

La necesidad de incrementar la eficiencia de uso del nitrógeno en cereales de invierno

E.M. Hoffman^{1*}, N.C. Fassana², S. Mazzilli¹, A. Berger², O. Ernst¹

Introducción

El nitrógeno (N) es un nutriente esencial y en la medida que el mejoramiento genético ha elevado el potencial de rendimiento de los cultivos, crece su demanda y, por lo tanto, la fertilización nitrogenada pasa a ser determinante de la variación del rendimiento en grano de los cereales (Sinclair y Horie, 1989; Salvagiotti et al., 2009). Si concomitantemente se reduce la oferta de N por parte del suelo, el manejo de la fertilización (dosis, momento, forma y fuente) definen la eficiencia de uso del N agregado. El incremento en las cantidades de N agregadas, en particular en ambientes con capacidad de oferta disminuida (García et al., 2009; Hoffman y Perdomo, 2011), conduce hacia una disminución en la cantidad de grano total producido por unidad de N total usado (PPFN - productividad parcial del factor N) (Pierce y Rice, 1988; Dobermann, 2007) y en caso de excesos podría incrementar las posibilidades de pérdida, aumentando el potencial de contaminación (Cassman et al., 2003). En este escenario de agregado de altas dosis de N, profundizar en la base de la eficiencia de uso del N (EUN) (kg de grano por kg de N agregado), parece una necesidad ineludible.

El sistema de agricultura continua implementado en Uruguay, ha determinado una reducción en la capacidad de aporte de N desde el suelo (Siri y Ernst, 2009, García et al., 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 es mayor, las cantidades absorbidas por los cultivos no cubren las necesidades, y ello en parte explica la variación del rendimiento de los cereales entre chacras y empresas en Uruguay (Ernst, 2014; Hoffman et al., 2014; Mazzilli, 2014). Esto implica que el desajuste del N sea uno de los principales responsables de la brecha de rendimiento (Berger et al., 2014a; Ernst., 2014), y probablemente 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).

El constante aumento en los costos de producción, con bajos precios de los cereales en las últimas zafas, exige incrementar la productividad de estos cultivos, contemplando que no se reduzcan los márgenes brutos. En este sentido la productividad parcial de los distintos factores de producción (Pierce y Rice, 1988; Dobermann,

2007), en particular la del N (PPF_N), deberá mantenerse elevada, aunque dentro de los rangos que no evidencien problemas de extracción excesiva (cuando los valores de PPF_N son muy elevados), o de exceso y riesgo de contaminación (PPF_N muy bajos) (García, 2013). El primer aspecto o paso para mantener una elevada EUN, debe basarse en una elevada PPFN (García y Salvagiotti, 2009). Para que ello ocurra, el ajuste de este nutriente, se debe considerar los cuatro requisitos básicos (4R) para la nutrición de las plantas (Bruulsema et al., 2013).

La propuesta de manejo de N disponible para cereales de invierno en Uruguay (Hoffman et al., 2001; Perdomo et al., 2001; Hoffman et al., 2010), es una herramienta que permite manejar el N buscando altas EUN (Hoffman y Perdomo, 2011). Las alternativas para evitar fuertes caídas de la 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. El objetivo de este trabajo es profundizar en los componentes principales de la EUN, la eficiencia de absorción o recuperación aparente del N derivado del fertilizante (RAN) y la eficiencia de utilización o fisiológica del N recuperado (EFNr) (Moll et al., 1982; Huggins y Pan, 1993) y los factores que la pueden estar afectando.

Caminos opuestos: demanda de nitrógeno de los cultivos y oferta de los suelos

Es conocido el incremento en la demanda de N de los cereales en la medida que aumenta el potencial de rendimiento (Baethgen, 1992; Perdomo y Hoffman, 2011; Ceriani e Inella. 2012; García y Correndo, 2013; Berger et al., 2014a). Sin embargo, en las condiciones locales y como resultado 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 brecha entre las necesidades de N por parte de los cultivos y su aporte por el suelo. El resultado es el aumento en las dosis de N necesarias (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 del trigo se redujo en 44% comparando las situaciones evaluadas sobre chacras con más de 5 años de agricultura continua, con lo que podría ser una rotación con pasturas con hasta 5 años de agricultura. Estos resultados confirman el diagnóstico surgido de una profusa

