

Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica



IAH 27 - Septiembre 2017

En este número

- Realidades y mitos en el manejo de N en Uruguay
- Tolerancia de especies invernales a la fertilización en línea de siembra
- Fertilización de banano (*Musa paradisiaca* L.) en Formosa
- Integrando estrategias de manejo de cultivo y fertilización en soja
- Indicadores de sustentabilidad del suelo

IAH 27 - Septiembre 2017

Autores:

Dr. Fernando García
Dr. Raúl Jaramillo
Dr. Armando Tasistro

International Plant Nutrition Institute

Oficina para el Cono Sur de Latinoamérica
Av. Santa Fe 910 (B1641ABO) Acassuso
Buenos Aires - Argentina
Telf/Fax.: 54 11 4798 9939
Correo electrónico: Lpisauri@ipni.net
<http://Lacs.ipni.net>

Oficina para el Norte de Latinoamérica
Casilla Postal 17 17 980
Quito - Ecuador
Telf.: 593 2 2463 175 • Fax: 593 2 2464 104
Correo electrónico: aormaza@ipni.net
<http://nla.ipni.net>

Oficina para México y Centroamérica
3500 Parkway Lane, Suite 550
Peachtree Corners, Georgia 30092-2844 - EE.UU
Telf.: 1 770 825 8079 • Fax: 1 770 448 0439
Correo electrónico: atasistro@ipni.net
<http://mca.ipni.net>

Contenido

Realidades y mitos en el manejo del nitrógeno en cereales de invierno en Uruguay	3
E. Hoffman, C. Perdomo, N. Fassana, O. Ernst, y A. Berger	
Tolerancia de diferentes especies invernales a la aplicación de fertilizantes en línea de siembra	9
Gustavo N. Ferraris y José Salvatori	
Fertilización de banano (<i>Musa paradisiaca</i> L.) en Formosa, Argentina: Rendimientos y resultados económicos	13
Esteban Baridón, Ricardo Vailatti, Alicia Rachoski, José Villarreal	
Integrando estrategias de manejo de cultivo y fertilización para reducir las brechas de rendimiento en soja en región pampeana	19
Juan Martin Enrico, Fernando García, Mike Stewart, Guillermo Balboa, Ignacio Ciampitti y Fernando Salvagiotti	
Indicadores de sustentabilidad del suelo en diferentes áreas del centro-sur de la provincia de Córdoba	27
Hugo Marelli, Juan Arce, Patricio Marelli y Belén Conde	
Cursos y Simposios	30
Publicaciones Disponibles	31

Se permite copiar, citar o reimprimir los artículos de este boletín siempre y cuando no se altere el contenido y se citen la fuente y el autor.

Misión del IPNI

La misión del IPNI es desarrollar y promover información científica sobre el manejo responsable de la nutrición de las plantas para el beneficio de la humanidad.

IPNI es una organización global con iniciativas enfocadas en la creciente necesidad mundial de alimentos, forrajes, combustibles, y fibras. Los programas de investigación y educación del IPNI desarrollan y promueven el Manejo Responsable de los Nutrientes a través de los 4 Requisitos (4R): aplicar la fuente y la dosis correcta en el momento y la forma correctos.



<http://www.ipni.net>

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

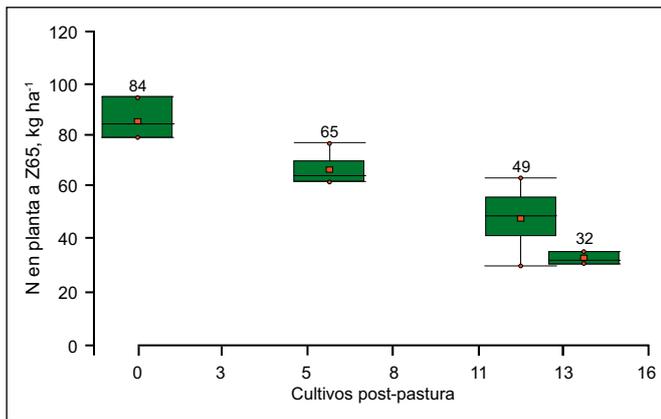


Figura 1. Variación en la cantidad de N absorbido en trigo a Z65 (antes) (Zadoks et al., 1974) en cultivos sin agregado de N en relación al número de cultivos post-pasturas. Red experimental de manejo de N en trigo. Año 2011 (Hoffman et al., 2015).

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".

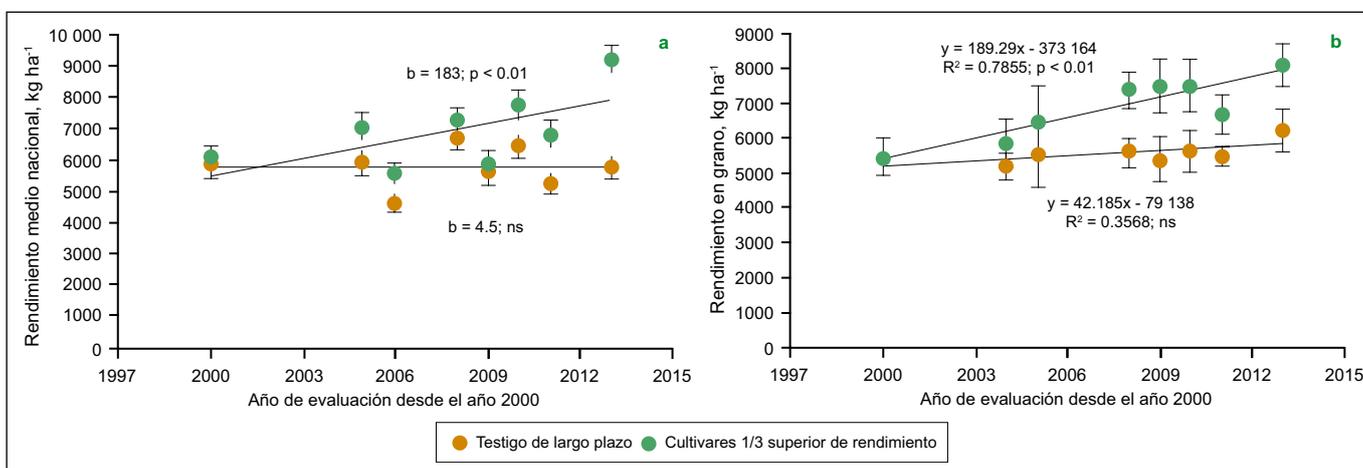


Figura 2. Ganancia genética de cereales de invierno en Uruguay. Evolución del rendimiento en grano de los cultivares de élite en relación a los testigos genéticos, durante el siglo XXI (a - cebada) (b - trigo, Hoffman et al., 2014).

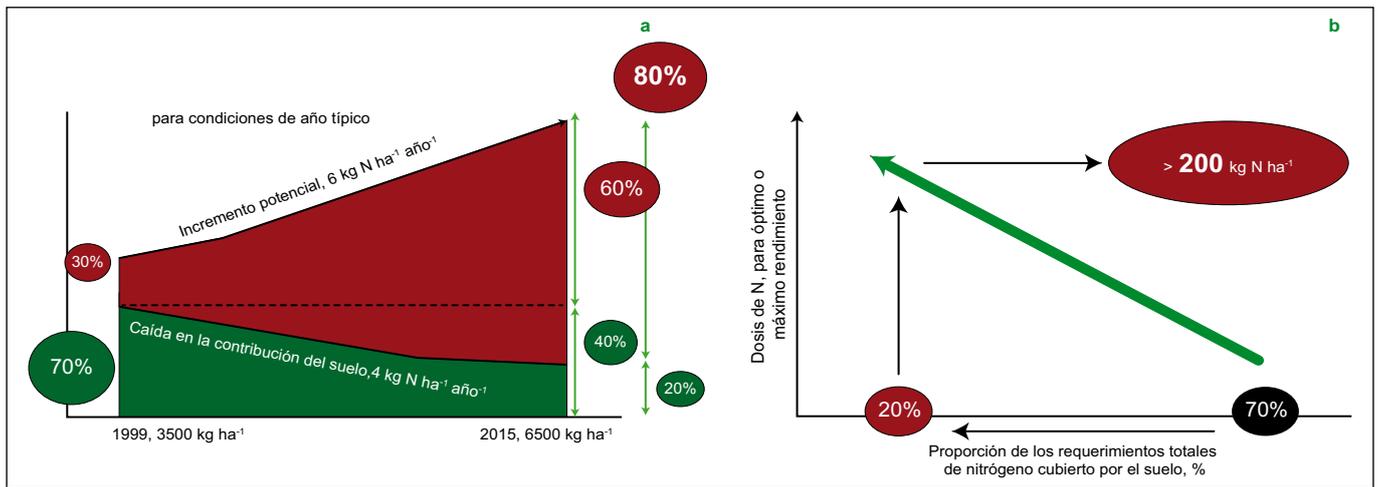


Figura 3. Diagramas de la evolución de (a) la demanda de N en cereales de invierno y aportes relativos de N por parte del suelo, y necesidad relativa de N del fertilizante desde el fin del siglo XX a la fecha, en Uruguay, y (b) cambio en las dosis totales de N en función de la evolución de las necesidades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

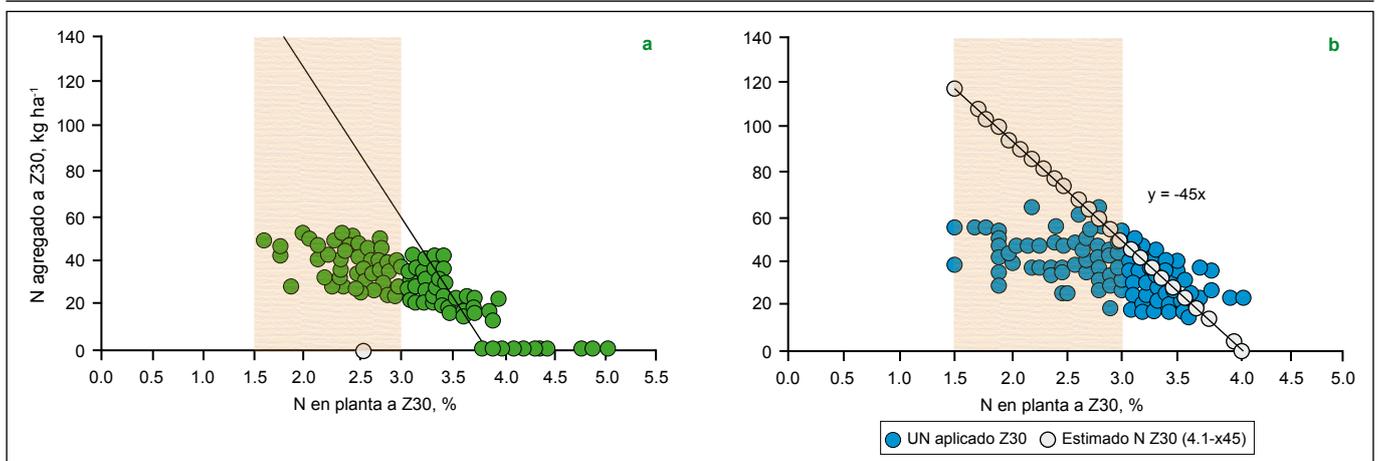


Figura 4. Nitrógeno agregado en cebada (a) y trigo a Z30 (b) a nivel de producción, en función del nivel de N en planta a Z30. (a) - Relevamiento nacional de cebada -MNECC (Hoffman et al., 2014); (b) - Proyecto N trigo 2013 - FAGRO (Hoffman, Fassana y Perdomo; inédito).

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.

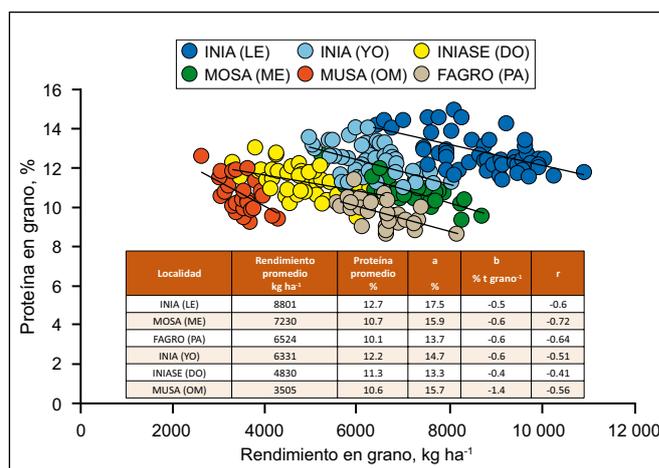


Figura 5. Cambios en la concentración de Proteína cruda (PC) en grano de cebada cervecera en función de la variación del rendimiento en grano de distintos cultivares y los parámetros a y b de la ecuación de regresión entre la PC y el rendimiento en grano, para seis localidades. Elaborado en base a la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

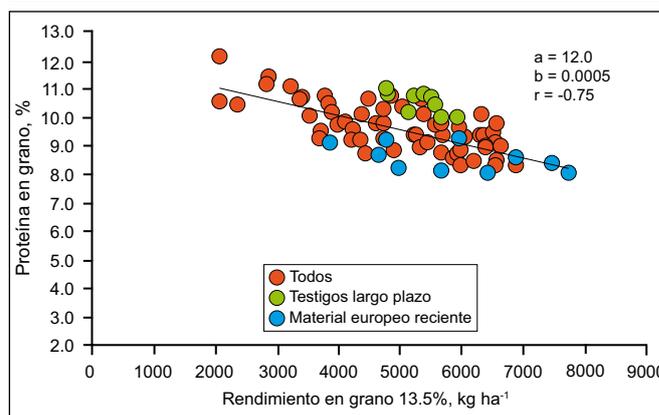


Figura 6. Cambios en la concentración de Proteína cruda (PC) en grano de cebada cervecera en función de la variación del rendimiento en grano de distintos cultivares evaluados en el año 2015 en Paysandú, dentro del programa de caracterización de cultivares de cebada de la EEMAC-FAGRO-Udelar (tomado de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

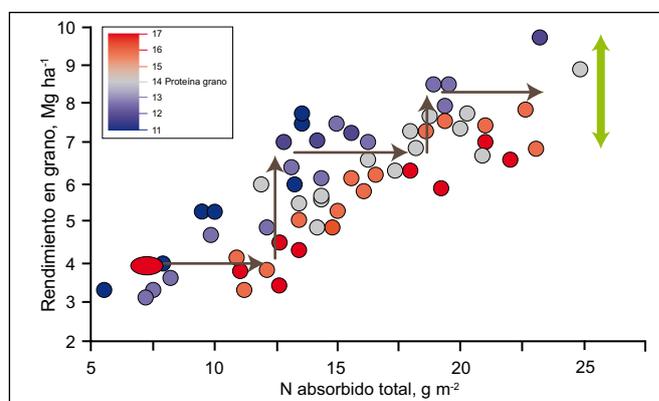


Figura 7. Variación del rendimiento y proteína en grano de trigo, en función del incremento en la cantidad total de N absorbido a cosecha (Berger et al., 2014b).

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.



Tolerancia de diferentes especies invernales a la aplicación de fertilizantes en línea de siembra

Gustavo N. Ferraris^{1,*}, y José Salvatori²

- Una de las preguntas más frecuentes en nutrición de cultivos es: ¿Que dosis de fertilizante se puede aplicar en la línea de siembra sin afectar la implantación del cultivo?
- En este trabajo se compara la tolerancia de diferentes especies invernales a una de las fuentes fosforadas más comunes, el fosfato monoamónico.
- En orden de sensibilidad, la emergencia en las legumbres (arveja y lenteja) resultó más afectada en comparación con cebada (sensibilidad intermedia) y trigo, que fue el cultivo menos afectado por la práctica.

