

Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica



IAH 29 - Abril 2018



En este número

- Nutrición y variabilidad espacial en colza
- Concentración de nutrientes en stevia
- Fertilización fosfatada en pasturas
- Inclusión de cultivos de cobertura

Archivo Agronómico #17

- Fertilización para altos rendimientos de arroz

IAH 29 - Abril 2018

Editores:

Dr. Fernando O. García - IPNI Cono Sur

Dr. Raúl Jaramillo - IPNI Norte de Latinoamérica

Ing. Agr. Adrián Correndo - IPNI Cono Sur

Editor invitado:

Dr. Armando Tasistro - Ex-Director IPNI México y América Central

Oficina para el Cono Sur de Latinoamérica
Av. Maipú 1864, Cpo 1 - Piso 17 - Depto. 1
(B1602ABR) Florida
Buenos Aires - Argentina
Telf/Fax.: 54 11 4791 2615
Correo electrónico: lacs@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>

Contenido

Limitantes nutricionales y variabilidad espacio-temporal del rendimiento en colza 3

R. Melchiori, L. Coll, S. Albarenque, J. Pautasso, y A. Kemerer

Concentración de nutrientes en tres variedades de stevia [*Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni] cultivadas en un Ultisol 9

C.J. Villalba-Martínez, y E. Oroa-Pfefferkorn

Sistema de soporte para la recomendación de fertilización fosfatada en pasturas 14

R. Cuadro, J.H. Molino, y A. Quincke

Inclusión de cultivos de cobertura en secuencias agrícolas del sudeste de Córdoba (Argentina) 18

C.R. Cazorla, T. Baigorria, H. Videla Mensegue, A. Canale, J. Ortiz, y V. Pegoraro

Cursos y Simposios 23

Publicaciones Disponibles 24

Archivo Agronómico # 17

Fertilización para altos rendimientos de arroz en la región templada argentina

C. Quintero

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.

Foto de tapa: Cosecha de arroz en Entre Ríos (Argentina). Gentileza Dr. Cesar Quintero

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>

Fertilización para altos rendimientos de arroz en la región templada argentina

César Quintero*

- *Un plan de fertilización para altos rendimientos supone que los factores que definen el rendimiento y los que lo limitan están debidamente controlados. Esto implica que las expectativas de respuesta a las prácticas de fertilización son altas.*
- *Con las variedades y las prácticas utilizadas actualmente, una meta de rendimiento promedio de 8000 kg ha⁻¹ es alcanzable razonablemente.*
- *Los nutrientes nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y zinc (Zn) son frecuentemente deficitarios en Argentina. Así, este artículo propone una serie de recomendaciones de manejo de los mismos en esquemas de altos rendimientos del cultivo de arroz.*

Introducción

En la actualidad la productividad media de arroz en Argentina está estancada en menos de 50% de su potencial productivo. No hay un único factor limitante, sino un conjunto de factores acumulados que reducen el rendimiento. Todos los factores de la producción deben ser considerados para aspirar a altos rendimientos y, dentro de ellos, la fertilización es clave para incrementar los rindes. Con un ajuste minucioso de las prácticas de manejo es posible llegar a producciones del 80% del potencial (11 000 kg ha⁻¹). Algunos productores, en superficies importantes, cosechan hoy al menos 9000 a 10 000 kg ha⁻¹.

En ensayos de parcelas se ha llegado a recolectar 13 000 a 15 000 kg ha⁻¹. Esto quiere decir que una meta de rendimiento promedio de 8000 kg ha⁻¹ es alcanzable razonablemente, con las variedades y las prácticas utilizadas actualmente. Se dispone de tecnología y conocimientos suficientes, pero se requiere de un seguimiento y control minucioso de todos los puntos y aspectos que hacen al rendimiento.

Factores que determinan o definen el rendimiento potencial alcanzable

Existen factores determinantes del rendimiento que son definitorios (**Figura 1**). Por un lado, está la calidad del ambiente, integrado por las características propias del sitio: el suelo, la rotación y la calidad del agua de riego. Por otro lado, está el cultivo definido por su ciclo, la fecha de emergencia, y el número de plantas logradas por unidad de superficie.

En lo que refiere al suelo, existen zonas con suelos alcalinos (pH > 7), con exceso de calcio (Ca) [$> 80\%$ de la capacidad de intercambio catiónico (CIC)] y/o sodio (Na) ($> 8\%$ de la CIC) o algo salinos a salinos (CE > 1.5 dS m⁻¹), donde se ve limitado el rendimiento. En otras situaciones existen algunos suelos muy lavados, ácidos (pH < 5.5), muy insaturados y otros lugares de cultivo con suelos "esqueléticos" de muy baja CIC y materia

orgánica (MO), donde el rendimiento alcanzable es menor.

La fecha de emergencia y el ciclo de la variedad determinan el potencial para aprovechar la oferta de radiación solar y el escape a condiciones adversas como el frío o las altas temperaturas. Las variedades tradicionales tienen buena capacidad de macollaje y unas 200 plantas por m², bien distribuidas en el espacio, resultan suficientes para lograr altos rendimientos. Un número de plantas que no limite el rendimiento es crucial; por lo cual se recomienda utilizar semillas de alta calidad y sembrar a una profundidad y densidad uniforme.

Factores que limitan el rendimiento potencial

Una vez establecido el cultivo en fecha y densidad apropiada, en un ambiente propicio; el rendimiento puede ser limitado por la disponibilidad de nutrientes y de agua. Demás está decir que el riego en arroz es muy importante y que los trabajos previos de emparejado del terreno y correcta nivelación son fundamentales para manejar adecuadamente el agua teniendo también beneficios indirectos sobre el control de malezas y uso eficiente del nitrógeno (N).

Los nutrientes N, P, K y Zn son frecuentemente deficitarios en Argentina. El N es el elemento más limitante y su aplicación es ineludible para alcanzar altos rendimientos. El K y el Zn se presentan deficientes en algunas situaciones, sobre todo en suelos de pH ligeramente alcalino con exceso de Ca. Es menos frecuente la deficiencia de P dado que los suelos tienen gran capacidad de liberarlo cuando se inunda. Sin embargo, en suelos de baja MO y pH > 6.5 , o cultivo de arroz continuo; la disponibilidad de P es baja y limita el rendimiento.

Es sumamente importante asegurar una oferta de nutrientes adecuada desde la germinación del cultivo para lograr una elevada tasa de crecimiento y absorción de N en los estadios tempranos. Esto permite aprovechar la radiación incidente, generar tallos y

* Facultad de Ciencias Agropecuarias, UNER, Entre Ríos, Argentina
Autor de contacto. Correo electrónico: cquintero@fca.uner.edu.ar

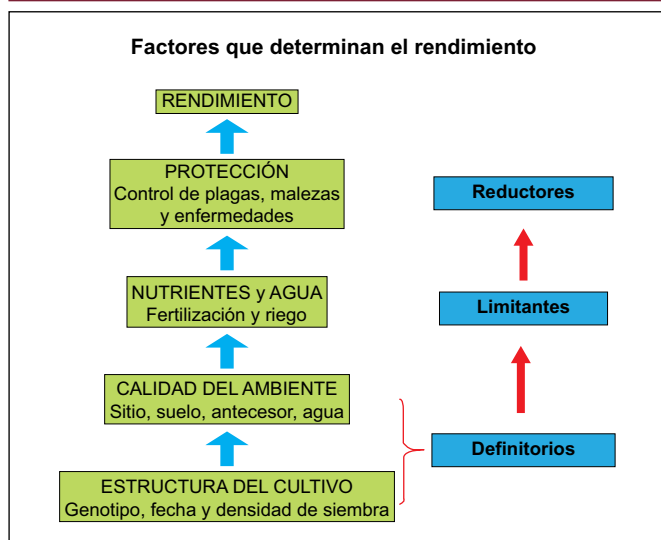


Figura 1. Esquema conceptual de los factores que afectan el rendimiento del cultivo de arroz.

macollos, y acumular biomasa que luego se translocará a los granos. La confluencia de días largos de mucho sol y buena dotación de N en el suelo, cuando se inicia el periodo reproductivo y durante la floración, asegura la formación de un número elevado de panojas y de granos llenos.