¹ Universidad de la República. Facultad de Agronomía. Departamento de Producción Vegetal (EEMAC). Paysandú, Uruguay

² INIA La Estanzuela Programa Cultivos de Secano

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

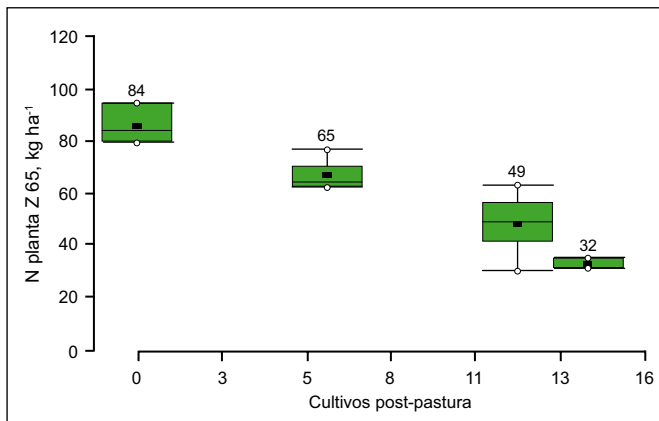


Figura 1. Variación en la cantidad de N absorbido a Z 65 de trigo, en relación al número de cultivos post-pastura, en cultivos sin agregado de N. Red experimental de manejo de N en trigo, año 2011.

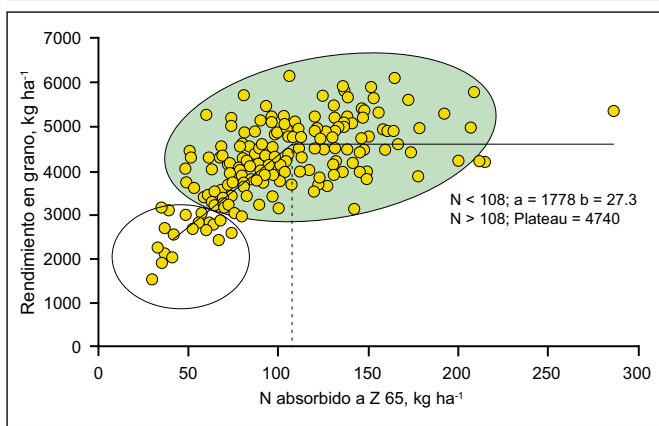


Figura 2. Variación del rendimiento en grano de trigo, en función de la cantidad de N absorbido a Z 65 a nivel de producción (Región litoral centro, año 2011), sin N (área vacía) y con N (área llena). Red experimental de manejo de N en trigo, año 2011.

y coherente información generada recientemente a nivel local, que evidencian las elevadas necesidades de agregado de N en los cereales de invierno y la importante pérdida de rendimiento registrada cuando estas necesidades no son cubiertas (Hoffman y Perdomo, 2011; Perdomo y Hoffman, 2011; Centurión y Chinazo, 2012; Ernst y Siri, 2011; Hoffman et al., 2013; Ernst, 2014; Hoffman et al., 2014; Mazzilli, 2014).

El N aportado por los suelos (**Figura 1**), podría cubrir tan solo un 30% en promedio, y hasta casi el 80% de las cantidades de N absorbidas hasta el estadio Z 65 en trigo a partir del cual ya no hay incrementos de rendimiento en grano, dependiendo del tiempo transcurrido desde la última pastura (**Figura 2**). Esto indica la reducida cobertura de las necesidades de N por parte del suelo evidenciada en los bajos valores de $N\text{-NO}_3$ en suelo y N en planta registrados a nivel de producción (Hoffman et al., 2013; Hoffman et al., 2014).

Haciendo foco en la eficiencia de uso del nitrógeno

Aunque se incremente la respuesta absoluta en rendimiento en grano, la tendencia, cuando aumenta la

dosis de N, es la reducción de la EUN (MacDonald, 1992; Timsina et al., 2001; Dobermann, 2007; Salvagiotti et al., 2009; Fontanetto et al., 2010; Hoffman y Perdomo, 2011). Esta tendencia existe, aunque se logre una elevada respuesta en rendimiento en grano, aun respetando los cuatro requisitos (4R) para la nutrición de plantas (Bruulsema et al., 2013). Los dos componentes principales que definen la EUN son: la eficiencia de absorción o recuperación del N derivado del fertilizante (ERNf o RAN, según como sea estimada) y la eficiencia fisiológica del N recuperado (EFNr) (Moll et al., 1982; Huggins y Pan, 1993; Dobermann, 2007).