Introducción

Uno de los aspectos más controversiales sobre el uso de fertilizantes es la tolerancia de diferentes especies de cultivos a su aplicación en la línea de siembra, siendo así que una de las preguntas más frecuentes en nutrición de cultivos es: ¿Qué dosis de fertilizante se puede aplicar en la línea de siembra sin afectar la implantación del cultivo? Los fertilizantes de mejor relación costo:beneficio suelen ser potencialmente altamente agresivos por su alta concentración de nutrientes. Por otro lado, la dificultad para realizar ensayos con la precisión requerida, y la variedad de fuentes, mezclas de fertilizantes, y condiciones ambientales que modifican el comportamiento a campo complica la posibilidad de contar con información precisa acerca de los posibles efectos fitotóxicos. La alternativa de aplicar los fertilizantes en cobertura total ha demostrado alta eficiencia agronómica, pero a nivel productivo muestra una adopción limitada, y hay restricciones en suelos con pendiente a causa de los riesgos de pérdidas por escorrentía.

Entre los aspectos que amortiguan los daños eventuales sobre las semillas se cuentan un adecuado contenido de humedad en los suelos, temperaturas favorables a la germinación, y semillas de buena calidad. Por el contrario, resultan potencialmente desfavorables los fertilizantes con alto grado de nitrógeno (N) en su composición o con un alto índice salino, suelos con pH alto, y un posicionamiento en íntimo contacto con las semillas o directamente por debajo de las mismas, puesto que la radícula es más sensible a los fertilizantes que el hipocótilo o los cotiledones.

El objetivo de esta experiencia es comparar la tolerancia de diferentes especies invernales a la aplicación de fertilizantes en la línea de siembra, y evaluar la respuesta compensatoria en rendimiento.

Materiales y métodos

Durante los años 2015 y 2016, se realizaron experimentos en los cuales se cuantificó la tolerancia a la aplicación de

dosis crecientes de fosfato monoamónico [FMA, 12-23 (52 P₂O₅)-0] en la línea de siembra. Los experimentos se realizaron en trigo (*Triticum aestivum* L.), cebada cervecera (*Hordeum vulgare* L.), arveja (*Pisum sativum* L.), y lenteja (*Lens culinaris* Medik) en 2015. En trigo, el ensayo se replicó aplicando los mismos tratamientos en cobertura total (**Tabla 1**). La experiencia se repitió en 2016, a excepción del cultivo de lenteja. Los experimentos fueron conducidos en la EEA INTA Pergamino (Pergamino, Buenos Aires, Argentina), sobre un suelo serie Pergamino, Argiudol típico, familia fina, illítica, térmica (USDA- Soil Taxonomy V. 2006). El diseño de los ensayos fue en bloques completos al azar con tres (legumbres) o cuatro (trigo y cebada) repeticiones. Las dosis de fertilizante aplicado se describen en la **Tabla 2**. Siembra y fertilización se realizaron con una sembradora experimental de cono, utilizando el mismo fertilizante y regulación en todos los cultivos. Fertilizante y semilla se condujeron por bajadas independientes, pero se localizaron en el mismo doble disco plantador. La sembradora realiza una mínima remoción, por lo que fertilizante y semilla se ubicaron en íntimo contacto. Los experimentos se realizaron en suelos de baja fertilidad, con una concentración de P Bray < 10 mg kg⁻¹ (0-20 cm). El contenido de humedad en los primeros 20 cm fue de 70 a 90% de la capacidad de campo, siendo menor en 2015 respecto de 2016. Este factor es sumamente relevante puesto que el efecto osmótico disminuye y el pasaje a N-nitratos aumenta bajo condiciones de alta humedad edáfica. Malezas, plagas y enfermedades fueron controladas en todos los cultivos. En el caso de trigo y cebada, la dosis de N fue ajustada diferencialmente por tratamiento, para equiparar el N aportado por FMA (**Tabla 2**).

La población inicial se evaluó recontando las plántulas en 12 m lineales de surco x parcela, 15 días después de su emergencia (dde). El rendimiento se determinó mediante cosecha mecánica –trigo y cebada cervecera– o manual con trilla estacionaria –arveja y lenteja–. Con los datos de emergencia y rendimiento se ajustaron funciones lineales y cuadráticas, evaluando la significancia del modelo y su grado de ajuste (R²).

¹ Manejo de Cultivos INTA EEA Pergamino

² Cooperativa Agrícola Ganadera de Peyrano Ltda. Av. Frondizi km 4.5 (B2700WAA)

* Autor de contacto. Correo electrónico: ferraris.gustavo@inta.gob.ar

Tabla 1. Especies y cultivares evaluados, año y forma de aplicación.

Especie	Año	Forma de aplicación	Cultivar
Trigo	2015 y 2016	línea	'SY 200' y 'DM Algarrobo'
Trigo voleo	2015 y 2016	voleo	'SY 200' y 'DM Algarrobo'
Cebada cervecera	2015 y 2016	línea	'Scrabble' y 'Andreia'
Arveja	2015 y 2016	línea	'Víper' y 'Reusitte'
Lenteja	2015	línea	'Sargento Cabral'

Tabla 2. Dosis de fertilizante (FMA , 12-23-0) evaluadas en los experimentos.

Tratamiento	Fertilizante	Dosis P	Dosis N
T1	Control		
T2	FMA 100 kg ha ⁻¹	23 kg ha ⁻¹	Ajustado a 180 kg N ha ⁻¹ (suelo + fertilizante)
T3	FMA 200 kg ha ⁻¹	46 kg ha ⁻¹	
T4	FMA 300 kg ha ⁻¹	69 kg ha ⁻¹	

Tabla 3. Funciones que relacionan plantas emergidas (numero m⁻²) con dosis de FMA en línea de siembra (kg ha⁻¹).

Especie	Función	Grado ajuste, R ²	Significancia modelo, P=	Coefficientes
Arveja	lineal	0.22	0.006	-0.09x
	cuadrática	0.22	0.02	0.01x ² -2.31x
Trigo voleo	lineal	0.01	0.57	0.028x
	cuadrática	0.01	0.85	-0.06x ² +0.45x
Trigo	lineal	0.00	0.94	-0.003x
	cuadrática	0.08	0.28	-0.028x ² -0.19x
Cebada cervecera	lineal	0.29	0.001	-0.16x
	cuadrática	0.30	0.005	0.005x ² -1.94x
Lenteja	lineal	0.85	0.00	-0.12x
	cuadrática	0.85	0.00	0.85x ² -7.02x

Resultados y discusión

En la **Tabla 3** se muestra el ajuste, significancia y valor de la pendiente de caída de plantas emergidas para una función lineal, así como el ajuste y el valor de los coeficientes para la función cuadrática. La reducción en el stand de plantas fue significativa para cebada cervecera, arveja y lenteja, pero no para trigo con ambos métodos de aplicación del fertilizante. Las funciones lineal y cuadrática presentaron un ajuste similar (**Tabla 3**). Cuando la función cuadrática fue significativa, también lo fue la ecuación lineal, y por simplicidad podría utilizarse esta última. De acuerdo a la función ajustada, la reducción en la emergencia alcanzó a 9, 16 y 12 pl m⁻² por cada 100 kg ha⁻¹ de fertilizante aplicado para arveja, cebada y lenteja, respectivamente.

En la **Figura 1** se compara, en forma relativa, la tolerancia de las diferentes especies, expresada como porcentaje de plantas emergidas respecto del control no fertilizado. Se

destaca el trigo como la especie menos sensible al efecto fitotóxico de los fertilizantes, mientras que las legumbres resultan las más afectadas, resintiendo su establecimiento a partir de la dosis de 100 kg FMA ha⁻¹ (**Figura 1**). Entre ellas, la lenteja expresa una caída mayor de emergencia respecto de arveja a la dosis mínima evaluada de FMA (100 kg ha⁻¹), equiparando el comportamiento a dosis superiores. La cebada cervecera mostró un resultado intermedio. En esta especie, la dosis de 100 kg FMA ha⁻¹, utilizada habitualmente a nivel de campo, produjo una caída en el stand de plantas de un 7%.

La sensibilidad diferencial entre especies fue reportada también por Ciampitti et al. (2006). La mayor sensibilidad a la presencia de fertilizantes en la línea de siembra de la cebada respecto de trigo fue documentada en un experimento anterior (Ferraris et al., 2013). Watson y Comstock (2016) señalan al trigo como una especie sensible a los fertilizantes, pero en términos comparativos

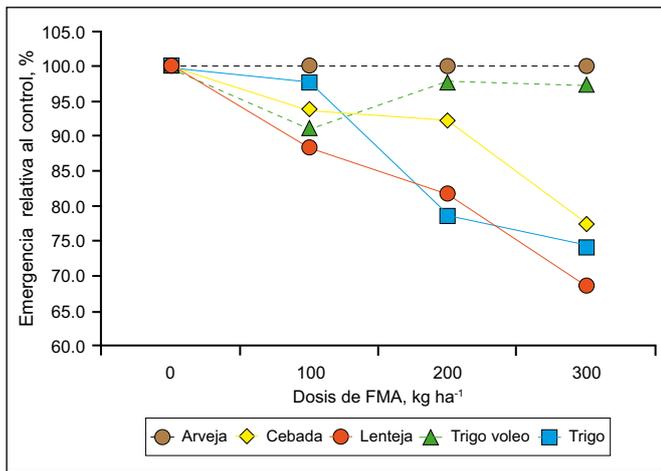


Figura 1. Emergencia relativa al control (Control = 100) de diferentes especies invernales según dosis de fosfato monoamónico (FMA, 11-23-0) aplicada en línea de siembra. EEA INTA Pergamino, Campañas 2015 y 2016.

tolerante a mayores dosis respecto de otros cultivos. La magnitud del efecto fitotóxico observado en estos experimentos es menor respecto de lo documentado con las mismas especies y dosis en experiencias anteriores, lo cual puede ser atribuido al elevado contenido de humedad de los suelos al momento de la siembra de las campañas 2015 y 2016. No obstante, el efecto real sobre el cultivo podría ser superior al reflejado por un mero recuento en el número de plantas, puesto que es común observar daños secundarios como retraso y desuniformidad en la emergencia, plantas débiles, retorcidas, que desde la observación visual se expresan con una singular gravedad. Por su parte, las especies invernales se presentan como más tolerantes que sus pares estivales, soja y maíz (Ferraris, 2013; Ferraris et al., 2014). Esto podría nuevamente ser atribuido a factores ambientales, ya que las altas temperaturas del verano aumentan la tasa de producción de amoníaco desde el fertilizante, y la mayor velocidad de germinación hace

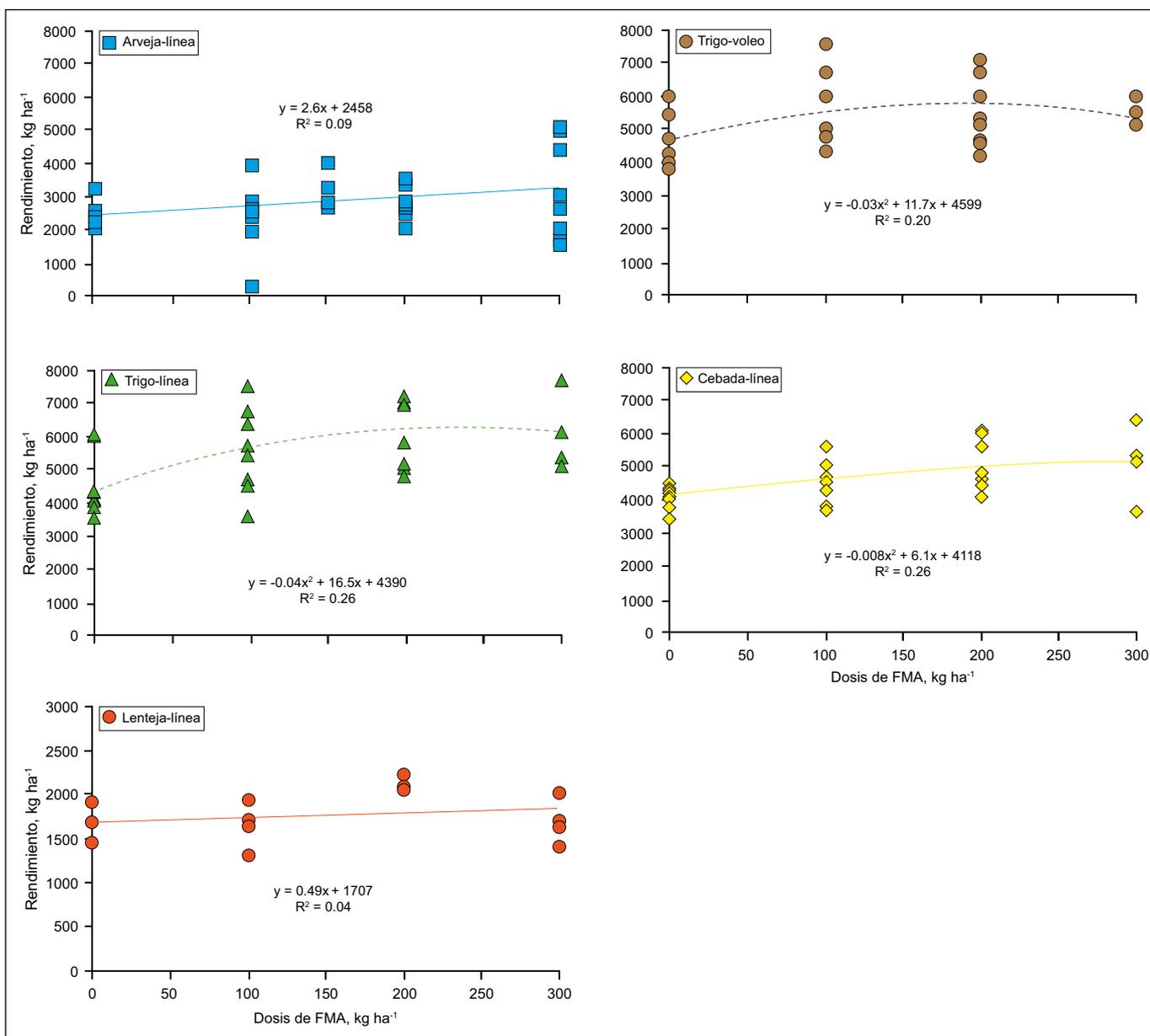


Figura 2. Relación entre rendimiento de grano y dosis de fosfato monoamónico (FMA, 11-23-0) en línea de siembra para diferentes especies invernales: Arveja, trigo, trigo con aplicación de P al voleo, cebada cervecera y lenteja.

Tabla 4. Funciones que relacionan rendimiento con dosis de FMA en línea (kg ha⁻¹).

Especie	Función	Grado ajuste, R ²	Significancia modelo, P=	Pendiente	Ordenada al origen
Arveja	lineal	0.09	0.08	2.25x	2585
	cuadrática	0.09	0.09	0.00048x ² -0.007x	2538
Trigo voleo	lineal	0.10	0.09	3.12x	4862
	cuadrática	0.24	0.03	-0.00035x ² +0.048x	4599
Trigo línea	lineal	0.20	0.01	6.44x	4697
	cuadrática	0.26	0.02	-0.00078x ² +0.042x	4390
Cebada cervecera	lineal	0.25	0.00	3.79x	4188
	cuadrática	0.26	0.02	0.000136x ² +0.06x	4118
Lenteja	lineal	0.04	0.43	0.48x	1707
	cuadrática	0.08	0.58	0.00032x ² +0.09	1610

lo propio con el requerimiento hídrico de la plántula, acentuando la competencia osmótica de los fertilizantes.