Factores que reducen el rendimiento

Aun cuando los factores definitorios y limitantes del rendimiento se encuentren en niveles óptimos, existen otros factores que pueden reducir el rendimiento tales como los insectos, las enfermedades y las malezas. Para estos hay que tomar medidas de protección y control. En arroz, el factor sanitario más importante que reduce los rendimientos son las malezas gramíneas.

Las enfermedades y los insectos que atacan a las plántulas también deben ser tratados con suma importancia, dado que afectan un factor definitorio del rendimiento como es el número de plantas logradas. Para esto son fundamentales los tratamientos preventivos con fungicidas e insecticidas en semillas. Por otro lado, se debe monitorear la presencia de insectos y enfermedades que reducen el área foliar fotosintéticamente activa para así captar toda la energía solar posible.

Finalmente, se deben controlar los insectos y las enfermedades que atacan a los granos en formación o impiden la translocación de los fotoasimilados, dado que afectan el rendimiento y también la calidad del grano.

¿Cómo hacer un plan de fertilización de arroz para altos rendimientos?

Un plan de fertilización para altos rendimientos supone que los factores que definen el rendimiento y los que lo limitan están debidamente controlados. Esto implica que las expectativas de respuesta a las prácticas de fertilización son altas. Esta situación se da cuando se siembran variedades de alto potencial de rendimiento, en una época y densidad adecuada, con ajustado manejo del riego, malezas, insectos y enfermedades.

Lo primero que se debe observar para evaluar las expectativas de respuesta a un plan de fertilización es el rendimiento actual. Si los rendimientos de los últimos años son inferiores a 5000 kg ha^{-1} , seguramente existen limitaciones importantes que solucionar antes de iniciar un plan de fertilización de altos rendimientos, y las expectativas de respuesta son bajas. En esta situación, factores definitorios como la fecha de siembra o la densidad tienen un gran peso, y posiblemente otros factores reductores también contribuyan a una menor productividad (**Tabla 1**).

Para reducir algunas limitaciones de sitio, primeramente se debe indagar sobre la condición físico-química del suelo. Un indicador sencillo para evaluar esto es el pH: con $\text{pH del suelo} > 6.5-7.0$ posiblemente existan limitaciones por exceso de Ca o Na.

Si los suelos son dispersivos por exceso de Na, es recomendable la aplicación de yeso (sulfato de calcio) como enmienda, para mejorar la condición física del suelo, ayudando a la implantación del cultivo. En contraste, si el suelo es ácido ($\text{pH} < 5.5$) y la saturación de bases es inferior al 50-60%, se debe aplicar cal dolomítica (carbonato de Ca/Mg) para reducir la toxicidad de aluminio (Al). Las cantidades de enmienda a aplicar (yeso o cal) varían según el tipo de suelo, generalmente entre 2 y 4 t ha^{-1} ; y para ello se deben tener en cuenta todos los cationes intercambiables y la CIC.

Otra propiedad del suelo a mirar inicialmente es la conductividad eléctrica (CE) que es un indicador de la salinidad del mismo. $\text{CE} > 1.5-2.0 \text{ dS m}^{-1}$, reduce la germinación y las plantas logradas, incrementa la esterilidad y disminuye el peso de los granos. En este caso no es recomendable aplicar enmiendas, sino utilizar agua de baja salinidad, incrementando la cantidad y la frecuencia de riego. La salinidad es acompañada frecuentemente de deficiencias de Zn, P y K.

Tabla 1. Relación entre el rendimiento actual, los factores limitantes y la expectativa de respuesta a la fertilización.

Rendimiento actual, kg ha^{-1}	Diagnóstico	Expectativa de respuesta
< 5000	Varios factores definitorios y reductores, limitan el rendimiento	Baja
5000-6000	Algunos factores definitorios y reductores, limitan el rendimiento	Media
7000-8000	Algunos factores reductores, limitan el rendimiento	Alta
> 8000	Muy buen ajuste y control de las prácticas de manejo	Muy alta

Tabla 2. Consumo total de nutrientes por tonelada de grano producida. Para Entre Ríos, datos propios y reportes anteriores (Quintero, 2009) y datos no publicados. Datos de Asia tomados de Dobermann y Fairhurst, (2000) y de EE.UU. del IPNI.

	N	P	K	Zn
	----- kg t ⁻¹ -----			g t ⁻¹
Promedio Entre Ríos	14 (+/- 2.8)	3 (+/- 0.7)	13 (+/- 4.5)	43 (+/- 20)
Promedio Asia	18	3	17	50
Promedio EE.UU.	22	3	26	40

Tabla 3. Interpretación del análisis de suelo y recomendación de fertilización para P en arroz. Dosis de P en kg ha⁻¹.

Características del suelo	----- P disponible - Bray (ppm) -----		
	< 5	5-10	> 10
Materia orgánica < 3.5% y/o pH > 6.5	20-30	15-20	10-15
Materia orgánica > 3.5% y/o pH < 6.5	15-20	10-15	10

Tabla 4. Interpretación del análisis de suelo y recomendación de fertilización para K en arroz.

K intercambiable cmol ₍₊₎ kg ⁻¹	K disponible mg kg ⁻¹	Saturación K %	Calificación	Dosis K kg ha ⁻¹
< 0.15	60	< 1.5	Bajo	55-70
0.15-0.25	60-90	1.5-2	Medio	40-55
0.25-0.45	90-180	2-2.5	Alto	30-40
> 0.45	> 180	> 2.5	Muy alto	< 30

Recomendaciones de fertilización para expectativas de alta a muy alta respuesta

Por el momento, las experiencias locales y regionales han mostrado que los elementos más importantes que pueden limitar el rendimiento de arroz son el N, el P, el K y el Zn. Sus requerimientos locales han sido establecidos (Tabla 2). Un programa de fertilización debe contemplar la disponibilidad y necesidad de estos cuatro nutrientes.

Fósforo (P)

La inundación durante el cultivo de arroz provoca condiciones de anaerobiosis que favorecen una mayor disponibilidad de P. Los suelos bien dotados de materia orgánica, como los de Entre Ríos, pueden desarrollar gran poder reductor y mineralizar cantidades de P suficientes como para cubrir los requerimientos del arroz a expensas de las reservas de P orgánico y no responder a la aplicación de P. Sin embargo, cuando esa fracción se agota o los suelos son genéticamente pobres en materia orgánica, el P liberado es insuficiente.

Por otro lado, en suelos de pH superior a 7.0, la respuesta a P ha sido significativa (Quintero et al., 2015). En estas condiciones, al haber muy poco Fe activo para reducir, la liberación de P que se produce por la anaerobiosis es escasa (Quintero et al., 2007). Coincidentemente en Arkansas (EE.UU.), Norman et al. (2003), reconocen que los análisis de P extractable no son efectivos para el arroz;

sosteniendo que el pH del suelo es un mejor estimador de la respuesta, y recomiendan mayores dosis de P cuando el pH del suelo es superior a 6.5.

En base a estas experiencias es que se propone en la **Tabla 3**, una interpretación y recomendación basada en la cantidad de P extractable, la materia orgánica y el pH de los suelos.

Dado que las fuentes de fertilizantes de P tienen distinta reacción en el suelo, se recomienda la utilización de fosfato mono amónico (MAP) por su reacción ácida, en los suelos de pH > 6.5 y fosfato di amónico (DAP) por su reacción alcalina, en los suelos de pH < 6.5. Tanto DAP (20% P) como MAP (22% P) son aplicados a la siembra en líneas.