Trabajos recientes en la región (Salvagiotti y Miralles, 2008; Salvagiotti et al., 2009), evidencian que el principal sub-componente asociado con la variación de la EUN, es la RAN, y que la EFNr tiende a variar poco (Salvagiotti et al., 2009), o sensiblemente menos que la RAN (Rouanet, 1994). En cereales de invierno, la EFNr oscila entre 65 y 25 kg de grano kg N^{-1} recuperado, en función del potencial del cultivo, las condiciones ambientales, la dosis de N y el material genético (Huggins y Pan, 1993; Rouanet, 1994; Salvagiotti et al., 2009), pero su relación con la variación de la EUN, es media a baja y errática (Rouanet, 1994; Salvagiotti et al., 2009). Sin embargo, como la EFNr tiene fuerte control genético (Rouanet et al., 2001), las tendencias actuales en cuanto a los componentes asociados a las ganancias genéticas de potencial de los cereales de invierno (Berger et al., 2014b; Hoffman et al., 2015) podrían cambiar esta situación.

En la red de ensayos realizada en Uruguay por la Facultad de Agronomía – UdelaR, en los departamentos de Paysandú y Río Negro en los años 2011 y 2012, se estudió la respuesta al agregado de N a Z 30 en trigo en situaciones con diferente capacidad de aporte de N del suelo. Los resultados muestran que para un rango de agregado de N recomendado a Z 30 en base al modelo de Baethgen (1992), desde los 25 a 157 kg ha^{-1} , la EFNr varió entre los 20 y 50 kg de grano por kg N^{-1} recuperado aparente, con un promedio de 27 kg de grano. kg N^{-1} recuperado aparente, pero con baja relación con la dosis de N ($R^2 = 0.24$). A diferencia de lo mencionado previamente, la relación entre la EUN y la EFNr varió con el potencial de rendimiento en grano. Dicha relación fue baja en general, aunque mayor cuando el potencial de rendimiento fue alto (como en el año 2011) ($R^2 = 0.35$) y muy baja cuando el potencial de rendimiento fue bajo (como en el 2012) ($R^2 = 0.18$). El potencial de rendimiento en grano (Rendimiento promedio) en 2011 fue 4298 kg ha^{-1} , con un rendimiento máximo de 5210 kg ha^{-1} , mientras que el rendimiento promedio en 2012 fue 2814 kg ha^{-1} , con un rendimiento máximo de 3522 kg ha^{-1} (datos no mostrados).

Bajo estas condiciones, la RAN varió dentro de los rangos esperados según la información disponible (Moll et al., 1982; Huggins y Pan, 1993; Rouanet, 1994; Rouanet et al., 2001; Dobermann, 2007; Salvagiotti et al., 2009) (**Figura 3**).

La RAN cambió con la dosis recomendada a Z 30, y si bien se incremento con las necesidades de N, la proporción aparente del N recuperado se ubica en promedio por debajo del 50%. Resultados de baja recuperación del N derivado de fertilizante han sido ampliamente indicados en los últimos 30 años (Daniel et al., 1986; Dobermann, 2007). Estos bajos valores de RAN pueden inclusive estar sobreestimados (Daniel et al., 1986; Rouanet et al., 2001; Dobermann, 2007), en la medida que, como consecuencia del agregado de N, el suelo puede incrementar su aporte

(Yoshida et al., 1977; Rao et al., 1992), los cultivos incrementar su capacidad de extracción (Katterer et al., 1993; Mandal et al., 2003) y absorción (Giller et al., 2004) del N aportado por el suelo.

Esta situación de un nivel de recuperación del N aparente por debajo del 50%, aun con dosis de N surgidas del modelo de ajuste que ha mostrado ser muy sólido en Uruguay (Hoffman et al., 2010, Hoffman et al., 2011), representa un incremento del riesgo potencial de contaminación (definido como la diferencia entre en el N agregado y el N recuperado) en la medida que las cantidades de N necesarias actuales se incrementan.