En la **Tabla 4** se describen las funciones que relacionan los rendimientos con las dosis de fertilizante. En trigo al voleo la función lineal no fue significativa pero la cuadrática sí. Por otra parte, las ecuaciones no fueron significativas para arveja o lenteja. En el resto de las especies, ambas describieron significativamente ($p < 0.05$) la respuesta a la fertilización. En todas las especies a excepción de lenteja, el ajuste de la ecuación cuadrática fue superior a la lineal (**Tabla 4**).

En la **Figura 2** se presenta la respuesta en rendimiento de cada cultivo a la aplicación de fertilizantes, describiendo la función de mayor ajuste (lineal o cuadrática). Todas las especies lograron compensar la pérdida de plantas a través de un mayor crecimiento. La respuesta máxima se obtuvo en trigo aplicado en línea, y la mínima en lenteja. En trigo, trigo voleo, cebada y arveja, una función cuadrática mejoró el ajuste respecto de la ecuación lineal (**Figura 2**). Si se ajustara una ecuación lineal, la EUF (eficiencia de uso del fertilizante) fue de 2.25; 3.1; 6.4; 3.8 y 0.5 kg grano: kg FMA⁻¹, para arveja, trigo voleo, trigo línea, cebada y lenteja, respectivamente (**Tabla 4**).

Conclusiones

- El FMA, especialmente al aplicarse en dosis alta (superiores a 100 kg ha⁻¹), afectó la germinación de las semillas en grado variable según la especie considerada: Las legumbres se muestran como las más sensibles y el trigo fue el menos afectado, evidenciando la cebada un comportamiento intermedio. Llama la atención la diferencia entre ambas especies de gramíneas, pero hay evidencia previa de este comportamiento.

- Los cultivos lograron compensar la pérdida de plantas sin disminuir su rendimiento, pero no se puede comprobar, mediante el diseño implementado, cuanto es la ganancia de rendimiento dejada de lado con respecto a una aplicación menos agresiva, en bandas al costado o por debajo de las simientes.

Bibliografía

- Ciampitti, I.A., H. Fontanetto, F. Micucci, y F.O. García. 2006. Manejo y ubicación del fertilizante junto a la semilla: Efectos fitotóxicos. *Informaciones Agronómicas* Nº 31, Archivo Agronómico Nº 10. IPNI Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Ferraris, G.N. 2013. Fitotoxicidad y eficiencia de fertilizantes fosforados aplicados en línea de siembra de soja. *Revista Técnica en SD. Soja. Sep. 2012*: p. ISSN 1850-0633. AAPRESID. 6 p.
- Ferraris, G.N., y L.A. Couretot. 2013. Experimentos de nutrición en el cultivo de arveja. *Campaña 2012/13*. AAPRESID. *Revista de Trigo y Cultivos invernales 2013*. 7 p.
- Ferraris, G.N., L.A. Couretot, y G. Magnone. 2014. Fertilizantes en línea de siembra de maíz: Efectos Sobre la Implantación y el Rendimiento. MAIZ HD - X Congreso Nacional de Maíz. Mesa de Fertilidad y Nutrición del cultivo. Rosario, 3 al 5 de septiembre de 2014.
- Watson, S., y D. Comstock. 2016. Starter fertilizers for wheat can pay if used correctly. *K-State Research and Extension News*. September 6, 2016.

Fertilización de banano (*Musa paradisiaca* L.) en Formosa, Argentina: Rendimientos y resultados económicos

Esteban Baridón^{1*}, Ricardo Vailatti², Alicia Rachoski², y José Villarreal²

- En Formosa, Argentina, la producción de banana es de importancia económica y social.
- El uso de fertilizantes es generalmente esporádico y empírico, siendo que la aplicación de dosis ajustadas a las necesidades del cultivo y provisión del suelo permitiría avanzar hacia una producción sustentable.
- El análisis de suelo permite estimar la dosis de fertilización para obtener buenos resultados en cuanto a tamaño de cachos, índice de conversión fruta/cajón y rentabilidad con menor inversión.

Introducción

La producción de banana en el noreste de la provincia de Formosa, Argentina, es de importancia económica y social para la región. Sus características de economía regional y minifundista hacen indispensable optimizar este sistema productivo. El banano (*Musa paradisiaca*) es una especie capaz de adaptarse a distintas condiciones de clima y suelo, sin embargo, ante déficits o desbalances nutricionales se ve afectado su crecimiento, desarrollo y rendimiento, lo que se traduce en una pérdida de calidad comercial de la fruta (Colque et al., 2013). Factores ambientales como temperatura, humedad y fotoperiodo deben estar acompañados por una nutrición balanceada (Colque et al., *op. cit.*), recíprocamente la fertilización debe atender a las condiciones ambientales. Así por ejemplo Orozco Romero y Pérez Zamora (2006) demostraron la correlación existente entre la fertilización nitrogenada, la tensión de humedad del suelo y el rendimiento del cultivo de banana.

La nutrición mineral y fertilización de banano ha sido sujeto de una investigación amplia y efectiva (Espinosa y Mite, 2002). La misma en América Latina se ha centrado principalmente en zonas tropicales de Costa Rica, Ecuador, y Colombia, entre otras; con escasa información de regiones subtropicales como Argentina, Paraguay y Bolivia. En el trópico, desde hace más de 20 años, se han establecido niveles críticos tentativos de nutrientes en tejidos de plantas de banano (Lahav y Turner, 1992) y en suelos (López y Espinosa, 1995). Contrariamente, la mayoría de las fertilizaciones que se realizan en banana en Argentina son empíricas, o extrapolan recomendaciones de fertilización y prácticas de manejo de suelos y climas totalmente diferentes. Espinosa y Mite (*op. cit.*) señalan la necesidad de ajustar los parámetros de fertilización para banana a cada país y región, indicando que en el futuro debería avanzarse hacia el manejo específico por sitio.

Potasio (K), nitrógeno (N) y fósforo (P) son nutrientes esenciales para un cultivo de banano. Osundare et al. (2014) verificaron que aportes equilibrados de estos nutrientes en suelos pobres, se traducen en una rápida producción foliar y plantas vigorosas.

El N es uno de los principales nutrientes en el desarrollo vegetativo en banana (Torres et al., 2014). No obstante, la mayoría de los estudios que evalúan fertilización nitrogenada han obtenido resultados disímiles, debido a la interacción entre suelo, ambiente y variedad cultivada (Robinson y Galán, 2011). Así por ejemplo, trabajando con distintas variedades, suelos y situaciones climáticas López y Espinosa (1995) mencionan, para Costa Rica, dosis de hasta 400 kg ha⁻¹ de N, 580 kg ha⁻¹ de K y 44 kg ha⁻¹ de P. Colque et. al. (2005), en Cochabamba, Bolivia, obtuvieron respuestas favorables con 200 kg ha⁻¹ de N y 332 kg ha⁻¹ de K. En Laguna Nainck, zona subtropical norte de Formosa, Argentina, Scribano (2015) reportó rendimientos de 46 t ha⁻¹ con dosis de 200 kg ha⁻¹ de N y 300 kg ha⁻¹ de K.

En Formosa, la aplicación de fertilizantes resulta esporádica y generalmente empírica. El empleo de fertilizantes y la implementación de un programa de fertilización ajustado se traducirían en incrementos de rendimientos, y mejoras en la calidad comercial de la fruta, contribuyendo a garantizar una producción sustentable a mediano y largo plazo.

Los objetivos de este trabajo fueron:

- i) Determinar rendimientos y resultados económicos ante distintas dosis de fertilización.
- ii) Definir la mejor estrategia de fertilización para la situación del ensayo.
- iii) Aportar información para el ajuste de dosis de fertilización en la producción de banana de áreas subtropicales.

Materiales y métodos

Características del cultivo

Se trabajó sobre una plantación de *Musa spp.*, subgrupo Cavendish, de 5 años, con una densidad de 1850 plantas por hectárea y sistema de riego por goteo complementario. El lote, ubicado a los 24° 59' 02.6"S, 58° 51' 28.4"W,

¹ Centro de Validación de Tecnologías Agropecuarias (CEDEVA) Ibarreta. Laboratorio de Suelos, Aguas y Forrajes. Gobierno de la provincia de Formosa

² CEDEVA Misión Tacaaglé. Gobierno de la provincia de Formosa

* Autor de contacto. Correo electrónico: estebanbaridon@gmail.com

Tabla 1. Tratamientos aplicados en el cultivo de banana. Formosa, Argentina.

	T1 (Testigo)	T2		T3		T4	
	kg ha ⁻¹	g pl ⁻¹	kg ha ⁻¹	g p ⁻¹	kg ha ⁻¹	g pl ⁻¹	kg ha ⁻¹
Urea	0	150 (/3)	277.5	75 (/3)	138.75	170 (/3)	314.5
N	0	-	128	-	64	-	145
Fosfato diamónico	0	100	185	0	0	30	55.5
N	0	-	33	-	0	-	10
P	0	-	37	-	0	-	11.1
KCl	0	250 (/3)	462.5	50	92.5	83 (/3)	153.5
K	0	-	231.2	-	46.2	-	76.7

PDA: fosfato diamónico; (/3): repartido en tres aplicaciones. KCl: cloruro de potasio.

próximo a la localidad de Misión Tacaaglé, Formosa, se encuentra sobre un complejo de suelos integrado por Argiudoles, Udortentes y Natrudalfes, donde el suelo dominante pertenece al gran grupo Argiudol (Lanfranco et al., 2011).

Se analizaron los efectos de cuatro tratamientos: T1, testigo sin fertilización; T2, dosis con elevados aportes de NPK; T3, dosis ajustada en base a análisis de suelos; T4, dosis frecuente utilizada por los productores zonales. El detalle de los tratamientos se resume en la **Tabla 1**.

Cada repetic n comprendió a 20 plantas, ubicadas sobre un doble surco y distribuidas al azar sobre los integrantes del complejo de suelos, en un diseño unifactorial totalmente aleatorizado (DCA). Se realizaron tres repeticiones; 80 plantas por repetic n descontando las borduras y las cabeceras de los surcos. La primera dosis de fertilización se aplicó el 14/09/15, la segunda dosis el 20/10/15 y la tercera el 09/12/15. El fosfato diamónico (PDA) se incorpor  sólo en la primera dosis. La fertilización se realizó en forma manual, mediante pequeñas perforaciones alrededor de cada planta donde se depositó el fertilizante y posteriormente se cubrió con tierra

Ajuste de la dosis de fertilización en base a análisis de suelo (Tratamiento 3)

Cuando no existen resultados experimentales que permiten precisar dosis de fertilizantes, se proponen distintos métodos para estimar las dosis de fertilización, considerando la demanda, el estado nutricional del cultivo y el suministro de nutrientes que corresponde a un suelo en particular (Maldonado et al., 2008). Uno de estos métodos consiste en estimar la dosis de fertilizante en función de la demanda del cultivo, el suministro de nutrientes por parte del suelo y la eficiencia en la absorpci n que har  la planta del nutriente que se agregue (Rodríguez, 1993; Volke Haller et al., 1998; Maldonado et al., 2008). El modelo conceptual seguido para estimar la dosis de fertilización considerando los análisis de suelo se basó en este método y puede simplificarse según la **Ec. 1**:

$$DF = \frac{(DTc - SCs)}{Ef}$$

Ec. 1

donde, DF: "dosis de fertilización" a aplicar; DTc: "demanda teórica del cultivo", calculada a partir de requerimientos del cultivo para un rendimiento presunto; SCs: "suministro calculado del suelo", calculado a partir de análisis de suelos que evalúan formas asimilables del nutriente en cuestión, por ejemplo nitrato y/o formas disponibles a futuro, por ejemplo N total; y Ef: "eficiencia en la absorpci n del nutriente a agregar, por parte de la planta, factor estimado en función del nutriente, forma en que se aplica, situación climática, suelo, forma y desarrollo de las raíces del cultivo, entre otras (Rodríguez, 1993).

Demanda teórica del cultivo (DTc)

El tratamiento se diseño sobre una presunción de un rendimiento de 24 t ha⁻¹. Los requerimientos nutricionales adoptados fueron de 3 kg de N, 0.5 kg de P y 8.3 kg de K por tonelada de fruta producida (Bertsch, 2009). En la **Tabla 2** se presentan los requerimientos nutricionales para el rendimiento especificado.

Tabla 2. Demanda teórica de nutrientes por parte del cultivo de banana (DTc) según rendimiento esperado.

Rendimiento (teórico)	Requerimientos nutricionales, kg ha ⁻¹		
	N	P	K
24 t ha ⁻¹	72	12	199.2

Suministro calculado del suelo (SCs)

Se realizó el análisis de una muestra compuesta de suelo, conformada por 5 submuestras tomadas a 0-20 cm de profundidad. Sus resultados se presentan en la **Tabla 3**.

El suministro calculado del suelo se determinó según los siguientes supuestos:

- N: La totalidad del N-NO₃ se consideró suministro (sin pérdidas de ningún tipo). De la reserva de N,

Tabla 3. Resultados de análisis de suelo en el lote del ensayo (0-20 cm).

pH	CO ----- % -----	Nt	NO ₃ ⁻ ----- ppm -----	P	K intercambiable ----- meq/100 g -----
6.7	2.3	0.22	30	21	0.6

Densidad aparente = 1.2 g cm⁻³

constituida por el nitrógeno total (Nt), se asumió que 1.5% pasaría a N-NO₃.

- P: Se consideró al índice del P extractable, resultante del análisis (método de Olsen), como “disponible” para el cultivo.
- K: Se calculó el contenido en kg ha⁻¹, a partir de los datos del análisis del K intercambiable.

Evaluación del ensayo y tratamiento estadístico

Se analizaron las siguientes variables: número de plantas cosechadas y época de cosecha; peso del racimo (cacho), sin raquis foliar. Se realizó el empaque de la fruta cosechada a fin de determinar el rendimiento y calcular el índice de conversión (cajas obtenidas/racimos procesados). Se calculó el rendimiento por hectárea de cada tratamiento (kg ha⁻¹ y cajones ha⁻¹) y de su rendimiento económico. Este último a través del costo de producción de cada tratamiento y el beneficio neto (Combatt et al., 2004).

Las variables fueron analizadas mediante estadística descriptiva y análisis univariado. Se realizó el análisis de las varianzas (ANOVA) y la comparación de medias según test de Student.

Resultados y discusión

Rendimientos agronómicos

La cosecha se realizó a la madurez fisiológica de los racimos, determinada por el calibre del dedo medio de la última mano de fruta, de manera diferida en dos épocas del año. La primera en verano para T1, T2, T3 y en otoño para T4. La segunda se desarrolló durante el invierno,

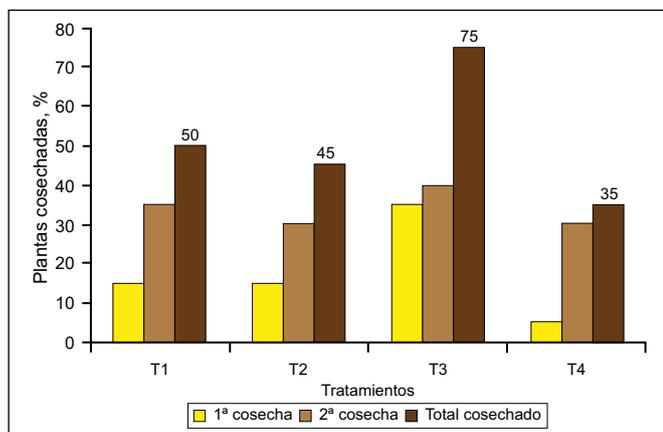


Figura 1. Porcentaje de plantas cosechadas del cultivo de banana bajo diferentes estrategias de fertilización. Formosa, Argentina.

desde Julio (T3) hasta Septiembre (T1 y T4) (Tabla 4). En todos los tratamientos la segunda cosecha (invierno) fue superior, en número de cachos, a la primera (Figura 1). El mayor porcentaje de plantas cosechadas, 75%, se obtuvo en T3 con una dosis de fertilización ajustada en base a análisis de suelos (Tabla 4).