Potasio (K)

Los requerimientos de K de un arroz de alto rendimiento son del orden de los 120 a 150 kg ha⁻¹, pero un arroz bien nutrido puede absorber más de 200 kg ha⁻¹. El K juega un rol fundamental en la expansión celular y en el desarrollo de aerénquima funcional, así como en la translocación de los fotoasimilados hacia los granos.

La deficiencia de K se presenta por dos condiciones: 1) Por baja disponibilidad, y 2) Por mala relación con los cationes de cambio como Ca, Mg y/o Na. La disponibilidad se debe analizar tanto en base al valor de K intercambiable como por la proporción de K sobre la CIC. Para evaluar la

disponibilidad y hacer recomendaciones de fertilización potásica se puede utilizar como guía la **Tabla 4**.

Independientemente de la disponibilidad de K, en los suelos donde se observen reacciones alcalinas ($\text{pH} > 7$) por exceso de Na o Ca, o en situaciones de salinidad ($\text{CE} > 1.5 \text{ dS m}^{-1}$), se recomienda la aplicación de un mínimo de 30 kg ha^{-1} de K.

La fuente más utilizada es el cloruro de potasio (50% K) aplicado a la siembra o previo al riego.

Zinc (Zn)

Las condiciones de anaerobiosis del suelo que se establecen en el cultivo de arroz determinan que la disponibilidad de Zn se vea disminuida. Por ello es muy frecuente la respuesta a la aplicación de Zn en arroz a nivel mundial. En los suelos donde se cultiva arroz en Entre Ríos, es frecuente encontrar áreas donde las plantas al emerger, presentan una clorosis que retarda su crecimiento y en algunos casos llega a provocarles la muerte. Estos síntomas están asociados a suelos con $\text{pH} > 6.5$, con visibles y abundantes concreciones de CaCO_3 en superficie y se agravan cuando ocurren bajas temperaturas, lluvias excesivas, o se aplican altas dosis de P. Síntomas similares se pueden observar en zonas de suelos salinos, sódicos y/o alcalinos de Santa Fe y Corrientes. Esta sintomatología

está relacionada a la baja disponibilidad de Zn y a la baja actividad metabólica del Zn en la planta por exceso de Ca, y ha podido ser corregida mediante la aplicación de Zn a las semillas. El tratamiento de las semillas con Zn, ha mostrado una respuesta promedio de 350 kg ha^{-1} en Entre Ríos y el grado de adopción de esta práctica entre los productores es superior al 60%. En suelos deficientes, la complementación con aplicaciones foliares de fertilizantes con Zn, aporta beneficios adicionales, con respuestas medias de 400 a 800 kg ha^{-1} . La dosis de Zn a aplicar es de 200 a 400 g ha^{-1} . Las fuentes disponibles (óxidos, y quelatos) tienen similar respuesta.

Dado la deficiencia y respuesta generalizada, se recomienda el tratamiento de semillas con Zn de manera generalizada también. Las condiciones de mayor respuesta se observan en suelos con Zn (extraído con EDTA) $< 0.8 \text{ mg kg}^{-1}$ y/o $\text{pH} > 6.5$.

Nitrógeno (N)

Habiendo corregido las deficiencias con los aportes necesarios de P, K y Zn, el N es el elemento que permitirá alcanzar los potenciales de producción con las mayores respuestas. La deficiencia de N es generalizada y muy pocos suelos pueden aportar cantidades suficientes para altos rendimientos de arroz. La dosis de N a aplicar depende la capacidad del suelo para aportar N al cultivo

Tabla 5. Interpretación del análisis de suelo y recomendación de fertilización para N en arroz.

Materia orgánica del suelo %	Aporte de N del suelo ----- kg ha ⁻¹ -----	Rendimiento sin N kg ha ⁻¹	Dosis N
> 4.5	110-150	8000-10 000	40-60
2.5-4.5	70-110	5000-8000	60-100
< 2.5	< 70	< 5000	> 100

Tabla 6. Efecto de distintos momentos de fertilización con urea en arroz sobre los componentes de rendimiento. Promedio de 12 ensayos.

Tratamiento	Panojas # m ²	Granos # panoja	Vanos %	P1000 gr	Rendimiento kg ha ⁻¹	IC %
N-0 Testigo	369 a	95 a	9.8 a	26.2 a	6948 a	61 ab
N-70 Pre riego	395 a	105 b	10.6 a	26.8 a	8279 b	59 a
N-70 Diferenciación	427 c	105 b	12.6 b	26.4 a	8484 b	64 b

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$). Test: LSD Fisher., IC: Índice de cosecha

Tabla 7. Efecto de distintos momentos de fertilización con urea en arroz sobre la absorción de N. Promedio de 12 ensayos.

Tratamiento	N absorbido kg N ha ⁻¹	Eficiencia agronómica de N kg grano kg ⁻¹ N aplicado	Eficiencia de recuperación de N kg N absorbido kg ⁻¹ N aplicado	N absorbido por toneladas de grano kg grano t ⁻¹ grano
N-0 Testigo	86 a			12.4 a
N-70 Pre riego	108 b	19.0 a	0.31 a	13.0 ab
N-70 Diferenciación	112 b	21.9 a	0.37 a	13.2 b

Para cada columna, letras indican diferencias significativas ($p < 0.05$) según test de DMS Fisher

y de la variedad por su susceptibilidad al vuelco o a enfermedades (**Tabla 5**).

La aplicación de N en el momento oportuno es tan importante en el manejo eficiente de este nutriente como la fuente o la dosis aplicada. Existen tres momentos propicios para incorporar el N en el cultivo de arroz: a la siembra, en V_3 - V_4 previo al riego o en R_0 - R_1 diferenciación de la panícula.

La fuente nitrogenada más utilizada en fertilización de arroz es la urea (46-0-0). En numerosos trabajos se muestra la conveniencia de utilizar esta fuente dado que tiene el N en forma amónica y no se vería afectado significativamente por la desnitrificación en un ambiente reductor como el de arroz. La bibliografía internacional indica que lo más conveniente es hacer una única aplicación previa al riego o aplicar un 50 a 65% de la dosis en pre-riego y el resto en diferenciación. Las recomendaciones que surgen a partir de las investigaciones en EE.UU., muestran que la fertilización previa a la inundación es la más efectiva si se realiza sobre suelo seco y se inunda antes de los 5 días de aplicado el N. El arroz debe mantenerse inundado y en anaerobiosis para reducir las pérdidas de N. Cuando el agua no satura la superficie de manera continua, las pérdidas de N pueden ser altas y por lo tanto la efectividad menor (Norman et al., 2003). Sin embargo, experiencias recientes en Argentina indican que la aplicación de N en diferenciación de panícula puede ser tanto o más efectiva que la de pre-riego (**Tablas 6 y 7**).

Las experiencias locales muestran que es conveniente aplicar una pequeña cantidad de N a la siembra (10 - 25 kg ha^{-1}) para lograr un buen crecimiento inicial sobre todo en suelos pobres bajo cultivo continuo de arroz. Es sumamente importante la aplicación del 50 a 65% del N programado en V_3 - V_4 previo al riego. La aplicación de R_0 - R_1 o diferenciación de la panícula, permite ajustar la dosis final de N, en función de las características del año y la respuesta del cultivo.

Comentarios finales

Las condiciones de inundación y las bajas exigencias del arroz determinan que su cultivo sea posible en suelos considerados no aptos para otros cereales. Esto lleva a una alta intensidad de uso del suelo y monocultivo en muchas situaciones, con lo cual los problemas de fertilidad son crecientes. Elementos como N, P, y Zn se agotan rápidamente del sistema si no se reponen adecuadamente.

Un plan de fertilización para altos rendimientos de arroz debe estar basado en condiciones de manejo del cultivo adecuadas para tener una moderada expectativa de respuesta que repercuta en retornos económicos positivos.