El rol del S en la recuperación de una mayor proporción del N que se agrega vía fertilizante

Existe abundante evidencia del impacto que la interacción N x S tiene sobre la EUN en distintos cultivos (Salvagiotti y Miralles, 2008; Fontanetto et al., 2010; García, 2013; Hoffman et al., 2013). El agregado de S, en particular en suelos de texturas francas y bajo contenido de materia orgánica y con una larga historia agrícola de elevados niveles de extracción de nutrientes, mejora sensiblemente la producción de biomasa, rendimiento en grano, e índice de cosecha en distintos cultivos, particularmente a dosis elevadas de N (Reneau Jr et al., 1986; Salvagiotti y Miralles, 2008; García y Salvagiotti et al., 2009; Salvagiotti et al., 2009; Fontanetto et al., 2010; Mazzilli y Hoffman, 2010; Hoffman et al., 2013).

Los trabajos que descomponen la EUN en sus dos sub-componentes, muestran el impacto significativo del S cuando se incrementa la dosis de N, mejorando fundamentalmente la RAN (Salvagiotti et al., 2009). Resultados en este mismo sentido se obtuvieron en el proyecto de la red experimental de manejo de N en trigo en Uruguay, con el agregado de N a Z 30 en trigo (Figura 4). La aplicación de S incrementó la RAN en todo el rango de N agregado, manteniendo, con las situaciones sin S, una diferencia casi constante.

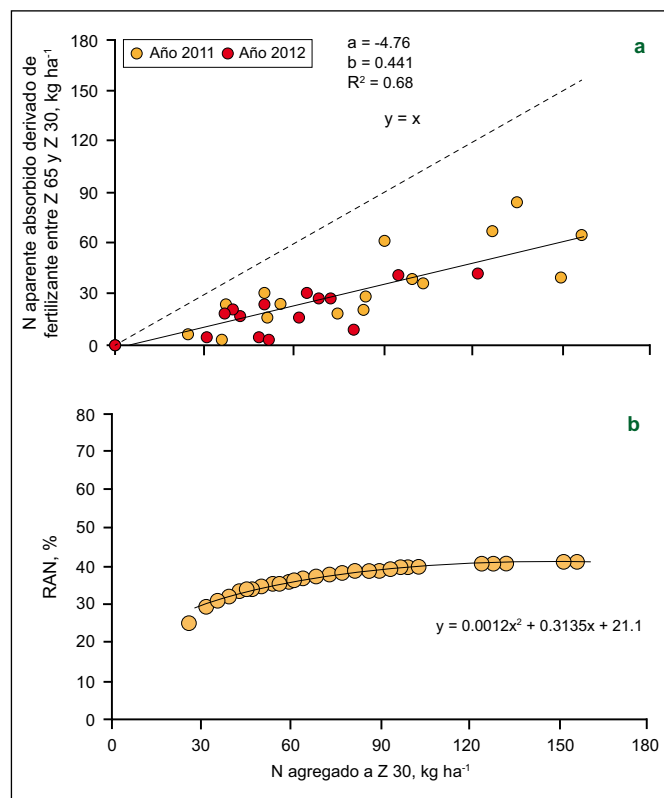


Figura 3. Cantidad de N aparente recuperado derivado del fertilizante (a) y valores pronosticados para la evolución de la RAN (b), en función de la dosis de N recomendada y agregada, en base al modelo de Baethgen (1992). Red experimental de manejo de N en trigo 2011 y 2012.

Tabla 1. Nitrógeno promedio absorbido a Z 30 y Z 65, incremento del N absorbido entre ambos estadios (Δ N ABS) y recuperación del N aparente derivado del fertilizante (RAN), y N aplicado a Z 30, según la recomendación del modelo de Baethgen (1992) (NR) y 50% adicional al recomendado en el mismo estadio, con y sin S. Red experimental de manejo de N en trigo.