El tiempo transcurrido entre las dos cosechas fue en todos los casos muy elevado, de 5 a 8 meses. La temperatura media en el ciclo y la incidencia de heladas serían los principales responsables de este comportamiento. Esto resulta concordante con lo planteado por Galán Saúco y Robinson (2013) sobre la incidencia de los factores climáticos en el desarrollo de la planta de banana y su correlación con los resultados de los ensayos de fertilización.

En la Figura 2 se presenta la comparación de T3 con el testigo T1. La dosis de fertilización ajustada en base a los análisis de suelos (T3) presentó el mayor peso medio por cacho (sin raquis floral), con un factor de conversión, cajones cacho⁻¹, igual a 1.14. Se observa también que T3 presenta mayores pesos mínimos, mayores pesos máximos y un menor desvío estándar de los valores con respecto a la media.

Las diferencias en los pesos medios de los cachos, entre los distintos tratamientos, resultaron estadísticamente significativas (Tabla 5). Los valores menores, sin diferencias entre ellos, se corresponden a los tratamientos T2 y T4, que representan a la dosis con elevados aportes de NPK y a la dosis que frecuentemente emplean los productores, respectivamente (Foto 1 y 2). El tratamiento testigo produjo cachos de mayor tamaño que los antes mencionados, lo cual podría asociarse a un desbalance nutricional (Foto 3). Espinosa y Mite (2002) señalan la existencia de sinergismos y antagonismos en plantas de banana, indicando a la relación K/Ca/Mg como una de las más estudiadas y sugiriendo su evaluación en análisis foliares. En los suelos Argiudoles de la zona de trabajo, bien provistos de Ca, Mg y K (Lanfranco et al.,

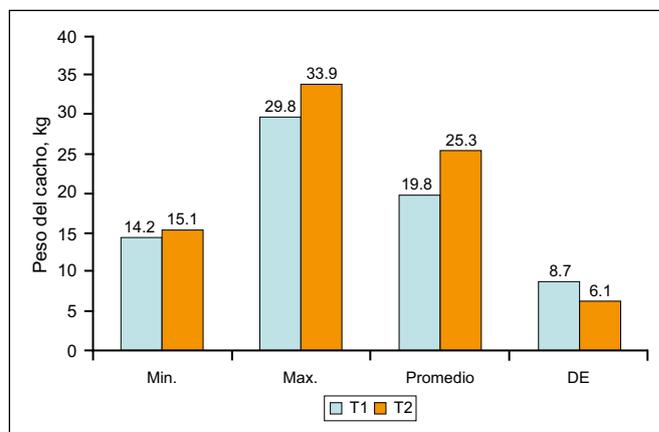


Figura 2. Comparación del tratamiento 3 (dosis de fertilización ajustada por análisis de suelo) y el Testigo sin fertilizar. Variable: peso del cacho sin raquis floral. DE: desvío estándar. Los promedios entre tratamientos difieren significativamente ($p \leq 0.05$), ver Tabla 5.

Tabla 4. Evolución de la cosecha del cultivo de banana bajo diferentes estrategias de fertilización. Formosa, Argentina.

	T1	T2	T3	T4
1ª cosecha	Enero-2016	Enero-2016	Enero-2016	Mayo-2016
Nº cachos	3	3	7	1
% de 1ª cosecha	15	15	35	5
2ª cosecha	Sep-2016	Ago-2016	Julio-2016	Sep-2016
Nº cachos	7	6	8	6
% de 2ª cosecha	35	30	40	30
Total cosecha	10	9	15	7
Plantas totales	20	20	20	20
% total de cosecha	50	45	75	35

Tabla 5. Resumen de rendimientos del cultivo de banana bajo diferentes estrategias de fertilización en Formosa, Argentina.

Parámetro	----- Tratamiento -----			
	T1	T2	T3	T4
Peso medio de cachos (kg) *	19.76 b	17.08 a	25.38 c	16.06 a
Conversión cacho cajón ^{-1**}	0.89	0.77	1.14	0.72
Cosecha efectiva (%)	50	45	75	35
Rendimiento estimado (kg ha ⁻¹)	18 278	14 219	35 215	10 399
Rendimiento estimado (cajones ha ⁻¹)	812	632	1564	461

*Sin raquis floral. Letras distintas señalan diferencias significativas ($p \leq 0.05$)
** Cajón normal de 22.5 kg de banana aproximadamente

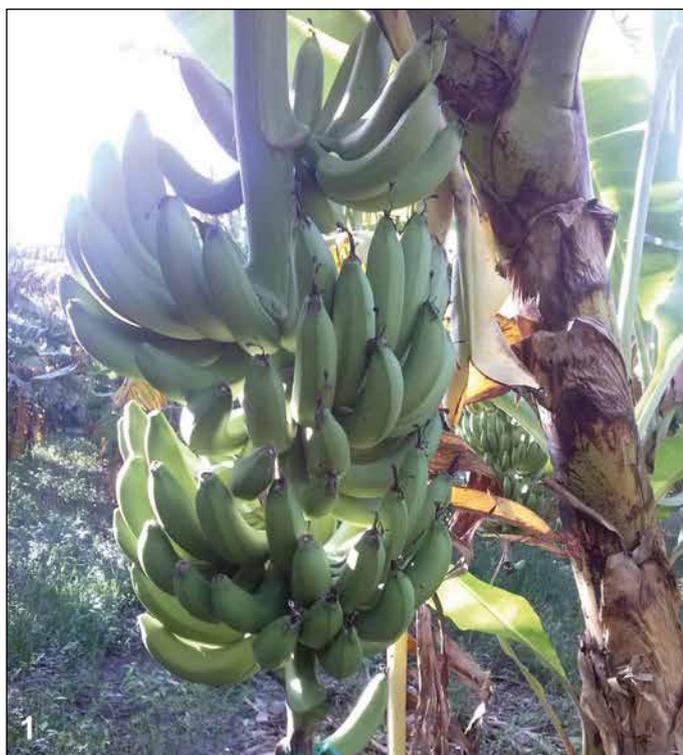


Foto 1. Racimos cosechados en tratamiento 2.

Foto 2. Racimos cosechados en tratamiento 4.



Foto 3. Racimo cosechado en tratamiento 1 (testigo).

Foto 4. Racimos cosechados en tratamiento 3.

Tabla 6. Costos de producción en los distintos tratamientos.

----- Productor -----									
Trat.	Cajones ha ⁻¹	Mano de obra (*) + insumos	Costo producción / 22.5 kg de fruta	Precio de fruta US \$ cajón ⁻¹ (**)	Ingreso bruto (US \$)	Beneficio (US \$)	Costos de empaque (***)	Mano de obra + insumos + empaque	Costo de producción / cajón
T1	812	19 313	23.78	30	24 360	5047	36 310	55 623	68.50
				45	36 540	17 227			
				60	48 720	29 407			
T2	632	29 539	46.73	30	18 960	-10 579	29 440	58 979	93.32
				45	28 440	-1099			
				60	37 920	8380			
T3	1564	22 948	14.67	30	46 920	23 971	65 306	88 254	56.42
				45	70 380	47 431			
				60	93 840	70 891			
T4	461	25 572	55.47	30	13 830	-11 742	22 782	48 354	104.89
				45	20 745	-4827			
				60	27 660	2087			

* La mano de obra según el jornal real que paga un productor de la zona, US \$ 190

** Precios de venta del presente año (variación en función de la época del año y demanda del momento)

*** Costos de empaque en base a los costos de la campaña 2016 en Ceibo 13. Departamento Pilagás, Formosa

2011), algunos niveles de fertilización potásica podrán estar produciendo un desbalance en la relación óptima para el cultivo. La fertilización ajustada considerando los análisis de suelos, T3, produjo un rendimiento que se diferencia estadísticamente de los restantes tratamientos lo cual se traduce en el mejor índice de conversión cacho/cajón del ensayo (**Foto 4**). La dosis de T3 fue muy inferior a las reportadas por López y Espinosa (1995) en suelos tropicales de Costa Rica; Torres et al. (2014) en Inceptisoles de Colombia y Colque et. al. (2005), en Cochabamba, Bolivia, entre otros. Esta dosis incluso es significativamente menor a la utilizada por Scribano (2015) quien, trabajando en la misma región, reportó rendimientos de 46 t ha⁻¹. En las condiciones controladas del presente se obtuvieron 1564 cajones de fruta por hectárea, superando a los rendimientos de productores zonales, con un menor uso de fertilizantes.

Resultados económicos

En la **Tabla 6** se detallan los costos por hectárea para un productor que no realiza el empaque de su fruta, en función de los distintos tratamientos de fertilización. Se presenta el costo de producción de la fruta para un cajón tipo de 22.5 Kg, el ingreso bruto en base distintos precios de venta y el beneficio. Posteriormente, se suman a la estructura de costos, los correspondientes al empaque de la fruta hasta llegar al costo por cajón de fruta en la finca.

En la **Tabla 6** se pueden observar marcadas diferencias entre los costos de producción por cajón de T1 y T3 con respecto a T2 y T4. Así también que, en función del precio de venta de la fruta, el productor puede, en T2 y T4, no llegar a cubrir los costos de producción, aun cuando no realice el empaque de la misma. Para el caso de un productor que si lo hace, se visualiza que el tratamiento de fertilización ajustado en base a análisis de suelos, T3, se corresponde con el menor costo de producción por cajón, US \$ 54.43, seguido por US \$ 68.50 correspondientes al tratamiento testigo, sin fertilizar, T1.

Conclusiones

En las condiciones experimentales del ensayo, tanto el mejor rendimiento agronómico (cantidad de plantas cosechadas, tamaño de cachos, índice de conversión fruta/cajón) como el resultado económico (menos inversión y mayor ganancia), se obtuvieron con una dosis de fertilización de 64 kg ha⁻¹ de N elemento y 46.2 Kg ha⁻¹ de K elemento, estimada a partir de análisis de suelo.

La no fertilización, acompañada de buenas prácticas de manejo del cultivo, produjo un mejor resultado económico que dosis excesivas y/o desbalanceadas.

Bibliografía

Bertsch, F. 2009. Absorción de nutrientes por los cultivos. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 308 p.
Colque, O., E. Iquize, y A. Ferrufino. 2005. Efecto de la fertilización nitrogenada y potásica en la producción

del banano Musa AAA en fincas comerciales de tres localidades del Trópico de Cochabamba. Inf. Agron. Cono Sur 26:1-7.

Colque, O., R. Vailati, J. Villarreal, y E. Baridón. 2013. Producción de banano subtropical. Prácticas de manejo, cosecha y poscosecha. CEDEVA Misión Tacaaglé, provincia de Formosa. 69 p.

Combatt, E.M., G. Martínez, y J.L. Barrera. 2004. Efecto de la interacción de N y K sobre las variables de rendimiento del cultivo de plátano (*Musa* AAB Simmonds) en San Juan de Uraba, Antioquía. Temas Agrarios 9(1):5-12.

Espinosa, J., y F. Mite. 2002. Estado actual y futuro de la nutrición y fertilización del banano. Inf. Agron. Cono Sur 48:4-10.

Galán Saúco, V., y J. Robinson. 2013. Fisiología, clima y producción de banano. XX Reunión Internacional da Associação para a Cooperação em Pesquisa e Desenvolvimento Integral das Musáceas (Bananas e Plátanos). 9 a 13 de setembro de 2013. Fortaleza, CE, Brasil.

Lahav, E., y D. Turner. 1992. Fertilización del banano para rendimientos altos. Segunda edición. Boletín N° 7, INPOFOS, Quito, Ecuador. 71 p.

Lanfranco, J., E. Baridón, y A. Aragón. 2011. Manual de pautas y procedimientos para la evaluación y manejo del recurso suelo. Área subtropical norte de Formosa. CEDEVA Misión Tacaaglé, Prodeco Edt., 92 p.

López, A., y J. Espinosa. 1995. Manual de Nutrición y Fertilización del Banano. INPOFOS. Quito, Ecuador. 86 p.

Maldonado, R., V. Almaguer, S. Alvarez, y S. Robledo. 2008. Diagnóstico nutricional y validación de dosis de fertilización para limón persa. Terra Latinoamérica 26:341-349.

Orozco Romero J., y O. Pérez Zamora. 2006. Tensión de humedad del suelo y fertilización nitrogenada en plátano (*Musa* AAA Simmonds cv. Gran enano. Agrociencia 40(2):149-162.

Osundare, O.T., A.A. Fajinmi, y C.J. Okonji. 2014. Effects of organic and inorganic soil amendments on growth performance of plantain (*Musa paradisiaca* L.). African Journal of Agricultural Research. 10(3):154-160.

Robinson, J.C., y V. Galán. 2011. Plátanos y bananas. 2° ed. Mundi-Prensa, Madrid. 336 p.

Rodríguez S.J. 1993 Fundamentos de fertilidad de cultivos. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile. 240 p.

Scribano, F. 2015. Cómo duplicar el rinde en la producción de bananas. INTA informa.

Torres, J., J. Sánchez, G. Cayón, S. Magnitskiy, y A. Darghan. 2014. Accumulation of dry matter and nitrogen contents in banana 'Williams' (*Musa* AAA) plants in Uraba, Colombia. Agronomía Colombiana 32(3):349-357. Doi: 10.15446/agron.colomb.

Volke Haller, V., J. Etchevers, A. Sanjuan Ramírez, y T. Silva Palomino. 1998. Modelo de balance nutricional para la generación de recomendaciones de fertilización para cultivos. Terra 16(1):79-91.

Integrando estrategias de manejo de cultivo y fertilización para reducir las brechas de rendimiento en soja en región pampeana

Juan Martín Enrico^{1*}, Fernando García², Mike Stewart², Guillermo Balboa³, Ignacio Ciampitti³ y Fernando Salvagiotti¹

- *Para reducir las brechas de rendimiento en soja se deben conocer y aplicar las mejores prácticas de manejo (MPM).*
- *Los procesos que ocurren en la etapa de cuajado y llenado de las semillas fueron los más afectados por el efecto conjunto de intensificación del manejo y uso de nutrientes, indicando que toda práctica de intensificación del manejo del cultivo de soja debe ser acompañada de un manejo efectivo y eficiente de la nutrición del cultivo para optimizar el uso de los recursos.*
- *Si bien las estrategias de intensificación incrementaron el consumo de nutrientes, muchas veces redujeron el requerimiento interno, con lo cual para una misma o menor cantidad de nutriente absorbido se obtuvo mayor rendimiento.*

Introducción

El aumento de la producción de los cultivos, la maximización de la eficiencia del uso de los recursos y la reducción de los impactos ambientales en el agro-ecosistema son los principales objetivos de la intensificación sostenible de la agricultura. Para lograrlos es necesario desarrollar conocimientos que permitan comprender los procesos involucrados en incrementar la producción del sistema en forma sustentable: la producción potencial de biomasa, su partición a las estructuras reproductivas, la eficiencia en el uso de los recursos (agua, luz, nutrientes) y la magnitud de las brechas entre prácticas de producción frecuentemente utilizadas en una determinada área con respecto a aquellas recomendadas para un uso más eficiente de los recursos e insumos.