Bibliografía

- Dobermann, A., y T. Fairhurst. 2000. Rice: Nutrient disorders and nutrient management. PPI-PPIC and IRRI. Singapore and Los Baños.
- Norman, R., C. Wilson, y N. Slaton. 2003. Soil fertilization and Mineral nutrition in U.S. Mechanized rice culture. In: Rice: Origin, History, Technology, and Production. Smith, C.W. and Dilday, R. H. Ed. pp. 331-411.
- Quintero, C. 2009. Factores limitantes para el crecimiento y productividad del arroz en Entre Ríos, Argentina. Tesis Doctoral. Ediciones de la Fundación para el Desarrollo Agropecuario. ISBN: 978-987-25076-1-9. 167 p. Versión digital <http://hdl.handle.net/2183/5680>. ISBN: 978-84-692-8861-0.
- Quintero, C., F.H. Gutiérrez-Boem, M. Befani, y N. Boschetti. 2007. Effects of soil flooding on phosphorus availability in soils of Mesopotamia, Argentina. J. Plant Nutr. Soil Science. 170:500-505. SIN: 0213-4497.
- Quintero, C.E., M.A. Zamero, G. van Derdonckt, G. Boschetti, M.R. Befani, E. Arévalo, y N. Spinelli. 2015. Fertilización balanceada de arroz en Entre Ríos. Revista Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica. Versión Cono Sur. IAH-17:20-23.



(Fotografías gentileza de C. Quintero)

Limitantes nutricionales y variabilidad espacio-temporal del rendimiento en colza

Ricardo Melchiori^{1*}, Leonardo Coll¹, Susana Albarenque¹, Juan Pautasso², y Alejandra Kemerer¹

- *La información agronómica desarrollada para el cultivo de colza es aún escasa en Argentina.*
- *Analizar el efecto de las limitantes nutricionales y de propiedades físicas sobre la variación espacial del rendimiento de colza permitiría diseñar mejores estrategias de manejo de la fertilización.*
- *La variabilidad espacial del rendimiento del cultivo de colza puede reducirse mediante una fertilización que cubra los requerimientos nutricionales del cultivo, mientras que la misma práctica tiende a incrementar la variabilidad entre años, aunque este efecto no es negativo. Esta mayor variabilidad temporal es producto de que cuando no existen limitaciones nutricionales, en los años buenos se logran obtener los beneficios de estas condiciones ambientales alcanzándose rendimientos más altos.*

A pesar de su relevancia internacional como una de las principales oleaginosas, la información agronómica desarrollada para el cultivo de colza es escasa en Argentina. Esto constituye un problema ya que esta especie es útil como alternativa invernal y como parte de la intensificación de las secuencias agrícolas. La alternancia de este cultivo con el trigo permitiría reducir la incidencia de enfermedades y malezas, pero sobre todo mejorar los rendimientos de los cultivos de segunda en las secuencias agrícolas dado que la colza, como antecesor, posibilita una siembra anticipada del cultivo de soja o maíz de segunda.

En la provincia de Entre Ríos, aunque los rendimientos medios de colza han aumentado sistemáticamente en los últimos años, el área dedicada a este cultivo es muy baja (BCER, 2017). Aspectos relacionados con el desconocimiento del manejo agronómico y/o las dificultades financieras de los productores han conspirado contra una mayor expansión del área sembrada. Otro aspecto quizás determinante, es la elevada variabilidad de los rendimientos tanto entre años, así como también entre sectores distintos de los lotes en un determinado año.

Dentro de las variables ambientales que más influyen en los rendimientos de colza se ha mencionado a la temperatura durante el periodo reproductivo, mientras que las precipitaciones tendrían un rol secundario (Coll y Caviglia, 2013; Weymann et al., 2015). La temperatura además de determinar la duración de las etapas de crecimiento, afecta la producción de fotoasimilados para la formación de las semillas. Sin embargo, otros antecedentes destacan el rol de la disponibilidad hídrica sobre el rendimiento, aunque esta información proviene de zonas con clima más continental o de áreas de suelos someros (Hoffmann et al., 2015; Takashima et al., 2013).

Es probable que la variabilidad temporal de los rendimientos de colza tenga a la temperatura y la disponibilidad hídrica como sus principales fuentes

de variación, aunque su evaluación requiere de experimentación a largo plazo, o el uso de alternativas valiosas como los modelos de simulación del cultivo. Para esto, es importante señalar que no existen antecedentes locales para esta especie en el uso de los principales modelos de simulación agronómica en Argentina.

De manera general, puede plantearse que las variables físicas y químicas relacionadas con el tipo de suelo, la posición topográfica y el manejo previo de los cultivos son factores responsables de la variabilidad espacial del rendimiento. La colza es una especie con elevados requerimientos nutricionales de nitrógeno (N), azufre (S) y fósforo (P), elementos de singular importancia para asegurar altos rendimientos. De manera diferente a otros cultivos, los requerimientos de S son especialmente altos (Bole y Pittman, 1984). La respuesta a la fertilización con N y S en Entre Ríos es elevada y se ha reportado un umbral de N disponible de 148 kg ha⁻¹, superior al determinado para trigo (Melchiori et al., 2012). Con respecto al P, se han reportado respuestas superiores al 50% en lotes con niveles de hasta 15 ppm de P Bray-1 (Pe) (Rubio et al., 1996; Morguel et al., 2014). Analizar el efecto de las limitantes nutricionales y de propiedades físicas tales como la capacidad de almacenaje y la profundidad efectiva entre otras, sobre las variaciones espaciales del rendimiento de colza permitiría diseñar mejores estrategias de manejo de la fertilización.

En este trabajo se proponen como objetivos:

- i) Determinar la variabilidad espacial del rendimiento de colza y su relación con propiedades de suelo.
- ii) Evaluar el efecto de la remoción de limitaciones nutricionales sobre la variabilidad espacial del rendimiento.
- iii) Estimar la variabilidad temporal del rendimiento de colza.

¹ EEA INTA Paraná, CRER. Entre Ríos, Argentina

² AER INTA Diamante, CRER. Entre Ríos, Argentina

* Autor de contacto. Correo electrónico: melchiori.ricardo@inta.gov.ar

Materiales y métodos

Para evaluar el efecto de la remoción de las limitantes nutricionales (N, P y S) en la variabilidad espacial y temporal del rendimiento del cultivo de colza, se condujeron experimentos en dos lotes de producción del establecimiento "Don Alfredo" ubicado en el Dpto. Diamante, Entre Ríos (-32° 12' 44", -60° 32' 42") (**Figura 1**). Se utilizó información de estudios anteriores de mapeos detallados de suelos (Escala 1:20 000) y mapas de rendimientos de cultivos antecesores (trigo, soja y maíz) para definir zonas de diferente productividad. En ambos lotes se identificaron dos zonas, una de alta productividad (ZAP) y otra de baja productividad (ZBP).

Durante la campaña 2014/15 se realizó un ensayo en un lote de 134 ha, en el que predominan dos suelos clasificados como Peludert argico crómico de la Serie Las Mercedes con diferentes grados de erosión, y un Argiudol Vértico de la serie Don Alfredo. En la campaña 2015/16, el ensayo se llevó a cabo en un lote de 231 ha, en el que predominan tres tipos de suelos pertenecientes a las series Doña Alicia (DñAc, Peludert árgico crómico), Las Mercedes (LMc, Peludert argico crómico) y La Yunta (Lyu, Argiudol vértico). Se seleccionaron puntos de muestreo distribuidos dentro de las zonas de distinta productividad en cada lote (**Figura 1**), donde se comparó la tecnología de manejo del productor (70 kg N ha⁻¹ y 18 kg P ha⁻¹) con un tratamiento sin limitación de N, P y S, que incluyó 160 kg de N ha⁻¹, 36 kg de P ha⁻¹ y 30 kg de S ha⁻¹.