	Testigo	----- N Recomendado -----		----- N Recomendado + 50% -----	
		Sin S	Con S	Sin S	Con S
N absorbido a Z 30 (kg ha ⁻¹)	63	64	66	65	64
N absorbido a Z 65 (kg ha ⁻¹)	88	102	118	119	131
Δ N ABS Z 65-Z 30 (kg ha ⁻¹)	25	38	52	54	67
N aplicado a Z 30 (kg ha ⁻¹)	0	58	58	88	88
RAN (%)	--	22	47	33	48
RAN promedio (%)		35		41	

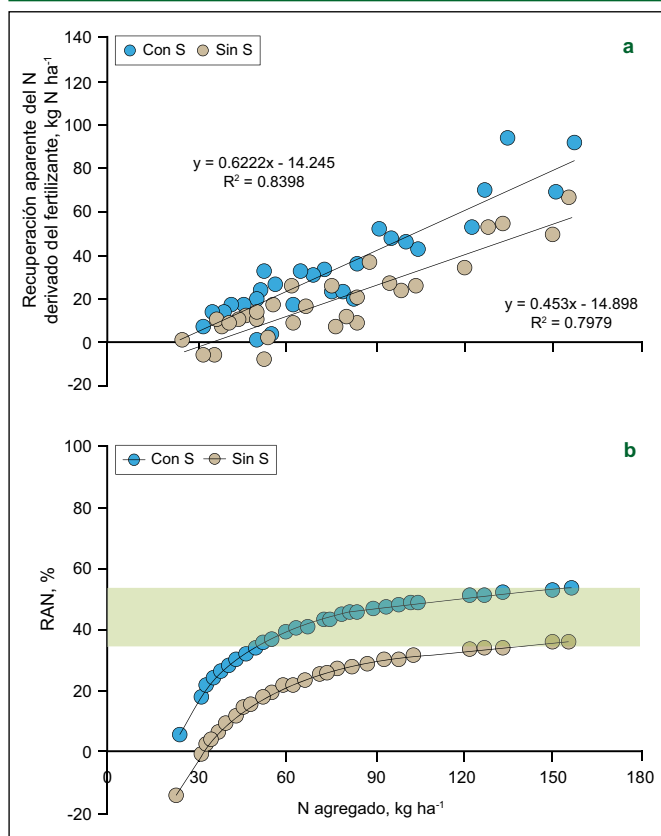


Figura 4. Cantidad de N aparente recuperado derivado del fertilizante (a) y valores pronosticados para la evolución de la RAN (b), en función de la dosis de N aplicada según la recomendación del modelo de Baethgen (1992), con y sin S. Red experimental de manejo de N en trigo.

Se evaluó la respuesta al agregado de N a las dosis recomendadas a Z 30 (NR) y un 50% adicional al N recomendado en el mismo estadio, en base al modelo de Baethgen (1992) (NR + 50%), con y sin S (Tabla 1). Con el agregado de S, en chacras viejas (más de 5 años de agricultura), la RAN alcanzó valores que oscilaron en torno al 50% de las dosis máximas de N, aun cuando estas fueron 50% por encima del N recomendado a Z 30 (Tabla 1).

En base a la cantidad promedio de N absorbida hasta Z 65, en relación al N absorbido hasta Z 30, 25 kg de N ha⁻¹ derivaron del suelo durante este período en los testigos sin agregado de N. El agregado de N a Z 30 a las dosis de NR y NR+50, permitieron incrementar las cantidades absorbidas entre Z 65 y Z 30 en un 54% y 92% (para NR y NR + 50, respectivamente). El agregado de N en presencia de S, incrementó aún más las cantidades absorbidas de N. La RAN, calculada como el N absorbido diferencial de los tratamientos fertilizados en relación al testigo sin fertilizar con N, en relación a las dosis de N agregadas a Z 30, permitió alcanzar proporciones cercanas al 50%, aun cuando las cantidades de N fueron superiores a las que se hubiesen agregado en base al modelo de dosis antes mencionado.

Como se comentó anteriormente, tanto el agregado de N como el de S, pueden estimular la mineralización de la materia orgánica del suelo, la exploración radicular o

la actividad de las enzimas encargadas de la absorción nitrogenada, y sobre-estimar la RAN (Rao et al., 1992; Katterer et al., 1993; Mandal et al., 2003; Giller et al., 2004; Dobermann, 2007). Por lo tanto, se debería, como lo sugiere Salvagiotti et al. (2009), pensar a priori, en términos de recuperación de N del suelo, más allá de donde provenga y que ello pueda ayudar a evitar grandes pérdidas de N, potencialmente contaminantes.

Consideraciones finales

Mantener una elevada EUN es importante, no solo por la productividad parcial de este nutriente o por su impacto en la rentabilidad del sistema agrícola, sino por el control del potencial de contaminación.