El Rendimiento potencial (RP) de la soja está determinado genéticamente, aunque es difícil que se pueda observar a campo, aun suponiendo que no hay limitaciones en el suministro de agua y nutrientes y en ausencia de factores limitantes del rendimiento (por ejemplo, insectos y enfermedades). Por lo tanto, es más adecuado hablar del Rendimiento máximo (RM) que se pueda obtener en determinadas condiciones de manejo. En condiciones de secano (donde el agua es el factor más limitante), el RM puede definirse como el Rendimiento máximo en secano (RMS). Las prácticas de manejo de los cultivos (por ejemplo, espaciamiento entre hileras, fecha de siembra, densidad de plantas, o genotipo utilizado) determinarán diferentes brechas de rendimiento entre el manejo más frecuente y el recomendado para altos rendimientos (Manilla y Salvagiotti, 2013). En general es aceptado que cuando la brecha es inferior al 20% (i.e. 80% del RMS), es más difícil encontrar aumentos en el rendimiento todos los años (Lobell, et al., 2009). Por otra parte, en los lotes de producción existen deficiencias nutricionales

que deben ser corregidas para poder acercarse al RMS. Estas deficiencias, que son propias de cada lote, pueden ser caracterizadas con herramientas como los análisis de suelos y tejido. En la región pampeana argentina, son conocidos los déficits generales de nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S) o de micronutrientes como el zinc (Zn) (Salvagiotti et al., 2012; 2013; 2017; Barbieri et al., 2017).

En los últimos años diferentes estudios han mostrado que diversas prácticas de manejo incrementan la producción en soja, por ejemplo, la reducción del espaciamiento entre surcos (Rizzo et al., 2009; Bacigaluppo et al., 2011; Martignone et al., 2011), la correcta elección del genotipo (Bacigaluppo et al., 2013), o la siembra en fechas más tempranas (Mercau et al., 2004; Enrico et al., 2013). En consecuencia, para poder reducir las brechas de rendimiento en un lote determinado es menester conocer y aplicar las Mejores prácticas de manejo (MPM).

El objetivo de este estudio fue cuantificar las brechas de rendimiento en soja entre la estrategia de Manejo de cultivo (MC) y Manejo de nutrientes (MN) más utilizada y asociada con un mayor nivel de intensificación y explorar variables fisiológicas asociadas al mismo.

Materiales y métodos

Dos experimentos de evaluación de estrategias de manejo de cultivo y fertilización fueron sembrados en las campañas 2014-15 y 2015-16 en Oliveros, Santa Fe, Argentina (32° 33'S, 60° 51'O) bajo condiciones de secano. En cada año se evaluaron cuatro tratamientos: Prácticas de manejo más frecuentes (PF), Fertilización por recomendación (FR), Intensificación del manejo (IM) e Intensificación del manejo y la fertilización (IMF). En los tratamientos PF y FR, el manejo del cultivo de soja se caracterizó por decisiones más conservadoras: uso de un genotipo ampliamente utilizado en la zona en los

¹ INTA EEA Oliveros

² IPNI - International Plant Nutrition Institute. Programa Cono Sur de Latinoamérica. Correo electrónico: fgarcia@ipni.net

³ Kansas State University

* Autor de contacto. Correo electrónico: enrico.juan@inta.gob.ar

últimos años, sembrado a mediados de noviembre con un distanciamiento entre hileras de 52 cm. Por otro lado, en los tratamientos IM e IMF, se evaluó un manejo más intensivo dirigido a maximizar el rendimiento, considerando simultáneamente la reducción en el espaciamiento entre surcos, y el uso de un genotipo con mayor potencial de rendimiento y sembrado más temprano (fines de octubre - principios de noviembre). Respecto a las estrategias de fertilización, en FR e IMF se inoculó y fertilizó la soja con agregado de P y S (20 kg de cada nutriente por ha y año) aplicados al voleo en invierno, siguiendo las recomendaciones del INTA, utilizando boro durante el estadio R2; (Fehr y Caviness, 1977) y N en etapas reproductivas. En cambio, IM y PF no recibieron fertilización ni inoculación. Por lo tanto, los cuatro tratamientos fueron una combinación de 2 estrategias de manejo y 2 de fertilización (**Tabla 1**). Todos los tratamientos se organizaron en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Se aplicaron herbicidas, insecticidas y fungicidas dependiendo de la presencia de malezas, insectos y enfermedades (**Tabla 1**).

En los estadios R2, R5, y R7 se determinó la biomasa (expresada en Materia seca, MS) y se calculó la tasa de crecimiento del cultivo (TCC, $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$) en el periodo crítico para la determinación del número de semillas en soja (R2-R5). Además, durante el crecimiento vegetativo (E-R1) y los periodos reproductivos, R2-R5 y R5-R7, se midió el Índice de área foliar (IAF). Para analizar las variables asociadas a la definición del Número de Semillas (NS) se utilizó la aproximación de Rotundo et al. (2012) que tiene en cuenta la duración del periodo reproductivo temprano (R2-R5; días), la partición de biomasa a estructuras reproductivas (CP, la fracción de la biomasa reproductiva en R5 acumulada R2-R5) y la eficiencia de cuajado (**Ec. 1**; número de semillas por kg biomasa reproductiva en R5):

$$\text{NS (sem ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{TCC}_{\text{R2-R5}} (\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}) \times \text{Duración}_{\text{R2-R5}} (\text{d}) \times \text{CP (fracción)} \times \text{EC (sem kg}^{-1}\text{)}}{\text{Ec. 1}}$$

A madurez comercial, se realizó la cosecha en un área de 6 m² (el rendimiento fue ajustado a 13% humedad comercial) y se determinó número de semillas, peso unitario de semilla, número de nudos fértiles y frutos por nudo fértil en tallo principal. Las distintas estructuras de biomasa (hojas, tallos, carpelos y semillas) de R7 fueron molidas y se determinó la concentración de N a través de micro-Kjeldahl (Nelson y Summers, 1973) y la de P, S, B y Zn a través de espectrometría de plasma (ICP-OES). Se calculó el índice de cosecha de cada nutriente (IC) como la relación entre el contenido de los mismos en las semillas en relación al total del nutriente absorbido. El requerimiento interno de los nutrientes (kg nutriente por tonelada de rendimiento) se calculó dividiendo el contenido total de nutrientes en base seca por el rendimiento (corregido al 13%).

Condiciones meteorológicas durante las campañas 2014-15 y 2015-16

En la temporada 2014-15, las precipitaciones durante el ciclo de cultivo (Emergencia - R7) fueron 633 y 574 mm para los tratamientos de siembra temprana (IM e IMF) y tardía (PF y FR), respectivamente. Estos valores fueron 40% y 25% superiores a los normales de acuerdo al registro histórico (1971-2014) para la siembra temprana y la tardía, respectivamente. En consecuencia, se registraron balances atmosféricos (precipitación - ETP) positivos para ambos manejos.

En la temporada 2015-16, las precipitaciones durante el ciclo de cultivo fueron 719 y 697 mm para los tratamientos de siembra temprana y tardía, respectivamente, que fueron 43% mayores que los valores históricos (**Figura 1**). Durante el periodo de crecimiento de las semillas (R1-R5), el balance atmosférico fue positivo o ligeramente negativo para las dos alternativas de manejo en 2014-15, y fue negativo para ambas estrategias en 2015-16. Durante el periodo de llenado de semillas (R5-R7), en ambas campañas, el balance atmosférico fue positivo, de mayor magnitud en 2015-16.

Condiciones del suelo

El análisis inicial de suelo en ambos lotes mostró valores de suelos típicamente degradados en el área sur de Santa Fe. La materia orgánica fue de alrededor del 2% y el pH fue de 5.3 y 5.2 para las campañas 2014-15 y 2015-16, respectivamente. Por otra parte, los dos lotes presentaron contenidos contrastantes de P, con valores elevados en 2014-15 (29 ppm) y más cercanos al umbral crítico para el 2015-16 (15 ppm; Salvagiotti et al., 2013).

Resultados y discusión

Crecimiento del cultivo e Índice de área foliar (IAF)

La producción de MS promedio en R2 de los tratamientos de mayor intensificación (IM e IMF) fue 49% significativamente superior, respecto de PF. Esta diferencia significativa ($p < 0.01$) seguramente está relacionada con el menor espaciamiento entre surcos que produjo una más rápida acumulación de MS. Sin embargo, al inicio del llenado de semillas la producción de MS en las distintas estrategias fue similar ($p > 0.13$), con tendencia a una mayor producción de MS ($p = 0.08$) en las estrategias de manejo, por efecto de la aplicación de fertilizantes (**Figura 2**). A madurez fisiológica, los tratamientos IM e IMF alcanzaron biomasa superiores a los 10 000 kg ha^{-1} , superando a PF y FR en un 24%, aunque existió interacción año (A) x tratamiento (T), explicada por la mayor magnitud de las diferencias observadas en la campaña 2015-16 ($p = 0.08$) (**Tabla 2**).

La evolución del IAF fue similar para todas las estrategias durante el periodo vegetativo del cultivo y hasta el estadio R2 en ambas campañas ($p = 0.11$, **Figura 3**). El máximo IAF se alcanzó en R5, alcanzando valores de *próximos* a 5 y 7.5 en 2014-15 y 2015-16, respectivamente. En este estadio se observó interacción significativa A x T ($p < 0.01$),

Tabla 1. Descripción de las estrategias de manejo de cultivo y fertilización estudiadas durante las campañas 2014-15 y 2015-16.

Tratamiento		PF	FR	IM	IMF
Densidad de siembra objetivo, pl ha ⁻¹ *		290 000 (331 731)	290 000 (320 513)	440 000 (413 462)	440 000 (431 090)
Espaciamiento entre hileras, cm		52	52	26	26
Cultivar		DM 4970	DM 4970	LDC 4.7	LDC 4.7
Fecha de siembra	2014-15	28 Nov	28 Nov	7 Nov	7 Nov
	2015-16	18 Nov	18 Nov	5 Nov	5 Nov
Inoculación		NO	SI	NO	SI
Fertilización		Sin fertilizante	20 kg P ha ⁻¹ + 20 kg S ha ⁻¹ **	Sin fertilizante	20 kg P ha ⁻¹ + 20 kg S ha ⁻¹ **
Micronutrientes		NO	Foliar B @ R2-R3	NO	Foliar B @ R2-R3
N en inicio de llenado de semillas, R5		NO	SI*** (50 kg N ha ⁻¹)	NO	SI*** (50 kg N ha ⁻¹)

* Entre paréntesis se indica la densidad lograda promedio de ambas campañas
 ** Voleado en cobertura total en el mes de Julio
 *** Voleado en cobertura total en inicio de llenado de las semillas (R5)

PF: Prácticas de manejo más frecuentes
 FR: Fertilización por recomendación
 IM: Intensificación del manejo
 IMF: Intensificación del manejo y la fertilización

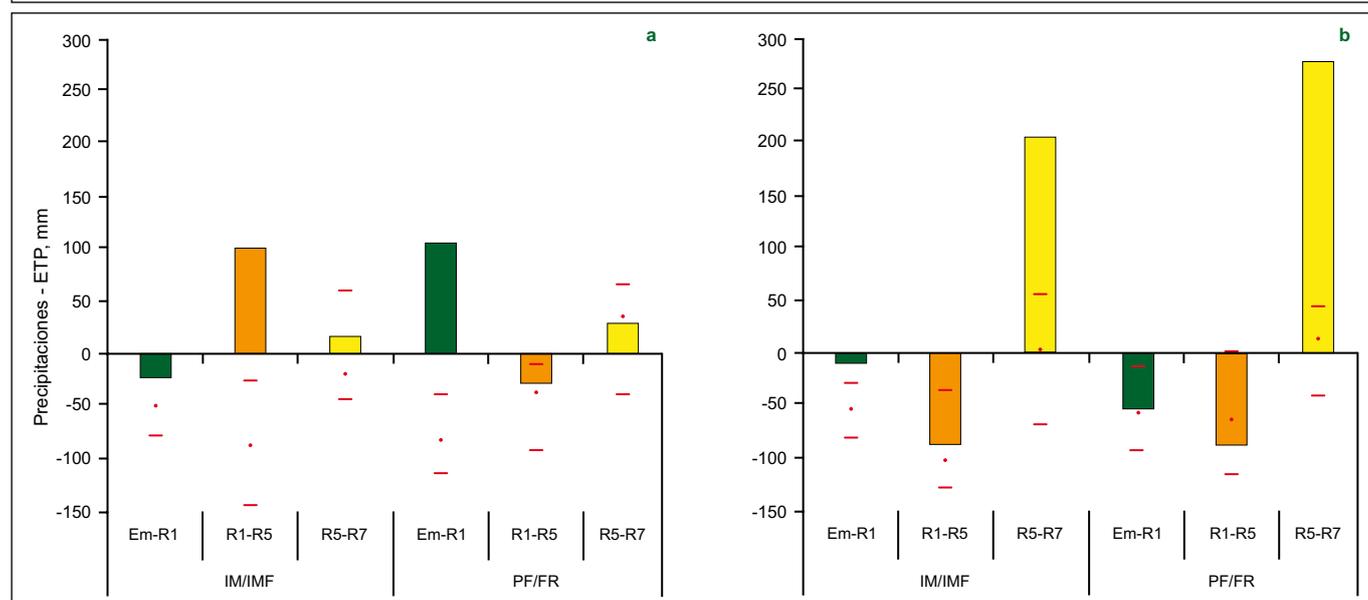


Figura 1. Balance atmosférico (Precipitación - ETP) en tres sub-periodos durante el ciclo de la soja (Vegetativo: Em-R1, reproductivo temprano: R1-R5, periodo de llenado de la semilla: R5-R7) en 2014-15 (a) y 2015-16 (b). Las líneas horizontales y los puntos representan el 25° y 75° cuartil y la mediana de la serie histórica (Oliveros, 1971-2014), respectivamente. PF: Prácticas de manejo más frecuentes; FR: Fertilización por recomendación; IM: Intensificación del manejo e IMF: Intensificación del manejo y la fertilización.

explicada por la ausencia de respuesta a los tratamientos en la campaña 2014-15 ($p = 0.49$), mientras que en la campaña 2015-16 los tratamientos IM e IMF tuvieron un IAF 30% mayor y se diferenciaron significativamente de los tratamientos PF y FR ($p = 0.04$). También, como fuera observado para la producción de biomasa, se observó efecto significativo del mayor aporte de fertilizantes (22%) en el manejo más intensificado, i.e. IM vs IMF ($p = 0 < 0.01$; dato no mostrado; **Figura 3**).

Rendimiento y componentes del rendimiento

Se determinó una diferencia significativa ($p = 0.01$) entre campañas, donde la campaña 2014-15 rindió un 26% más que la 2015-16. Dado que no hubo interacción AxT, se analizaron los efectos de cada estrategia a través de contrastes específicos de los tratamientos respecto de PF promediando años, y se corrigió el error utilizado para la comparación de medias a través del test de Bonferroni y así hacer contrastes específicos aun cuando

Tabla 2. Materia seca (MS) en diferentes estados reproductivos del cultivo de soja (R2, R5 y R7) e Índice de área foliar (IAF) en inicio de llenado de semillas (IAF R5) para las diferentes estrategias de producción de soja.