La siembra del cultivo se realizó el 6 de junio en 2014 y el 15 de mayo en 2015, el cultivar de colza utilizado fue Rivette (Tipo Primavera). Las malezas y otras adversidades bióticas fueron controladas adecuadamente. En ambos lotes, se seleccionaron 10 y 9 sitios de muestreo de suelos distribuidos dentro de las zonas de alta y baja productividad (**Figura 1**) en las campañas 2014 y 2015, respectivamente. En cada sitio se realizaron mediciones del contenido de agua en el suelo a la siembra hasta el metro de profundidad y se determinó el Pe (Bray y Kurtz 1), materia orgánica (MO, %), pH, y SO₄²⁻ en la profundidad de muestreo de 0-20 cm, N-NO₃⁻ hasta 0-60 cm y carbonatos (CO₃) hasta 100 cm. Luego de alcanzar la madurez fisiológica del cultivo se realizaron muestreos de biomasa aérea y se cosechó un área de al menos 2.5 m² para estimar el rendimiento del cultivo. Se calculó la respuesta relativa de rendimiento a la eliminación de las limitantes nutricionales como el cociente entre el rendimiento obtenido en las parcelas sin limitación de NPS y el rendimiento obtenido con el manejo del productor.

Para evaluar la variabilidad temporal del rendimiento del cultivo, y su relación con la presencia o ausencia de limitaciones nutricionales, se realizaron simulaciones de largo plazo (42 años, periodo 1971-2013) con una versión simple del modelo de simulación SALUS (Basso et al., 2006; 2010). Las rutinas simples de cultivos han sido descriptas y evaluadas por Dzotsi et al. (2013), mientras que las de agua y nutrientes han sido evaluadas por

distintos autores y localmente en otros cultivos (Basso et al., 2007; Albarenque et al., 2016). Los parámetros de suelo utilizados fueron los correspondientes a cada sitio de muestreo en los dos años. Las variables meteorológicas utilizadas en la simulación, incluyeron datos de registros de precipitaciones obtenidos en el establecimiento, mientras que los datos de temperatura y radiación correspondieron al observatorio agrometeorológico de INTA Paraná.

Se realizaron análisis de varianza (ANOVA) y cuando hubo efecto de los tratamientos se compararon mediante el test de diferencias mínimas significativas (DMS, $\alpha = 0.05$). Además, se realizaron análisis de correlación para evaluar las asociaciones entre variables.

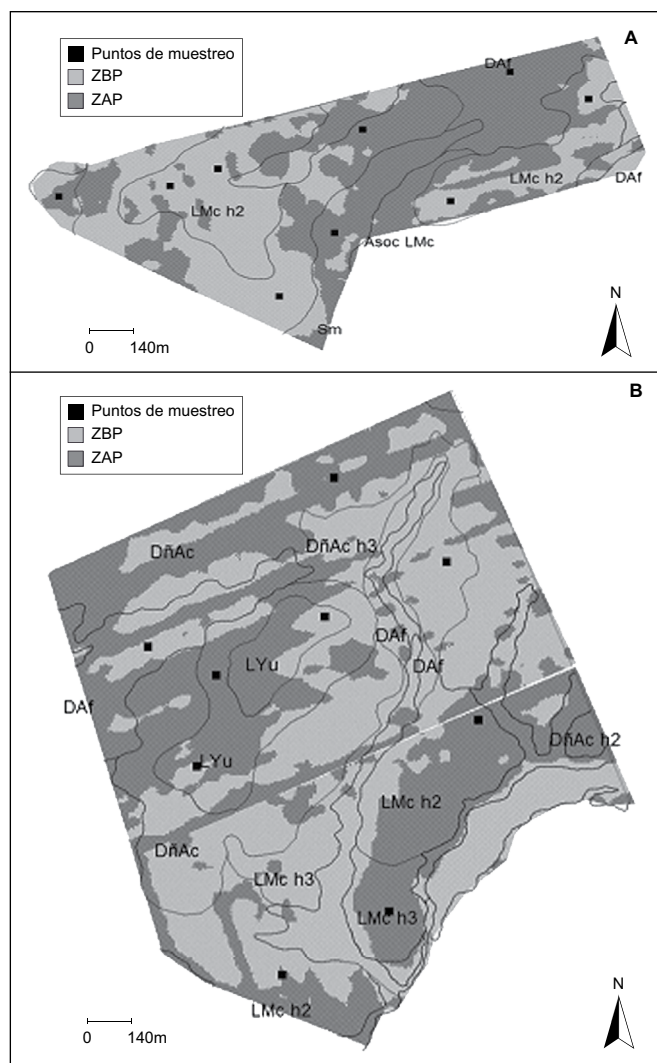


Figura 1. Mapa de suelos, áreas de productividad diferente según mapas de rendimiento de cultivos antecesores (trigo y maíz) y puntos de muestreo (Est. Don Alfredo. Costa Grande; Diamante, -32° 12' 44", -60° 32' 42"). A) Lote evaluado en la campaña 2014/15, y B) Lote evaluado en la campaña 2015/16. LMc: Serie Las Mercedes; LMc h1: Serie Las Mercedes fase ligeramente erosionada; LMc h2: Serie Las Mercedes fase moderadamente erosionada; LMc h3: Serie Las Mercedes fase severamente erosionada; DAF: Serie Don Alfredo, DñAc: Serie Doña Alicia; DñAc h3: Serie Doña Alicia severamente erosionada; LYu: Serie La Yunta, y Sm: Suelos menores de acumulación.

Resultados y discusión

La variación de las temperaturas y precipitaciones durante la estación de crecimiento puede verse en la **Figura 2**. La campaña 2014 se caracterizó por temperaturas mayores que el promedio histórico durante el periodo reproductivo del cultivo y menores precipitaciones durante la floración de la colza. En cambio, 2015 se caracterizó por las abundantes lluvias ocurridas durante la floración y temperaturas más frescas durante el periodo reproductivo, que probablemente alargaron la duración de las etapas de fijación y llenado de granos. El incremento en la duración de las etapas críticas se asocia con mejoras en la cantidad de radiación interceptada, una mayor generación de fotoasimilados, aumentos en la tasa de crecimiento y, en consecuencia, la producción de mayores rendimientos.

Variabilidad espacial y su relación con las propiedades del suelo

La disponibilidad inicial de agua total en el suelo hasta 1 m de profundidad no fue similar entre sitios dentro de cada campaña. En la primera, el rango de agua a la siembra fue de 358 a 462 mm, mientras que en la segunda varió entre 383 y 516 mm. La disponibilidad de $N-NO_3^-$ hasta 60 cm varió entre 20 y 80 kg N ha^{-1} en la campaña 2014, y entre 25 y 42 N ha^{-1} en la 2015. El contenido medio de Pe fue de 7.9 ppm en 2014, y 8.8 en 2015 y el rango de variación entre sitios para las dos campañas fue de 2.2 a 24.1 ppm. El contenido de CO varió entre 2.1 y 2.7%, y entre 1.4 y 2.3% en la primera y segunda campaña, respectivamente. El pH fue más variable entre sitios con un rango de 6.2 a 7.6 en la primera campaña, y de 5.4 a 7.1 en la segunda. El contenido de carbonatos (CO_3) mostro diferencias entre sitios dentro de la primera campaña en la profundidad de

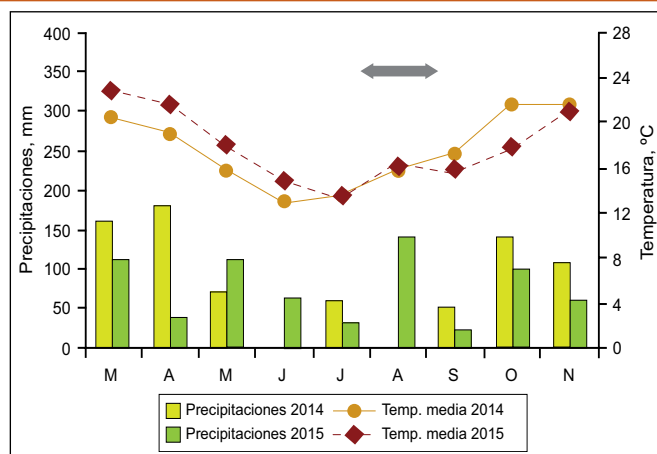


Figura 2. Precipitaciones mensuales en el Establecimiento Don Alfredo (Costa Grande, ER, -32° 12' 44'', -60° 32' 42'') y temperaturas medias mensuales en los años 2014/15. La flecha gris indica el periodo de floración del cultivo.