En un ambiente que cada vez contribuye menos a cubrir las necesidades de N de los cultivos, las cuales se incrementan a su vez con el aumento de potencial de rendimiento, es necesario conocer la variación de la EFN y la RAN, para encontrar las mejores alternativas de uso y rentabilidad al agregado de este nutriente.

A bajas dosis de N recomendadas, se observaron bajos niveles de recuperación del N derivado de fertilizante. Sin embargo, en la medida que se incrementan las necesidades y dosis de N, se recuperaría una mayor proporción de este nutriente. A pesar de ello, el incremento de las dosis de N en un estadio dado, incrementan las cantidades absolutas de N que no son absorbidas por los cultivos, aumentando el riesgo de contaminación. En este trabajo se muestra que para mejorar la RAN, el principal componente de la EUN, es necesaria una disponibilidad adecuada de S ya que contribuiría a reducir el N potencialmente contaminante.

El trabajo iniciado hace 20 años en Uruguay, enfocado a mejorar el uso del N en los cereales de invierno, tuvo como objetivo la identificación de elementos objetivos de diagnóstico y el desarrollo de propuestas para estimar las cantidades de N necesarias a agregar. Actualmente, desde distintos ángulos, se apuesta a seguir perfeccionando las herramientas disponibles y generar conocimiento que permita mantener la EUN y disminuir eventuales pérdidas de N, aun cuando las dosis de N se incrementen. En el corto plazo, el uso de herramientas de diagnóstico mejoradas, involucrando cada vez más al cultivo como elemento de diagnóstico, permitirían contemplar a campo los diferentes ambientes intrachacra, proponiendo estrategias para el fraccionamiento de altas dosis en estadios posteriores al inicio del encañado, o mejorando el conocimiento acerca de las distintas fuentes de fertilizantes.

Agradecimientos

A Bunge S.A. por el apoyo recibido para la ejecución de investigaciones reportadas en este artículo.