	MS R2		MS R5		MS R7		IAF R5	
	kg ha ⁻¹						m ² m ⁻²	
					2014	2015	2014	2015
PF	2005	8870	10 759	8 359	4.7	5.5		
FR	2259	9829	10 981	8 426	5.2	5.3		
IM	2837	8586	11 317	11 496	4.9	6.4		
IMF	3146	9065	11 998	12 865	5.2	7.8		
Año (A)	0.17	0.13	0.08		0.07			
Tratamiento (T)	0.01	0.19	< 0.01		< 0.01			
AxT	0.43	0.88	< 0.01		< 0.01			
Contrastes								
FR vs PF	0.43	0.11	0.74		0.48			
IM vs PF	0.02	0.61	< 0.01		0.08			
IMF vs PF	< 0.01	0.73	< 0.01		< 0.01			
<i>PF: Prácticas de manejo más frecuentes</i>					<i>IM: Intensificación del manejo</i>			
<i>FR: Fertilización por recomendación</i>					<i>IMF: Intensificación del manejo y la fertilización</i>			

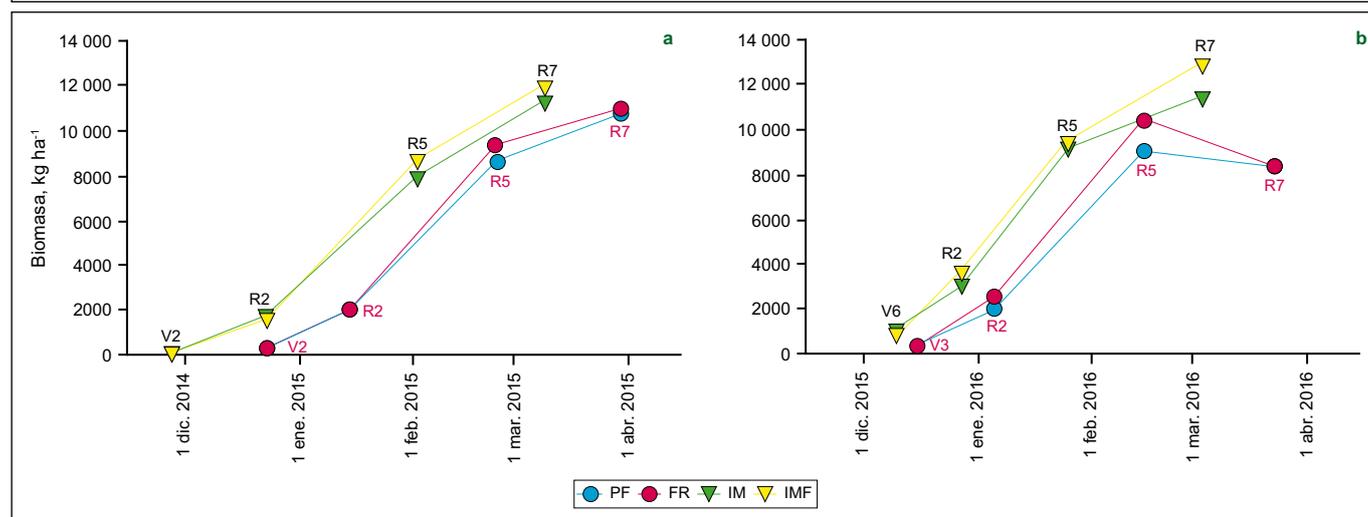


Figura 2. Evolución de la Materia seca (MS), biomasa, para las diferentes estrategias de producción del cultivo de soja en la campaña 2014-15 (a) y 2015-16 (b). PF: Prácticas de manejo más frecuentes; FR: Fertilización por recomendación; IM: Intensificación del manejo e IMF: Intensificación del manejo y la fertilización.

el test F general no fuera significativo. Cada estrategia en forma individual, es decir, FR (solo fertilización) o IM (solo manejo), no aumentaron significativamente el rendimiento con respecto a PF. Por otra parte, se observó un aumento significativo de 8% en el rendimiento (ca. 360 kg ha⁻¹) cuando se implementó en forma conjunta una estrategia intensificada de manejo del cultivo y la fertilización recomendada (IMF) respecto de la estrategia PF. Del mismo modo, analizando solo la estrategia de fertilización (promedio de los tratamientos CF + IMF vs IM + PF), el rendimiento aumentó en un 5% ($p < 0.06$, datos no mostrados).

En la primera temporada, la estrategia de plantación tardía (PF y FR) mostró mayor peso de semilla individual

que la estrategia de plantación temprana (IM e IMF) (185 vs. 164 mg por semilla), pero en la temporada 2015-16, se determinó una tendencia diferente (161 y 169 mg por semilla para la estrategia de fecha de siembra tardía y temprana, respectivamente; **Tabla 3**).

La intensificación en el manejo (IM e IMF) produjeron un aumento significativo (32%) en el número de nudos fértiles en tallo principal por m², y esto estuvo relacionado a una densidad 29% superior alcanzada con el menor espaciamiento (**Tabla 1**) y a un 13% de incremento en el número de nudos fértiles en el tallo principal por planta (**Tabla 3**). Si bien el número de vainas por nudo reproductivo (NV nud rep⁻¹) fue significativamente un 18% mayor con las estrategias PF y FR, no alcanzó para

Tabla 3. Rendimiento (kg ha^{-1}), Peso unitario de la semilla (PUS en mg), Número de semillas (NS), nudos fértiles en tallo principal por planta (# nud fért en TP pl^{-1}), número de nudos fértiles en tallo principal (# nud fért TP m^{-2}) y número de vainas por nudo reproductivo en TP (NV nud rep TP $^{-1}$) para los cuatro tratamientos evaluados.

	Rendimiento		PUS		NS		# nud fért en		# nud fért TP m^{-2}	NV nud rep TP $^{-1}$
	---- kg ha^{-1} ----		----- mg -----		--- sem m^{-2} ---		----- TP pl^{-1} -----		Promedio 2014-2015	Promedio 2014-2015
	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015		
PF	5198	4056	180	161	2882	2522	13.1	10.5	419	2.6
FR	5490	4187	191	161	2880	2603	14.0	8.9	400	2.7
IM	5247	4256	163	167	3212	2553	12.5	12.8	523	2.2
IMF	5495	4482	165	172	3323	2605	13.1	13.4	554	2.2
Año (A)	0.01		0.04		< 0.01		< 0.01		0.14	0.60
Tratamiento (T)	0.19		< 0.01		0.05		0.03		< 0.01	< 0.01
AxT	0.75		< 0.01		0.08		< 0.01		0.20	0.63
Contrastes										
FR vs PF	0.21		< 0.01		0.67		0.53		0.63	0.56
IM vs PF	0.45		< 0.01		0.07		0.17		0.02	< 0.01
IMF vs PF	0.04		0.23		< 0.01		0.02		< 0.01	< 0.01
<i>PF: Prácticas de manejo más frecuentes</i>					<i>IM: Intensificación del manejo</i>					
<i>FR: Fertilización por recomendación</i>					<i>IMF: Intensificación del manejo y la fertilización</i>					

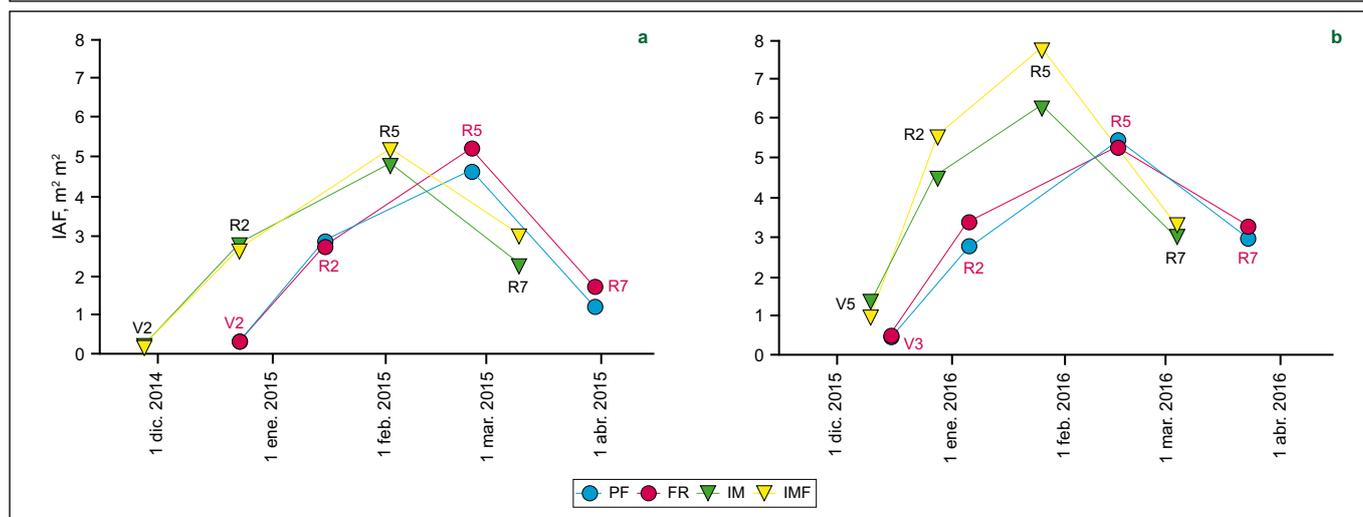


Figura 3. Evolución del índice de área foliar (IAF) para las diferentes estrategias de producción del cultivo de soja en la campaña 2014-15 (a) y 2015-16 (b). PF: Prácticas de manejo más frecuentes; FR: Fertilización por recomendación; IM: Intensificación del manejo e IMF: Intensificación del manejo y la fertilización.

compensar la menor densidad de plantas (Tabla 1) y el menor número de nudos fértiles en el tallo principal por planta (# nud fért en TP pl^{-1} , Tabla 3). En el tallo principal se alojaron en promedio el 80% de las vainas en la campaña 2014-15 y el 69% en la campaña 2015-16, sin diferencias entre tratamientos (datos no mostrados).

Al analizar el modelo de formación del número de semillas en relación al crecimiento (Ec. 1), la $\text{TCC}_{\text{R2-R5}}$ fue en promedio de 16.8 g biomasa por m^2 por día, no observándose interacción AxT ($p = 0.88$) ni tampoco efecto de T y A entre las diferentes estrategias de

manejo ($p = 0.15$; Tabla 4). El coeficiente de partición mostró interacción AxT ($p = 0.02$), explicado porque las estrategias PF y FR tuvieron valores 32% mayores de CP respecto de las estrategias IM e IMF solo en la campaña 2015-16 ($p < 0.01$). Sin embargo, no existió interacción AxT para la Eficiencia de cuajado de vainas (EC), y se determinaron diferencias significativas entre campañas ($p = 0.04$) y estrategias de producción ($p < 0.01$). Los tratamientos IM e IMF presentaron valores de EC 71% mayores respecto de las estrategias PF y FR (Tabla 4).

Tabla 4. Duración y Tasa de crecimiento de cultivo (TCC) durante la etapa de fijación de frutos, Coeficiente de partición (CP) y Eficiencia de cuajado (EC).

	Duración R2-R5 días	TCC R2- R5 g m ⁻² día ⁻¹	CP g g ⁻¹		EC g g ⁻¹
			2014	2015	
PF	41	16.9	0.22	0.25	17.0
FR	41	18.7	0.20	0.29	15.7
IM	44	15.2	0.20	0.18	28.2
IMF	44	16.5	0.19	0.18	27.8
Año (A)		0.21	0.14		0.04
Tratamiento (T)		0.15	< 0.01		< 0.01
AxT		0.88	0.02		0.86
Contrastes					
FR vs PF		0.24	0.59		0.69
IM vs PF		0.23	< 0.01		< 0.01
IMF vs PF		0.77	< 0.01		< 0.01
PF: Prácticas de manejo más frecuentes FR: Fertilización por recomendación			IM: Intensificación del manejo IMF: Intensificación del manejo y la fertilización		

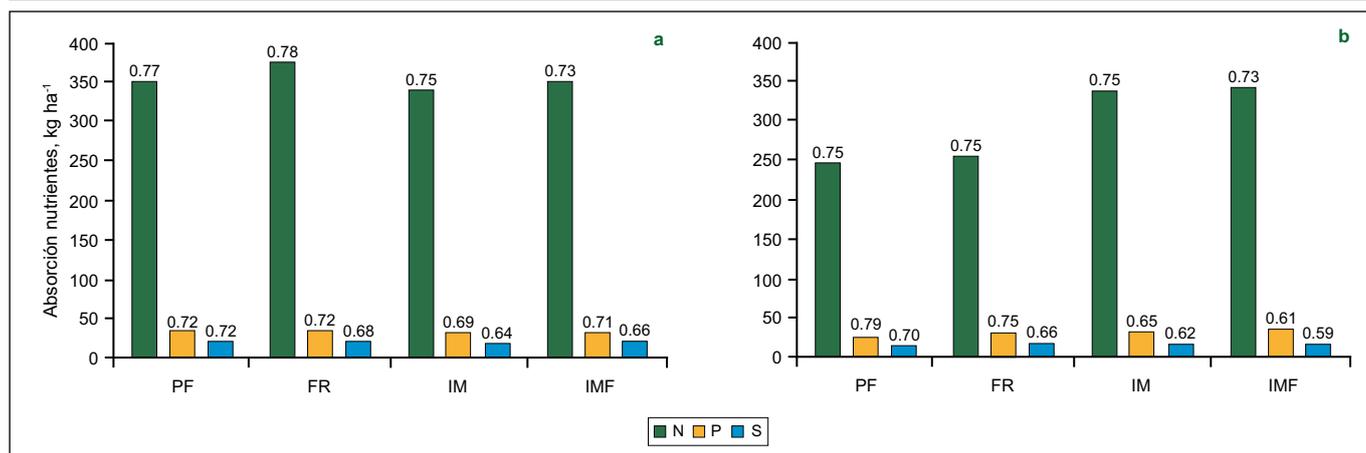


Figura 4: Absorción total para N, P y S en la campaña 2014-15 (a) y 2015-16 (b). FR: Fertilización por recomendación; IM: Intensificación del manejo e IMF: Intensificación del manejo y la fertilización. Los números encima de cada columna indican el índice de cosecha de cada nutriente.

Consumo de nutrientes y requerimientos nutricionales

Macronutrientes

En promedio, el cultivo absorbió 326 kg N ha⁻¹, observándose una interacción AxT (datos no mostrados), ya que en la campaña 2014-15 no se hallaron diferencias de absorción entre tratamientos (354 kg N ha⁻¹), mientras que en la campaña 2015-16 las estrategias en que intensificaron el manejo del cultivo (IM e IMF) tuvieron un 36% más de absorción de N (Figura 4 panel derecho). El ICN fue en promedio del 73%, pero las estrategias IM + IMF tuvieron un ICN 15% menor a PF + FR. El requerimiento interno de N en las estrategias de mayor intensificación fue de 72 kg N por tonelada, un 10% superior respecto de las estrategias PF + FR (Tabla 5). En promedio, la absorción de P fue aproximadamente de

32 kg P ha⁻¹, donde las estrategias IM + IMF tuvieron en promedio un 7% más de consumo respecto de las otras, siendo el consumo similar entre años (p = 0.29). Al igual que lo observado para N, el ICP fue un 11% mayor en las estrategias más conservadoras de manejo (Figura 4). El requerimiento interno de P fue en promedio 6.7 kg P por tonelada de rendimiento, no siendo afectado por los tratamientos. La absorción de S fue en promedio de alrededor de 18 kg S por ha, no existiendo efecto de los tratamientos. El requerimiento interno fue de 3.7 kg de S por kg de rendimiento. En promedio, la relación de nutrientes absorbidos totales N:P:S fue de 18.4:10:1.

Micronutrientes

La absorción de Zn fue en promedio de 245 g Zn ha⁻¹, siendo un 15% superior en los tratamientos IM respecto

Tabla 5. Requerimientos nutricionales de N, P, S, Zn y B por tonelada de grano producida para las diferentes estrategias de producción de soja.