40-60 cm con valores entre 0.51% y 13.3%. En la segunda, las variaciones en el estrato 40-60 cm fueron menores, mientras que se expresaron de forma más evidente en la capa de 60 a 80 cm de profundidad, con un rango de 0.52% a 11.36%.

Al analizar la relación entre algunas propiedades del suelo y el rendimiento de colza sin limitaciones de N, P y S, se encontró que en el primer año (2014) el rendimiento estuvo fuertemente asociado a la concentración inicial de $N-NO_3^-$ ($r=0.89$, $p<0.0005$) (**Tabla 1**). También, la concentración de carbonatos en los primeros 40 cm de suelo pareciera haber afectado negativamente al rendimiento de colza ($r=-0.61$, $p=0.06$). Es posible que la presencia de carbonatos en algunos casos se haya relacionado con limitaciones a la exploración radical

Tabla 1. Correlación entre el rendimiento de colza y distintas variables de suelo en el Establecimiento "Don Alfredo", Costa Grande (Entre Ríos). Ref.: NO_3 (0-60): concentración de nitratos en los primeros 60 cm de suelo, SO_4 : concentración de sulfatos en los primeros 20 cm de suelo, Pe: fósforo extraíble (Bray y Kurtz 1), CO: carbono orgánico, Nt: nitrógeno total, Nan: nitrógeno anaeróbico, CO_3 : carbonatos en los primeros 20 cm, a los 40 y a 60 cm de profundidad, AD: agua disponible al metro de profundidad, y Rend: rendimiento de colza. n = 10.

2014	NO_3 0-60	SO_4	Pe	CO	Nt	Nan	pH	CO_3 (0-20)	CO_3 (20-40)	CO_3 (40-60)	AD (0-100)	Rend.
NO_3 (0-60)	1											
SO_4	-0.49	1										
Pe	-0.1	0.17	1									
CO	-0.32	-0.04	-0.23	1								
Nt	0.04	0.08	0.41	0.39	1							
Nan	0.09	-0.25	0.4	0.45	0.11	1						
pH	-0.62	0.66	0.1	0.32	0.16	0.05	1					
CO_3 (0-20)	-0.61	0.07	0.07	0.73	0.26	0.41	0.25	1				
CO_3 (20-40)	-0.61	-0.03	0.07	0.59	0.16	0.36	0.21	0.95	1			
CO_3 (40-60)	0.17	-0.09	-0.4	0.67	0.27	0.3	0.32	0.09	-0.08	1		
AD (0-100)	-0.28	0.05	-0.05	-0.01	0.09	-0.23	-0.17	0.33	0.35	-0.13	1	
Rend.	0.89	-0.27	-0.17	-0.21	-0.01	0.08	-0.41	-0.59	-0.61	0.18	-0.6	1

Tabla 2. Correlación entre el rendimiento de colza y distintas variables de suelo en el Establecimiento "Don Alfredo", Costa Grande (Entre Ríos). Ref.: NO₃ (0-60): concentración de nitratos en los primeros 60 cm de suelo, SO₄: concentración de sulfatos en los primeros 20 cm de suelo, Pe: fósforo extraíble (Bray y Kurtz 1), CO: carbono orgánico, Nt: nitrógeno total, Nan: nitrógeno anaeróbico, CO₃: carbonatos en los primeros 20 cm, a los 40 y a 60 cm de profundidad, AD: agua disponible al metro de profundidad, y Rend: rendimiento de colza. n = 9.

2015	NO ₃ 0-60	SO ₄	Pe	CO	Nt	Nan	pH	CO ₃ (0-20)	CO ₃ (20-40)	CO ₃ (40-60)	AD (0-100)	Rend.
NO ₃ (0-60)	1											
SO ₄	-0.19	1										
Pe	-0.01	0.05	1									
CO	0.26	-0.01	0.48	1								
Nt	0.36	-0.00	0.37	0.96	1							
Nan	0.14	-0.09	0.79	0.73	0.64	1						
pH	-0.55	-0.12	-0.55	0.04	0.08	-0.3	1					
CO ₃ (0-20)	-0.44	0.01	0.16	0.29	0.17	-0.01	0.32	1				
CO ₃ (20-40)	-0.31	0.09	0.09	-0.06	-0.14	-0.16	0.06	0.85	1			
CO ₃ (40-60)	0.46	-0.3	-0.1	0.12	0.18	0.32	-0.03	-0.31	-0.12	1		
AD (0-100)	0.52	0.57	-0.1	0.34	0.28	0.1	0.55	0.51	0.22	-0.35	1	
Rend.	-0.34	0.26	0.33	0.52	0.32	0.59	0.13	0.25	-0.02	-0.07	0.57	1

por la presencia de tosca o a la absorción de algunos nutrientes. Sin embargo, tanto en el tratamiento del productor como en el que no tuvo limitaciones de N, P y S, no se observaron sintomatologías correspondientes a deficiencias de micronutrientes. En este sentido, existen reportes previos del efecto negativo de las restricciones a la exploración radical sobre el rendimiento de colza (Hoffmann et al., 2015).

En el segundo año (2015) el rendimiento de colza no mostró relaciones significativas con las propiedades del suelo evaluadas (**Tabla 2**). Es probable que la mejor disponibilidad hídrica del 2015 haya reducido el efecto negativo de los carbonatos asociados con la tosca. El efecto de la profundidad efectiva ha sido menos significativo en años húmedos que en años secos sobre el rendimiento del cultivo de trigo (Chi et al., 2009). Por otra parte, el rango de concentraciones de N-NO₃⁻ entre los distintos puntos de muestreo evaluados fue marcadamente más amplio en el primer año respecto del segundo, robusteciendo de esta manera, la correlación con el rendimiento encontrada. La variable concentración inicial de N-NO₃⁻ podría entonces, haber actuado como un indicador indirecto de la calidad del sitio.

El rendimiento promedio con el manejo del productor prácticamente no cambió entre años (1700 kg ha⁻¹ en 2014 vs. 1736 kg ha⁻¹ en 2015), mientras que al fertilizarlo para remover las limitaciones por deficiencias nutricionales el rendimiento promedio aumentó en el año con mejores condiciones ambientales (2151 kg ha⁻¹ en 2014 vs. 3183 kg ha⁻¹ en 2015). Por otra parte, el efecto del manejo de la fertilización en el rendimiento también fue diferente entre las zonas de distinta productividad evaluadas (**Figura 3**), particularmente la respuesta a la fertilización

en zonas de baja productividad fue alta el año con mejores condiciones ambientales.

