerte dilución del N en grano que conduce a caídas significativas en los niveles de proteína cruda (PC) a valores que dependen del nivel de rendimiento y las 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.

Si se consideran estos niveles de dilución y la caída de la PC en grano en cebada cervecera (Figura 5), y el incremento en el potencial como resultados de progreso genético del orden de 3 t de grano ha⁻¹ en estos últimos 15 años (Figura 2), el rango a donde puede variar hoy el nivel de PC en grano se ha modificado, en casi 1.5% menos. 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.

Esta situación nos plantea varias incógnitas: (1) El supuesto acercamiento entre la oferta y demanda de N no está ocurriendo, o (2) Con las herramientas de diagnóstico y recomendación de N actuales estamos operando en una fase de sub-dosis, o (3) Para el nivel de rendimiento en grano alcanzado estamos con un índice de cosecha de N (ICN) inferior para los nuevos cultivares (como tantas veces fue reclamado a fines de la década de los 90). Comienza a existir evidencia de que a nivel experimental más de uno de estos tres escenarios están conviviendo 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.

La Figura 6 muestra que en 2015 (año que no fue óptimo para el logro de los mayores rendimientos potenciales en esta zona del país), en Paysandú, con rendimientos en grano del orden de las 6 t ha⁻¹, 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, en el nuevo material genético de elite fue casi 2% inferior.

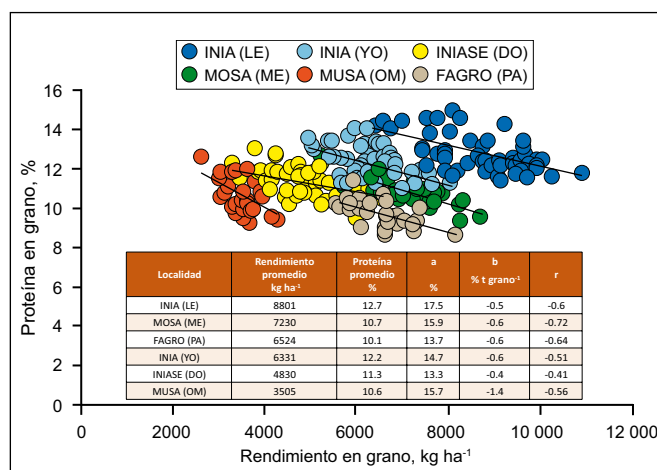


Figura 5. Cambios en la concentración de Proteína cruda (PC) en grano de cebada cervecera en función de la variación del rendimiento en grano de distintos cultivares y los parámetros a y b de la ecuación de regresión entre la PC y el rendimiento en grano, para seis localidades. Elaborado en base a la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

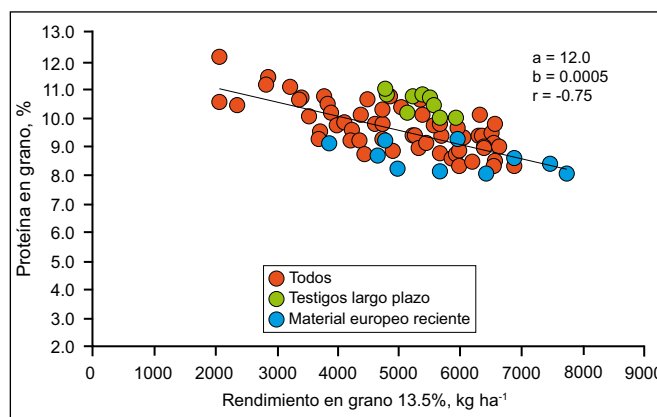


Figura 6. Cambios en la concentración de Proteína cruda (PC) en grano de cebada cervecera en función de la variación del rendimiento en grano de distintos cultivares evaluados en el año 2015 en Paysandú, dentro del programa de caracterización de cultivares de cebada de la EEMAC-FAGRO-UdelaR (tomado de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

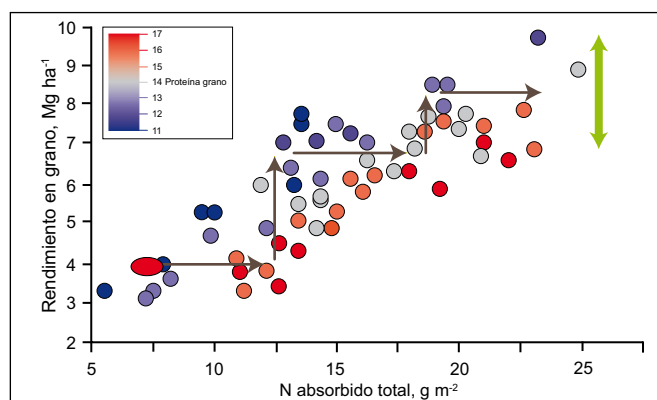


Figura 7. Variación del rendimiento y proteína en grano de trigo, en función del incremento en la cantidad total de N absorbido a cosecha (Berger et al., 2014b).