	Requerimiento									
	N		P		S		Zn		B	
	kg Tn ⁻¹				g Tn ⁻¹					
	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015
PF	67.6	61.4	6.4	6.2	3.9	3.3	46.8	48.9	103.7	90.5
FR	67.5	61.6	6.2	7.4	3.8	4.0	47.2	53.7	98.6	92.4
IM	64.5	80.3	6.0	7.9	3.6	3.8	48.9	60.3	101.7	107.9
IMF	63.9	77.4	5.9	7.7	3.7	3.5	45.3	60.3	104.5	117.5
ES	1.9		0.3		0.3		4.3		2.5	
Año (A)	0.17		< 0.01		0.25		0.03		0.95	
Tratamiento (T)	0.01		0.11		0.37		0.18		< 0.01	
AxT	< 0.01		<0.01		0.30		0.21		< 0.01	
Contrastes										
FR vs PF	0.68		0.08		0.14		0.40		0.55	
IM vs PF	< 0.01		0.02		0.48		0.04		< 0.01	
IMF vs PF	< 0.01		0.08		0.99		0.12		< 0.01	
<i>PF: Prácticas de manejo más frecuentes</i>					<i>IM: Intensificación del manejo</i>					
<i>FR: Fertilización por recomendación</i>					<i>IMF: Intensificación del manejo y la fertilización</i>					

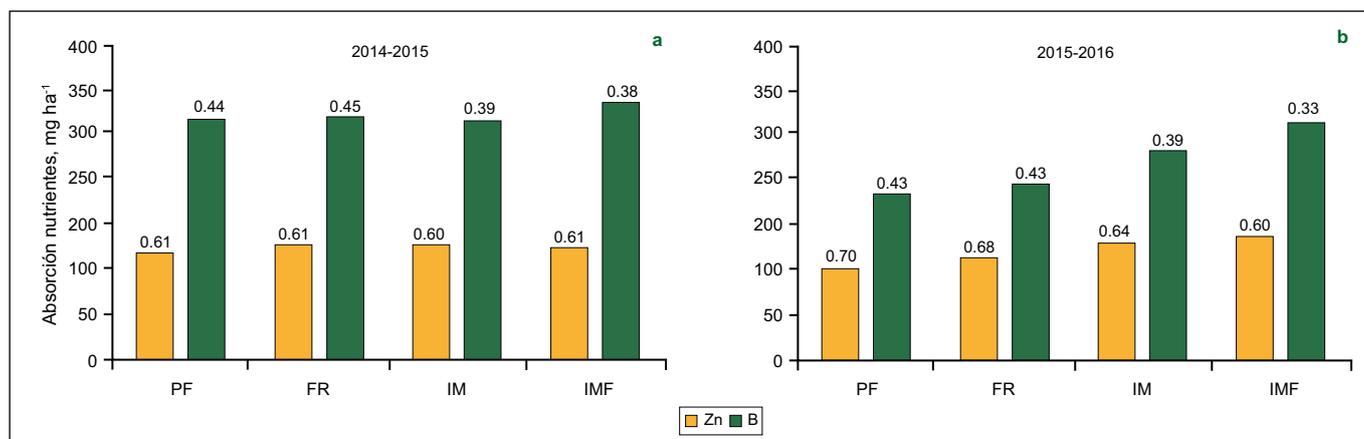


Figura 5: Absorción total para Zn y B en la campaña 2014-15 (a) y en la campaña 2015-16 (b). FR: Fertilización por recomendación; IM: Intensificación del manejo e IMF: Intensificación del manejo y la fertilización. Los números encima de cada columna indican el índice de cosecha de cada nutriente.

del PF. El ICZn no fue afectado por los tratamientos siendo, en promedio, el requerimiento interno de Zn de aproximadamente 51 g Zn por tonelada de rendimiento (Figura 5 y Tabla 5). En el caso del B, se tuvo un consumo promedio de 491 g B ha⁻¹, observándose un aumento significativo en el consumo del tratamiento IMF respecto de PF del 11%. El ICB fue, en promedio, del 40% siendo significativamente menor en los tratamientos IM + IMF (Figura 5). En promedio, el requerimiento interno de B fue de 102 g B por tonelada de rendimiento, observando un incremento del 13% en los tratamientos IMF respecto del PF (Tabla 5).

Conclusiones

Estos resultados preliminares muestran que toda práctica de intensificación del manejo del cultivo de soja debe ser acompañada de un manejo efectivo y eficiente de la nutrición de cultivo para optimizar el uso de los recursos. Los procesos que ocurren en la etapa de cuajado y llenado de las semillas fueron los más afectados por el efecto conjunto de la intensificación del manejo y uso de los nutrientes. Si bien las estrategias de intensificación incrementaron el consumo de nutrientes, muchas veces redujeron el requerimiento interno, con lo cual para una misma o menor cantidad de nutriente absorbido se obtuvo mayor rendimiento.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el proyecto “Quebrando barreras de rendimiento de soja: Integración de prácticas de producción de cultivo y estrategias de fertilización - Una aproximación de sistemas de producción” del IPNI.

Bibliografía

- Bacigaluppo, S., J.M. Enrico, R.A. Martignone, y M.L. Bodrero. 2011. Respuesta al espaciamiento entre hileras en soja: II Rendimiento y sus componentes. Archivo TC 29 en versión digital del libro de trabajo científicos, Parte II. Tecnología de cultivo.
- Bacigaluppo, S., M.L. Bodrero, J.M. Andriani, J. Capurro, A. Condori, M. De Emilio, M.J. Dickie, O. Gentili, G. Gerster, A. Malmantile, J.M. Méndez, R. Pagani, G. Prieto, y J. Rossi. 2013. Evaluación en red de cultivares de soja de los grupos de madurez III, IV y V en siembras de primera época en diferentes ambientes del centro - sur de Santa Fe. Campaña 2012-13. Para mejorar la producción 50. INTA Oliveros.
- Barbieri, P., H.R. Sainz Rozas, N. Wyngaard, M. Eyherabide, N. Reussi Calvo, F. Salvagiotti, A. Correndo, P.A. Barbagelata, G. Espósito Goya, J.C. Colazo, y H.E. Echeverría, 2017. Can edaphic variables improve DTPA-based zinc diagnosis in corn? Soil Sci. Soc. A. J., in press.
- Enrico, J.M., M.B. Conde, R.A. Martignone, M.L. Bodrero. 2013. Soja: Evaluación de la estabilidad del rendimiento según fechas de siembra. Para mejorar la producción 50:71-78. INTA Oliveros.
- Fehr, W.R., y C.E. Caviness. 1977. Stages of Soybean Development. Special Report 80. Iowa State University, Ames. IA.
- Lobell, D.B., K.G. Cassman, y C.B. Field. 2009. Crop Yield Gaps: Their Importance, Magnitudes, and Causes. Annu. Rev. Environ. Resour. 34:179-204.
- Manlla, A., y F. Salvagiotti. 2013. Soybean yields and yield gap analysis in The pampas region of Argentina. Abstract 344 en versión digital del libro de trabajo científicos del World Soybean Research Conference IX. February 2013. Durban, South Africa.
- Martignone, R.A., S. Bacigaluppo, J.M. Enrico, M.L. Bodrero. 2011. Respuesta al espaciamiento entre hileras en soja: I Intercepción de radiación y parámetros de crecimiento. Archivo TC 28 en versión digital del libro de trabajo científicos, Parte II. Tecnología de cultivo.
- Mercau, J.L., J. Dardanelli, J.M. Andriani, D. Collino, y J. Belligoi. 2004. Diseño de estrategias de producción de soja: Utilización de un modelo de simulación agronómico. Para mejorar la producción 27:122-129. INTA Oliveros.
- Nelson, D.W., y L.E. Sommers. 1973. Determination of total nitrogen in plant material. Agron J 65:109-112.
- Rizzo, F., y P. De Luca. 2009. Impact of row spacing upon soybean crop yield. World Soybean Conference Research, August 10-15, 2009, Beijing, China.
- Rotundo, J.L., L. Borrás, J. De Bruin, y P. Pedersen. 2012. Physiological strategies for seed number determination in soybean: Biomass accumulation, partitioning and seed set efficiency. Field Crops Research 135:58-66.
- Salvagiotti, F., G. Ferraris, A. Quiroga, M. Barraco, H. Vivas, P. Prystupa, H.E. Echeverría, y F.H. Gutierrez-Boem. 2012. Identifying sulfur deficient fields by using sulfur content; N:S ratio and nutrient stoichiometric relationships in soybean seeds. Field Crops Research 135:107-115.
- Salvagiotti, F., M. Barraco, D. Dignani, H. Sanchez, A. Bono, P. Vallone, G. Gerster, C. Galarza, J. Montoya, y V.J. Gudelj. 2013. Plant stand, nodulation and seed yield in soybean as affected by phosphate fertilizer placement, source and application method. European Journal of Agronomy 51:25-33.
- Salvagiotti, F., P. Prystupa, G. Ferraris, L. Couretot, L. Magnano, D. Dignani, y F.H. Gutierrez Boem. 2017. N:P:S stoichiometry in grains and physiological attributes associated with grain yield in maize as affected by phosphorus and sulfur nutrition. Field Crops Research 203:128-138.



Indicadores de sustentabilidad del suelo en diferentes áreas del centro-sur de la provincia de Córdoba*

Hugo Marelli¹, Juan Arce¹, Patricio Marelli¹ y Belén Conde¹

- *El conocimiento de indicadores apropiados para cada zona permite evaluar los cambios producidos por los sistemas productivos, el manejo y la intensificación productiva.*
- *Las variables químicas y físicas del suelo determinadas individualmente o en conjunto, proporcionan una información sintética sobre un fenómeno ambiental complejo que permite conocer y evaluar el estado y la variación de la calidad del suelo.*
- *En este trabajo se presenta una breve síntesis introductoria del libro recientemente publicado por INTA sobre indicadores de sustentabilidad del suelo en diferentes áreas del centro-sur de Córdoba. Estos indicadores reflejan el estado actual y pueden ser utilizados para establecer líneas bases y comparar su evolución temporal a nivel de lotes de productores.*

Introducción

Una de las funciones económicas del suelo es proporcionar y mantener una buena productividad de los cultivos. El manejo de los suelos, bajo esta premisa, deberá tender a sostener y/o a mejorar la calidad de este recurso natural. Para cuantificarla, se pueden usar indicadores que deben ser medidos para la evaluación de las propiedades físicas, químicas y biológicas, los que deberán ser fáciles de determinar y sensibles a los cambios que generan las prácticas de manejo. El modelo de agricultura sustentable para los próximos años, deberá ser formulado examinando las fortalezas y debilidades del agro-ecosistema, respetando los principios ecológicos básicos.

Debido a su heterogeneidad, el suelo no posee estándares de calidad definidos, por lo que es difícil establecer una medida física, química o biológica que pueda mostrar adecuadamente su nivel de calidad. No obstante, los indicadores químicos y físicos caracterizan sus propiedades y adquieren importancia facilitando el diagnóstico agro-ecológico, especialmente cuando se los analiza en conjunto evaluando su cambio en el largo plazo. El conocimiento de indicadores apropiados para cada zona permite evaluar los cambios producidos por los sistemas productivos, el manejo y la intensificación productiva.

En este trabajo se presentan indicadores de sustentabilidad del suelo en diferentes áreas del centro-sur de Córdoba, incluyendo todas las determinaciones realizadas con sus repeticiones geo-referenciadas. Estos indicadores reflejan el estado actual y pueden ser utilizados como línea de base para comparar su evolución temporal a nivel de lotes de productores.

Materiales y métodos

El periodo del estudio realizado abarcó desde 2007 al 2012 dentro del marco del Proyecto Regional de Gestión Ambiental. Los muestreos de suelo se realizaron en lotes

de productores propuestos por los agentes de extensión del área centro-sur de la provincia de Córdoba (**Figura 1**) vinculados al desarrollo territorial del área de la EEA Marcos Juárez (12 localidades), y del área de la EEA Manfredi (3 localidades). Se seleccionaron lotes bajo secuencias agrícolas en siembra directa más “un suelo de referencia” (bajo alambrado, áreas de vía férrea, potrero, monte o parque) de la misma serie de suelo.

Por diferentes razones operativas, no todos los lotes estudiados presentan todas las variables analizadas. En cada uno de los sitios se tomaron las muestras de suelo a tres profundidades, 0-5 cm; 5-15 cm; y 15-25 cm. Fueron extraídas con barreno de 2.5 cm. de diámetro apartando los residuos superficiales antes de la extracción. Las muestras fueron secadas al aire, molidas a mano, tamizadas por mallas de 2 mm y conservadas a temperatura ambiente. Las determinaciones de Carbono total (Ct) y Nitrógeno total (Nt) se hicieron por el método de combustión con un equipo LECO TRUSPEC.

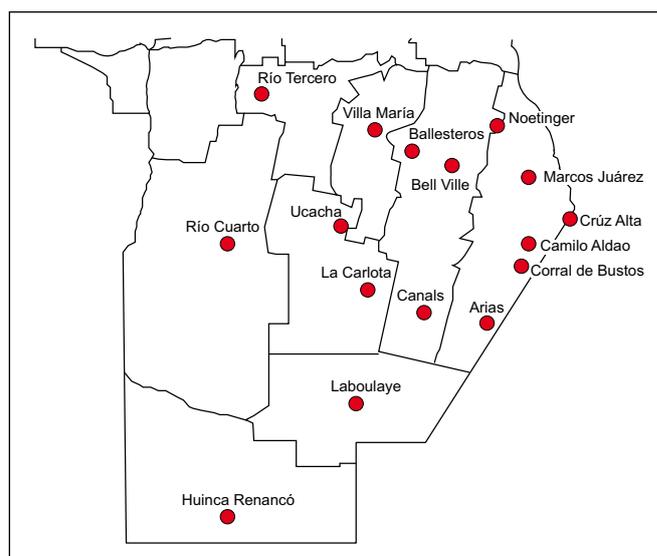


Figura 1. Ubicación de las localidades donde se realizaron los muestreos.

¹ EEA INTA Marcos Juárez. Marcos Juárez, Córdoba, Argentina

* Síntesis del libro homónimo (Marelli et al., 2017), disponible en http://inta.gov.ar/sites/default/files/inta_mj_indicadores_suelos_cba_0.pdf



Figura 2. Ubicación geo-referenciada de los puntos de muestreo en la localidad de Arias.

Las fracciones de materia orgánica particulada (POM) se determinaron siguiendo una adaptación del método propuesto por Cambardella y Elliot (1992) y descrita por Morón y Sawchik (2002). Las determinaciones químicas y físicas de suelo de rutina, incluyendo materia orgánica (MO), nitratos (NO_3), fósforo (P), pH, conductividad eléctrica (CE), azufre (S), potasio (K), humedad edáfica, densidad aparente y estabilidad de agregados se realizaron según las metodologías estandarizadas de INTA. Las determinaciones de los micronutrientes fueron realizadas por espectrometría atómica con DTPA (ácido dietilenotriaminopentaacético) como extractante.

Variables determinadas

- Carbono total (Ct) y Nitrógeno total (Nt), expresado en $\text{t ha}^{-1} \text{ capa}^{-1}$, corregidos por masa equivalente.
- C y N de las fracciones de la MO (C-POM y N-POM): 2000-212 μ , 212-53 μ y 53-0 μ . Valores expresados en $\text{t ha}^{-1} \text{ capa}^{-1}$, corregidos por masa equivalente.
- Micronutrientes: Fe, Mn, Zn, Cu, (Espectrofotometría de Absorción Atómica, DTPA), boro (B) (Azometina).
- Análisis de rutina: MO (Walkley y Black), NO_3^- (Harper), P (Bray y Kurtz-1), S (Turbidimetría), pH, CE.
- Densidad aparente por dos profundidades (0-7 y 7-14 cm), método del doble cilindro.
- Estabilidad de agregados (De Boodt y De Leenher, 1959).

Ubicación y descripción de los predios estudiados

A modo de ejemplo, en la **Figura 2** se muestra el esquema general de muestreo en la localidad de Arias. En todos los casos se tomaron registros de latitud y longitud geo-referenciando los sitios de muestreo.