Limitaciones nutricionales y la variabilidad espacial del rendimiento

La respuesta relativa del rendimiento de colza a la remoción de las limitantes nutricionales (N, P y S) fue mayor en los sectores donde los rendimientos fueron más bajos (**Figura 4**). En consecuencia, la variabilidad espacial del cultivo se redujo al eliminar las limitaciones nutricionales. Concretamente, el coeficiente de variación de los rendimientos obtenidos con el manejo del productor fue de 21% y 28%, mientras que cuando no hubo limitantes nutricionales se ubicó entre 19% y 14%, para 2014 y 2015, respectivamente. Si bien se utilizaron lotes distintos en los dos años, y considerando la similitud entre los tipos de suelos de ambos lotes, la diferencia entre años en la magnitud de la reducción de la variabilidad podría atribuirse a las condiciones ambientales y su efecto sobre la capacidad de respuesta del cultivo frente a la mejora en la disponibilidad de nutrientes. La importancia de la disponibilidad hídrica sobre el rendimiento y la eficiencia en el uso de nutrientes de colza ha sido anteriormente documentada (Pennock et al., 2001; Hoffmann et al., 2015; Pan et al., 2016).

Variabilidad temporal

La utilización de modelos de simulación permitió estimar la probabilidad de alcanzar un determinado rendimiento con el manejo del productor con o sin limitaciones nutricionales, tanto en ambientes caracterizados como de alta o de baja productividad a largo plazo (**Figura 5**). La variabilidad temporal del rendimiento de colza es probablemente alta debido a la naturaleza variable de

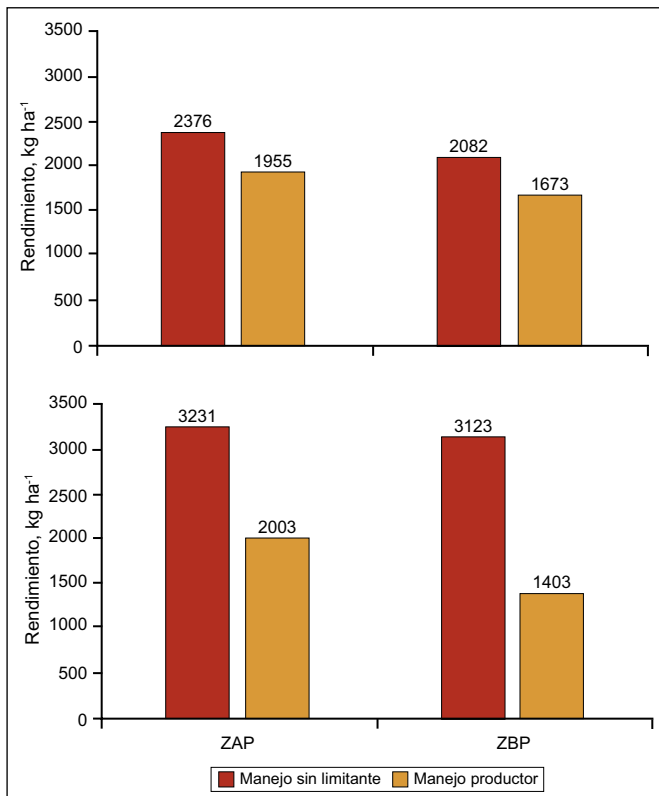


Figura 3. Rendimiento del cultivo de colza en función del manejo de la fertilización para zonas de productividad contrastantes en el Establecimiento Don Alfredo (Costa Grande, Entre Ríos, -32° 12' 44", -60° 32' 42") en dos años: superior 2014, e inferior 2015.

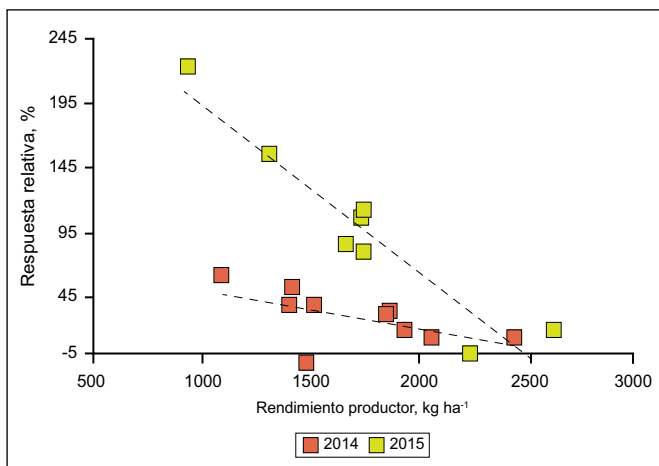


Figura 4. Respuesta relativa del cultivo de colza a la remoción de las deficiencias de N, P y S en función del rendimiento obtenido con la tecnología empleada por el productor durante dos campañas (2014 y 2015) en el Establecimiento Don Alfredo (Costa Grande, Entre Ríos, -32° 12' 44", -60° 32' 42").

Tabla 3. Coeficiente de variación del rendimiento de colza para el periodo de 42 años (1971-2012) en el Establecimiento Don Alfredo (Costa Grande, Entre Ríos, -32° 12' 44", -60° 32' 42").

	----- Manejo del productor		----- Sin limitantes nutricionales	
	ZAP	ZBP	ZAP	ZBP
CV	7%	20%	11%	21%

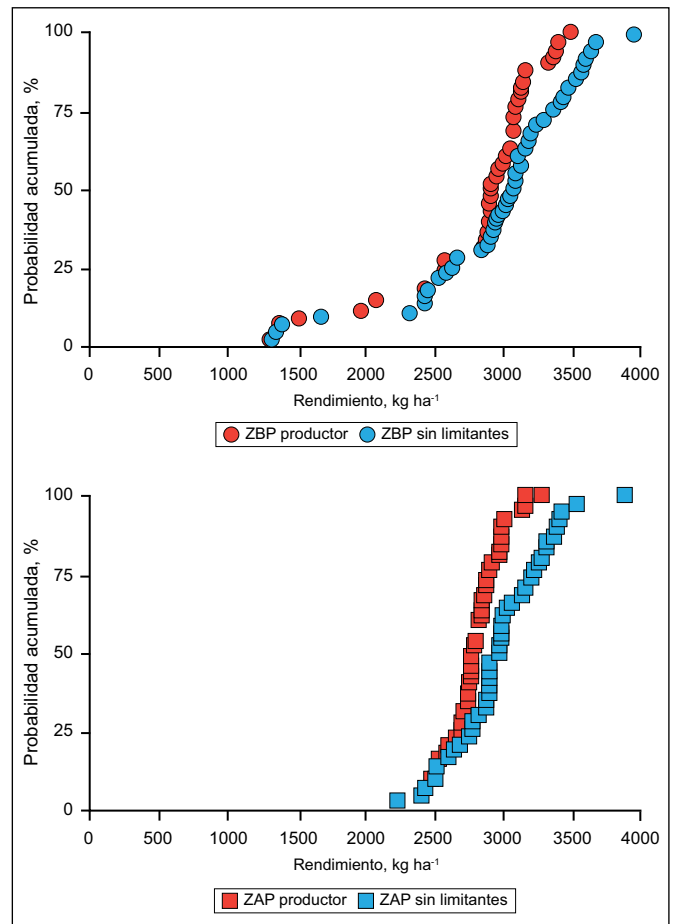


Figura 5. Probabilidad acumulada de alcanzar un valor de rendimiento de colza con la tecnología del productor y sin limitaciones nutricionales en zona de bajo potencial de rendimiento (arriba), y zona de alto potencial de rendimiento (abajo). Simulaciones realizadas para un periodo de 42 años (1971-2012).

las lluvias, tanto en cantidad como en oportunidad, y a la ocurrencia de temperaturas extremas durante la floración y la formación de vainas y semillas (Nielsen et al., 2012). Los resultados obtenidos mostraron que la variabilidad del rendimiento de la colza fue marcadamente superior en las zonas de baja productividad tanto para el manejo del productor como para el manejo sin limitaciones nutricionales (Tabla 3).