Debemos pensar en un cambio si queremos evitar el alto riesgo de ingresar en una zona de proteína sistemáticamente baja. 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 a cosecha muy elevados (> 20 t de materia seca ha⁻¹) (Berger et al., 2014b; Hoffman et al., 2014) y consecuentemente, cantidades de N absorbidas también altas (\geq a 200 kg N ha⁻¹) (**Figura 7**).

Cuando esto ocurra, en la medida que se sigan alcanzando ganancias genéticas en el rendimiento en grano como las anteriormente mencionadas, deberá seguir incrementando la necesidad 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 necesarias, 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 objetivizar 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

- Actualmente todas las gramíneas del sistema agrícola uruguayo son afectadas por la falta de N.
- A pesar del incremento en las cantidades de N agregadas, éstas siguen siendo insuficientes y crece el desfase con el N demandado. Parte de los problemas derivados de esta situación, cuando se dan condiciones climáticas que favorecen la expresión de altos rendimiento en grano, son niveles de PC muy por debajo de lo que requiere la industria.
- 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 podría estar subestimando las dosis, sobre todo a Z30. Sin embargo, esto no implica directamente que estemos pensando en aplicar más N en este estadio.
- Debemos tratar de resolver el problema de agregar más N, sin reducir drásticamente la EUN; en el corto plazo aún podemos hacer mucho usando la información que ya está disponible.

Bibliografía

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

Berger, A.G., D. Gaso, R. Calistro, y M.X. Morales. 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. 33 p.

Berger, A.G., D. Vázquez, R. Calistro, y X. Morales. 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., P. Fixen, y G. Sulewski. 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 del IPNI Latinoamérica.

Cazaban, M., y D.N. Rubio. 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. 81 p.

Centurión, A.H., y M.V. Chinazo. 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. 72 p.

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 septiembre 2015. Disponible en: <http://www.suelos.com.uy/pdf/p/i-t.pdf>

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

Ernst, O., y G. Siri Prieto. 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. pp. 149-163.

García, A., A. Morón, y A. Quincke. 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 del I Simposio Nacional de Agricultura de secano. GTI- Agricultura - Fagro-UdelaR- IPNI Cono Sur. Hemisferio Sur. pp. 3-5.

- García, F.O., y A.A. Correndo. 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 septiembre 2015. Disponible en: <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1024>
- Hoffman, E., y C. Perdomo. 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. pp. 45-60.
- Hoffman, E.M., A. Locatelli, C.N. Fassana, L. Viega, y A.J. Castro. 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., C.N. Fassana, S. Mazzilli, A. Berger, y O. Ernst. 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. pp.131-140.
- Hoffman, E., P. Arbelteche, C.N. Fassana, A. Locatelli, G. Gutierrez, L. Viega, y A.J. Castro. 2014. Estudio del posicionamiento tecnológico y estratégico de la cebada cervecera en Uruguay. Relevamiento de cultivos de invierno. Proyecto de la MNECC. Uruguay. 42 p.
- Hoffman, E., C.N. Fassana, C. Perdomo. 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. pp. 51-62.
- Hoffman, E., C. Perdomo, O. Ernst, M. Bordolli, M. Pastorini, C. Pons, y E. Borghi. 2010. Propuesta para el manejo del nitrógeno en cultivos de invierno en Uruguay. En: Informaciones Agronómicas del Cono Sur. Instituto Internacional de Nutrición de Planta. ISSN 1666 7115-RPI. 782346. Nro 46. Junio del 2010. Argentina. pp. 13-18
- Hoffman, E., C. Perdomo, O. Ernst, M. Bordolli, M. Pastorini, C. Pons, y E. Borghi. 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 septiembre 2015. Disponible en: <http://www.fucrea.org/informacion/index.php?Typeld=15&ClassId=46&Id=1315>
- Mazzilli, S., O. Ernst, A. Sastre, y G. Terra. 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., E. Hoffman, C. Pons, y E. Borghi. 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.
- Salvaghiotti, F., J.M. Castellarín, D.J. Miralles, y H.M. Pedrol. 2009. Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. *Field Crop Research*, 113:170-177.
- Sinclair, T.R., y T. Horie. 1989. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: a review. *Crop Science*, 29:90-98.
- Siri Prieto, G., y O. Ernst. 2009. Cambios en el contenido de carbono y nitrógeno del suelo: ¿hacia dónde va el sistema? En: Hoffman E, Ribeiro A, Ernst O, García F.O. [Org]. I Simposio Nacional de Agricultura de secano. Universidad de la República. Facultad de Agronomía, pp. 111-123.
- Zadoks, J.C., T.T. Chang, y C.F. Konzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed research*, 14(6):415-421.