Bibliografía

- Baethgen, W. 1992. Fertilización nitrogenada de cebada cervecera en el litoral oeste del Uruguay. INIA La Estanzuela. Serie Técnica Nº 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. pp. 33.
- Berger, A.G., D. Vázquez, R. Calistro, y M.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.
- Cassman, K.G., A. Dobermann, D.T. Walter, y H. Yang. 2003. Meeting cereal demand while protecting natural resources and improving environmental quality. *Annual Review of Environment and Resources*, 28:315-358.
- 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.
- Ceriani, M., y J.A. Inella. 2012. Efecto de la fertilización nitrogenada tardía (V10-11) sobre el rendimiento de maíz en condiciones de riego y secano. [Tesis para la obtención del título de ingeniero agrónomo]. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. Uruguay. 66 p.
- Daniel, P.E., R. Álvarez, J.H. Lemcoff, y D. Casanova. 1986. Efecto de los procesos de inmovilización y mineralización en el suelo sobre la determinación isotópica, del aprovechamiento del fertilizante nitrogenado en maíz. *Ciencias del suelo*, 4(1):85-89.
- Dobermann, A. 2007. Nutrient use efficiency – measurement and management. Fertilizer best management practices general principles, strategy for their adoption and voluntary initiatives vs regulations. IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices 7-9 March 2007, Brussels, Belgium. 28 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., 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.149-163.
- Fontanetto H, Keller O, Belotti L, Negro C, Giailevra D. 2010. Efecto de diferentes combinaciones de nitrógeno y azufre sobre el cultivo de sorgo granífero (campaña 2008/09). *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, 46:21-23.
- 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. 2013. La Agricultura en el Cono Sur ¿qué sabemos, qué debemos conocer? 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. 3-17.
- García, F.O. 2009. Introducción: Marco de referencia del Simposio. En: Hoffman E, Ribeiro A, Ernst O, García FO [Org]. Primer Simposio Nacional de Agricultura de secano. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 3-5.
- García, F.O., y F. Salvagiotti. 2009 Nutrient use efficiency of cropping systems in the Southern Cone of Latin America Symposium "Nutrient Use Efficiency" presented by the International Plant Nutrition Institute (IPNI) at the XVIII Latin American Congress of Soil Science. San José de Costa Rica. pp. 35-46.
- 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>
- Giller, K.E., P. Chalk, A. Dobermann, L. Hammond, P. Heffer, J.K. Ladha, P. Nyamudeza, L. Maene, H. Salí, y J. Freney. 2004. Emerging Technologies to increase the efficiency of use of fertilizer nitrogen. In: Mosier AR, Syers KJ, Freney JR, (Eds), *Agriculture and the nitrogen cycle*. Island Press Washington, USA, pp. 35-51.
- 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. 45-60.
- Hoffman, E.M., A. Locatelli, C.N. Fassana, L. Viega, y A.J. Castro. 2015. 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., 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. M., C.N. Fassana, y 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. 51-62.
- Hoffman, E. M., 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. IPNI-Instituto Internacional de Nutrición de Planta- ISSN 1666-7115- RPI. 782346. Nro 46. Junio del 2010. Argentina. 13-18 p.
- Hoffman, E. M., 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.
- Huggins, D.R., y W. Pan. 1993. Nitrogen efficiency component analysis: an evaluation of cropping system differences in productivity. *Agronomy Journal*, 85:898-905.
- Katterer, T., A.C. Hansson, y O. Andrin. 1993. Wheat root biomass and nitrogen dynamics: effects of daily irrigation and fertilization. *Plant and Soil*, 151:21-30.
- MacDonald, G.K. 1992. Effects of nitrogenous fertilizer on the growth, grain yield and grain protein concentration of wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*, 43:949-967.
- Mandal, U.K., G. Singh, U.S. Victor, y K.L. Sharma. 2003. Green manuring: its effect on soil properties and crop growth under rice-wheat cropping system. *European Journal of Agronomy*, 19:225-237.
- 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. y E.M. Hoffman. 2010. Respuesta a la fertilización con azufre en el cultivo de colza-canola en suelos del litoral norte del Uruguay. En: Informaciones Agronómicas del Cono Sur. IPNI-Instituto Internacional de Nutrición de Planta. Junio 2010. Argentina. pp.18 -21.
- 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.
- Moll, R.H., E.J. Kamprath, y J.A. Jackson. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agronomy Journal*, 74:562-564.
- Perdomo, C.H., y E.M. Hoffman. 2011. Manejo de nitrógeno en maíz; actualidad y perspectivas. 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. 61-75.
- Perdomo, C., E.M. 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.
- Pierce, F.J., y C.W. Rice. 1988. Crop rotations and its impact on efficiency of water and nitrogen use. En: Hargrove WL [Ed.] Cropping strategies for efficient use of water and nitrogen. ASA Spec. Publ. 51. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, Wisconsin, USA. 21-42.
- Rao, A.C.S., J.J. Smith, J.F. Parr, y R.I. Papendick. 1992. Considerations in estimating nitrogen recovery efficiency by the difference and isotopic dilution methods. *Fertilizer Research*, 33:209-217.
- Reneau Jr., R.B., D.E. Bran, y S.J. Donohue. 1986. Effect of sulphur on winter wheat grown in the Coastal Plain of Virginia. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 17:149-158.
- Rouanet, J.L. 1994. Eficiencia fisiológica de uso de nitrógeno por cultivos anuales en futura agricultura sustentable. *Agricultura Técnica (Chile)*, 54:169-179.
- Rouanet, J.L., I. Pino, A.M. Parada, y A. Nario. 2001. Effect of three soil systems on physiological nitrogen use efficiency in wheat crop. *Agricultura Técnica (Chile)*, 61(4):459-469.
- Salvagiotti, F., y D.J. Miralles. 2008. Radiation interception, biomass production and grain yield as affected by the interaction of nitrogen and sulfur fertilization in wheat. *European Journal of Agronomy*, 28(3):282-290.
- Salvagiotti, 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 FO [Org]. Primer Simposio Nacional de Agricultura de Secano. Universidad de la República. Facultad de Agronomía, 111-123.
- Timsina, J., U. Singh, M. Badaruddin, C. Meisner, y M.R. Amin. 2001. Cultivar nitrogen and water effects on productivity and nitrogen-use efficiency and balance for rice-wheat sequences of Bangladesh. *Field Crop Research*, 72:143-161.
- Yoshida, T., y B.C. Padre. 1977. Transformation of soil and fertilizer nitrogen in paddy soil their availability to rice plants. *Plant and Soil*, 47:113-123.*