Resultados

A continuación, se presentan algunos resultados parciales para algunos indicadores. Se recomienda al lector consultar la información completa en Marelli et al. (2017).

Contenidos de carbono y nitrógeno

Utilizando el método de interpolación con ponderación inversa a la distancia, se realizaron mapas de isolíneas del Ct a diferentes profundidades. La interpolación mediante distancia inversa ponderada determina los valores a través de una combinación ponderada linealmente de un conjunto de puntos de muestra (**Figura 3**).

A modo de ejemplo, en la **Figura 4**, se muestran los valores de Ct ($\text{t ha}^{-1} \text{ capa}^{-1}$) a las tres profundidades y para tres localidades de muestreo y dos situaciones del suelo bajo agricultura. En el análisis del Ct se tiene en cuenta el espesor de la capa considerada.

Las situaciones con historia de agricultura, como era de esperarse, mostraron valores menores en todos los indicadores cuantificados, con diferente sensibilidad relativa respecto de la situación de referencia (**Figura 5**).

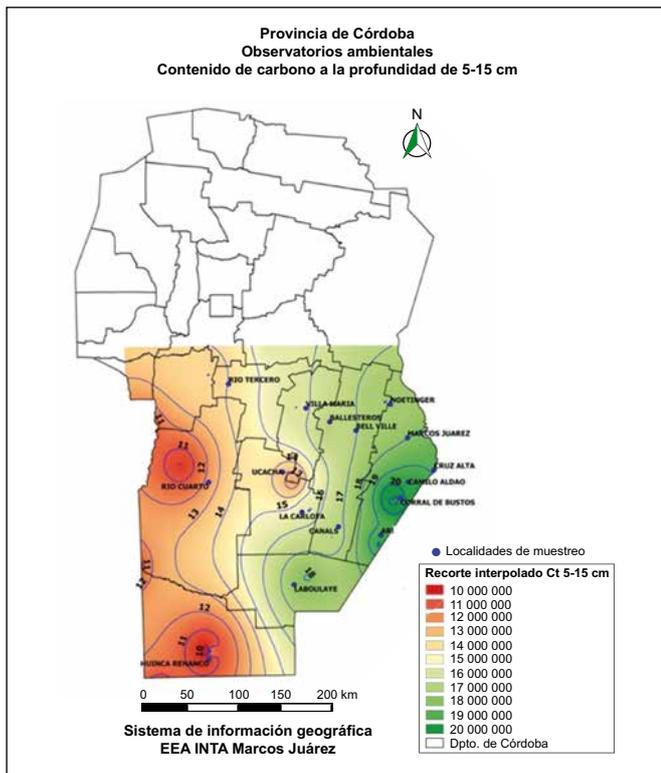


Figura 3. Isolíneas de stock de C ($t\ ha^{-1}\ capa^{-1}$, 5-15 cm). Equidistancia de $1\ t\ ha^{-1}\ capa^{-1}$.

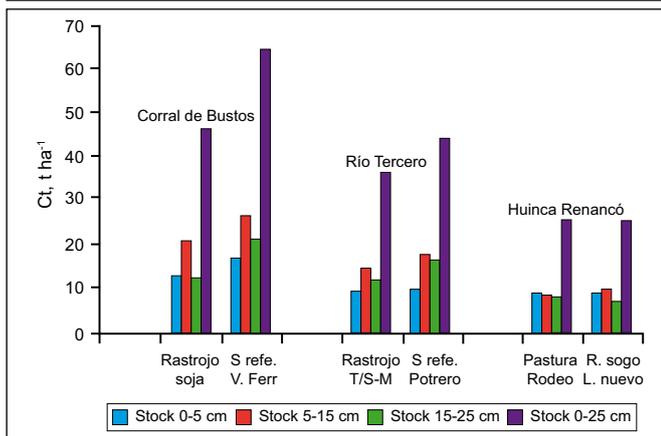


Figura 4. Stocks promedio de Ct para distintas profundidades de muestreo en tres localidades selectas del estudio y bajo dos situaciones (agrícola y referencia).

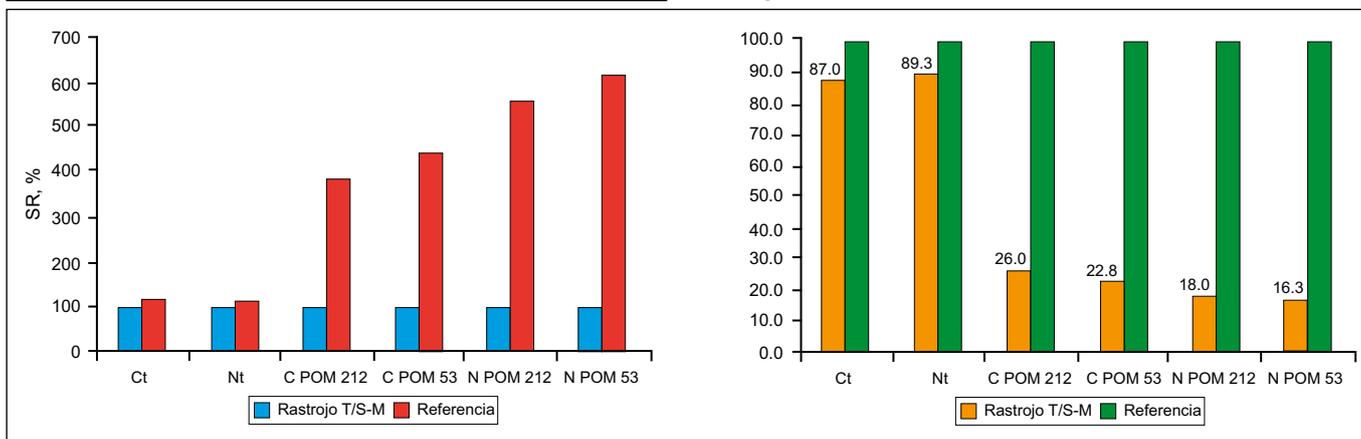


Figura 5. Sensibilidad relativa (SR) de distintos indicadores de calidad de suelos relacionados a C y N (Ct, Nt, y fracciones de C y N particulado) respecto de la situación de referencia (100%) para la localidad de Río Tercero. Profundidad 0-15 cm.

En este sentido, Ct y Nt mostraron ser las variables menos sensibles, mientras que las fracciones particuladas expresaron la mayor sensibilidad.

Niveles de P extractable

En la **Figura 6**, se muestra la relación del P extractable del suelo a tres profundidades de muestreo, para tres localidades y diferentes condiciones de uso.

Micronutrientes

A modo de ejemplo, se muestran los valores de Zn para la profundidad 5-15 cm por localidad. Entre los factores que influyen en la disponibilidad del Zn, deben mencionarse el pH, textura y composición química del suelo (**Figura 7**).

Comentarios finales

- El estudio realizado en diferentes áreas del centro-sur de Córdoba mostró mayores valores de Ct del suelo “de referencia” en comparación con las situaciones de uso agrícola.
- Los indicadores C-POM y N-POM para los suelos de referencia presentaron valores mayores que en los suelos agrícolas. Estos indicadores podrían ser más sensibles para detectar diferencias en calidad de suelos.
- La distribución relativa del carbono de las fracciones de la MO (C-POM) dentro del C total, muestran una mayor proporción ocupada por las fracciones más estables (C-MAOM) en los lotes más deteriorados y con mayor uso en agricultura. Los suelos de referencia muestran los menores valores de C en estas fracciones.
- Se apreció una estratificación marcada, con mayores valores de P en 0-5 cm de profundidad.
- Entre los micronutrientes, en general, los contenidos de B, Cu y Fe superaron el valor crítico. El Zn mostró niveles por sobre el valor crítico reportado para la región pampeana, salvo para tres localidades.
- La degradación estructural promedio del suelo, medida a través del Cambio del diámetro medio ponderado de agregados (CDMP), muestra un valor de 0.436 para los suelos de referencia y de 0.702 para los suelos de uso agrícola.

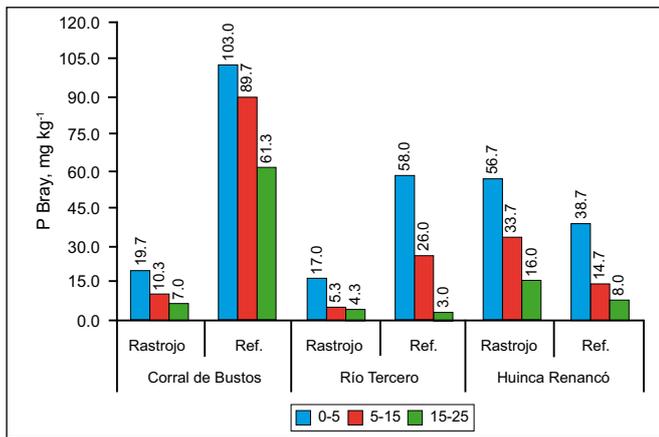


Figura 6. Niveles de P extractable Bray-1 a distintas profundidades de muestreo en tres sitios selectos.

- Los mapas generados por el método de ponderación inversa muestran la variabilidad espacial de los nutrientes, permitiendo identificar aproximadamente áreas de concentración o déficit de los mismos.
- Muestreos futuros de suelo permitirán estimar la evolución de sus patrones de distribución.

Bibliografía

Cambardella, C.A. y E.T. Elliott. 1992. Particulate Soil organic-Matter Changes across a Grassland Cultivation Sequence. Soil Sci. Soc. Am. 1. 56:777-783.

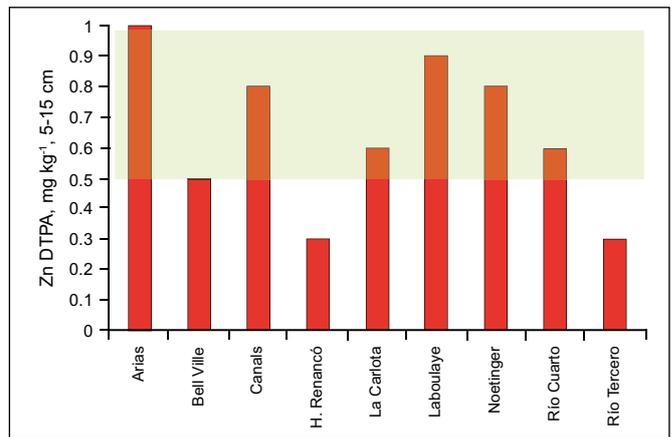


Figura 7. Contenido de Zn (extractable DTPA) por localidad a 5-15 cm. La franja sombreada horizontal indica un rango de suficiencia (0.5-1 ppm) para profundidades de 0-20 cm.

De Boodt, M. y L. De Leenher. 1959. Determination of aggregate stability by the change in mean weight diameter. Proc. Int. Symp. On soil structure. Mededelingen van de Landbouhogeschool. Gent. Belgica.

Marelli, H.J., J.M. Arce, P.M. Marelli, y M.B. Conde. 2017. Indicadores de sustentabilidad del suelo en diferentes áreas del centro-sur de la provincia de Córdoba. Información para extensión en línea No. 20. Colección divulgación. INTA Ediciones. ISSN: 2250-8511. Disponible en: http://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_mj_indicadores_suelos_cba_0.pdf

Cursos y Simposios

1. ASA-CSSA-SSSA Meetings: Managing Global Resources for a Secure Future

Organiza : ASA-CSSA-SSSA
Lugar : Tampa, Florida, EE.UU.
Fecha : Octubre, 22-25, 2017
Información : <https://www.acsmeetings.org>

3. XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo

Organiza : AACS
Lugar : San Miguel de Tucumán, Argentina
Fecha : Mayo, 15-18, 2018
Información : www.congresosuelo2018.org

2. Fertilizer Latino Americano - 2018

Organiza : ARGUS -CRU
Lugar : Sao Paulo, Brasil
Fecha : Enero, 22-24, 2018
Información : <http://www.argusme>

Para enterarse de nuestros eventos, publicaciones y noticias favor suscribirse en: nla.ipni.net/subscribe

Todas nuestras publicaciones puede encontrarlas en: nla.ipni.net/topic/publications



Publicaciones Disponibles IPNI-Norte de Latinoamérica

Titulo de la Publicación	Costo (U\$S)
<p>NUEVA REIMPRESIÓN: Guía de Campo, Síntomas de Deficiencias Nutricionales y otros Desórdenes Fisiológicos del Cultivo de Banano. Guía de Campo para técnicos y agricultores que permite identificar en el campo los síntomas de deficiencia nutricional, conocer algo de sus causas y como éstas podrían prevenirse o remediarse.</p>	10.00
<p>Manual de Arroz. Desórdenes Nutricionales y Manejo de Nutrientes: Esta publicación contiene información que permite desarrollar estrategias de manejo nutricional y recomendaciones de fertilización del arroz cultivado en regiones tropicales y subtropicales. Guía Práctica para el Manejo de Nutrientes en Arroz: Contiene una discusión concisa y muy práctica de las estrategias de manejo nutricional y recomendaciones de fertilización del arroz cultivado en regiones tropicales y subtropicales. Excelente herramienta de apoyo en el contacto diario con los agricultores.</p>	45.00
<p>Palma de Aceite. Manejo para Rendimientos Altos y Sostenidos: La palma de aceite es uno de los cultivos con mayor expectativa de crecimiento a nivel mundial, existe una gran demanda entre los palmicultores y agrónomos por conocimientos y publicaciones sobre su manejo adecuado.</p>	45.00
<p>Guía de Campo, Serie en Palma Aceitera, Volumen 1: Vivero. Guía de campo preparada específicamente para uso práctico en el manejo diario de la palma aceitera. El volumen 1 cubre el manejo del vivero para producir plántas de calidad que deben estar disponibles para la siembra en el campo en el momento requerido.</p> <p>Guía de Campo, Serie en Palma Aceitera, Volumen 2: Fase Inmadura. Guía de campo preparada específicamente para uso práctico en el manejo diario de la palma aceitera. El volumen 2 cubre el manejo de la fase inmadura de la plantación para lograr una población uniforme de palmas productivas en cada bloque del campo.</p> <p>Guía de Campo, Serie en Palma Aceitera, Volumen 3: Fase Madura. Guía de campo preparada específicamente para uso práctico en el manejo diario de la palma aceitera. El volumen 3 cubre el manejo de la fase madura de la plantación para lograr rendimientos sostenidos de racimos de fruta fresca a través de toda la etapa productiva del cultivo.</p>	45.00
<p>4R de la Nutrición de Plantas: El concepto de los 4R, los 4 Requisitos, del "MANEJO RESPONSABLE DE NUTRIENTES" es un enfoque nuevo e innovador para las mejores prácticas de manejo de los fertilizantes adoptado por la industria mundial de fertilizantes. Este enfoque considera dimensiones económicas, sociales y ambientales del manejo de nutrientes y es esencial para la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. El concepto es simple—aplicar la fuente correcta de nutrientes, en la dosis, el momento y el lugar correctos—pero la implementación usa el conocimiento en forma intensiva y es específica para cada sitio.</p>	30.00
<p>Manual Internacional de Fertilidad de Suelos: Publicación didáctica sobre uso y manejo de suelos y fertilizantes con datos y ejemplos de diferentes partes del mundo</p>	15.00
<p>Uso Eficiente de Nutrientes: Esta publicación resume el estado del conocimiento con respecto a la eficiencia de uso de nutrientes en las Américas y discute el contexto contemporáneo dentro del cual se deben manejar los nutrientes.</p>	15.00
<p>Nutrición y Fertilización del Mango: Esta publicación ofrece información básica para el manejo de la nutrición y fertilización del mango tomando en cuenta las particulares características de desarrollo de este cultivo en el trópico.</p>	15.00
<p>Vea el catálogo completo de publicaciones del IPNI en http://nla.ipni.net</p>	