La respuesta del cultivo a la fertilización o remoción de limitantes nutricionales incrementó la variabilidad temporal debido a que, en años con mejores condiciones ambientales, los rendimientos alcanzables aumentaron en mayor medida, mientras que cuando operan limitaciones nutricionales se reducen las posibilidades de lograr mejores rendimientos, a pesar de las buenas condiciones ambientales. Por otra parte, en años con restricciones ambientales (25% de los rendimientos inferiores), la variabilidad de rendimiento es muy alta en la zona de baja productividad (rango de rendimientos entre 1000 y 2500 kg ha⁻¹), aunque la presencia o ausencia de limitaciones nutricionales no modifica esa variabilidad ni genera respuesta a la fertilización. Análogamente, resultados de simulaciones en el Oeste de Australia muestran que la variabilidad de los rendimientos en ambientes con bajas

precipitaciones son 2 a 3 veces más altas que en ambientes con mayores precipitaciones (Farré et al., 2001).

Comentarios finales

La variabilidad espacial del rendimiento del cultivo de colza puede reducirse mediante una fertilización que cubra los requerimientos nutricionales del cultivo, mientras que la misma práctica tiende a incrementar la variabilidad entre años, aunque este efecto no es negativo. Esta mayor variabilidad temporal es producto de que cuando no existen limitaciones nutricionales, en los años buenos se logran obtener los beneficios de estas condiciones ambientales alcanzándose rendimientos más altos.

Bibliografía

- Albarenque, S.M., B. Basso, O.P. Caviglia, R.J.M. Melchiori. 2016. Spatio-temporal nitrogen fertilizer response in maize: Field study and modeling approach. *Agronomy Journal*. 108, 2110-2122. doi:10.2134/ agronj2016.02.0081.
- Basso, B., D. Cammarano, A. Troccoli, D. Chen, y R. Ritchie. 2010. Long-term wheat response to nitrogen in a rainfed Mediterranean environment: field data and simulation analysis. *European Journal of Agronomy* 33:132-138.
- Basso, B., M. Bertocco, L. Sartori, y E. Martin. 2007. Analyzing the effects of climate variability on spatial pattern of yield in a maize-wheat-soybean rotation. *European Journal of Agronomy* 26:82-91.
- Basso, B., J. Ritchie, P. Grace, L. Sartori. 2006. Simulation of tillage systems impact on soil biophysical properties using the SALUS model. *International Journal of Agronomy* 4:677-688.
- BCER. 2017. Informe producción de colza - Campaña 2016/17. Informes SIBER, Bolsa de Cereales de Entre Ríos - www.bolsacer.org.ar
- Bole, J.B., y U.J. Pittman. 1984. Availability of subsoil sulphates to barley and apeseed. *Canadian Journal of Soil Science* 64(3):301-312.
- Coll, L. y O.P. Caviglia. 2013. Influencia de variables ambientales en el rendimiento y calidad de colza. Actas del II Workshop Internacional de Ecofisiología de Cultivos aplicada al Mejoramiento Vegetal. Mar del Plata 26 y 27 de Agosto.
- Chi, B.L., C.S. Bing, F. Walley, y T. Yates. 2009. Topographic indices and yield variability in a rolling landscape of western Canada. *Pedosphere* 19(3):362-370.
- Dzotsi, K.A., B. Basso, y J.W. Jones. 2013. Development, uncertainty and sensitivity analysis of the simple SALUS crop model in DSSAT. *Ecological Modelling* 260 (2013), pp. 62-76.
- Farré, I., Robertson, M. J., Walton, G.H., y S. Asseng. 2001. Yield analysis of canola in a variable environment. 12th Biennial Australian Research Assembly on Brassicas Victoria, pp. 130-134.
- Hoffmann, M.P., Jacobs, A., y A.M. Whitbread. 2015. Crop modelling based analysis of site-specific production limitations of winter oilseed rape in northern Germany. *Field Crops Research* 178:49-62.
- Melchiori, R.J.M., Coll, L., y P.A. Barbagelata. 2012. Diagnóstico de la fertilización con nitrógeno y azufre para el cultivo de colza en Entre Ríos. Actas del XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, 16-20 de abril de 2012.
- Morguel, D.F.; P.A. Barbagelata, y R.J.M. Melchiori. 2014. Respuesta al agregado de fósforo en colza en Entre Ríos. Actas del XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Bahía Blanca, Bs. As.
- Nielsen, D.C., S.A. Saseendran, L. Ma, y L.R. Ahuja. 2012. Simulating the production potential of dryland spring canola in the central Great Plains. *Agronomy Journal* 104(4):1182-1188.
- Pan, W.L., T. McClellan Maaz, W.A. Hammac, V.A. Mccracken, y R.T. Koenig. 2016. Mitscherlich-modeled, semi-arid canola nitrogen requirements influenced by soil nitrogen and water. *Agronomy Journal* 108(2):884-894.
- Pennock, D., F. Walley, M. Solohub, B. Si, and G. Hnatowich. 2001. Topographically Controlled Yield Response of Canola to Nitrogen Fertilizer. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:1838-1845. doi:10.2136/sssaj2001.1838.
- Rubio G., R.S. Lavado, M.A. Taboada, J.D. Scheiner, M.M. Zubillaga, y G. Vrdoljak. 1996. Ventajas de la fertilización combinada en Colza-Canola. *Oleaginosos* 14:16-19.
- Takashima, N.E., D.P. Rondanini, L.E. Puhl, y D.J. Miralles. 2013. Environmental factors affecting yield variability in spring and winter rapeseed genotypes cultivated in the southeastern Argentine Pampas, *European Journal of Agronomy* 48:88-100.
- Weymann, W., U. Böttcher, K. Sieling, y H. Kage. 2015. Effects of weather conditions during different growth phases on yield formation of winter oilseed rape. *Field Crops Research* 173:41-48.

Concentración de nutrientes en tres variedades de stevia [*Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni] cultivadas en un Ultisol

Carlos Javier Villalba-Martínez^{1*} y Elmira Oroa-Pfefferkorn¹

- La stevia [*Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni] es una planta nativa del Paraguay, conocida en el mundo por ser un edulcorante natural.
- En el Paraguay existen tres variedades cultivadas principalmente y la evaluación de su concentración nutrimental permitirá, conocer los requerimientos de la Stevia.
- Este trabajo presenta concentraciones promedio de macronutrientes y micronutrientes en hoja y tallo para las tres variedades más importantes de Stevia.

Introducción

La stevia es una planta herbácea perenne nativa del Paraguay, conocida por el dulce sabor de sus hojas, utilizada anteriormente por los guaraníes como endulzante y medicina natural ante enfermedades estomacales (Soejarto, 2002; Brandle y Telmer, 2007). En los últimos años ha aumentado la superficie sembrada con esta planta en el mundo, principalmente en el continente asiático y en Latinoamérica en Brasil, Colombia y México (Kim et al., 1996; Ren et al., 2011).

Los compuestos dulces llamados dipertenos glucósidos son los que confieren a las hojas de la stevia su dulzor, y la concentración de estos depende de la variedad, época de siembra y la nutrición mineral de la misma. La hoja de la stevia es lo que se industrializa, ya que la concentración de glucósidos en el tallo es relativamente muy baja (Lemus-Moncada et al., 2012). En Paraguay, la planta puede ser cosechada hasta tres veces en el año, siendo el segundo corte (noviembre a febrero) el más productivo por la mayor cantidad de horas luz.

En el Paraguay las tres variedades de Stevia mayormente cultivadas son la 'Eirete' y la 'Katupyry' que fueron desarrolladas en el Instituto Paraguayo de Tecnología Agropecuaria (IPTA), y que difieren en el dulzor de las hojas. La tercera variedad es la 'AKHL1', resultado del mejoramiento genético en el ámbito privado, que tiene como característica principal su mayor contenido de rebaudiósido A, además de no emitir flores durante el año (Álvarez y Cassaccia 2008; CAPASTE, 2013).

La medición del estado nutrimental de los cultivos es una alternativa para conocer la cantidad de macronutrientes y micronutrientes requeridos por las plantas. La concentración de estos elementos, dependen del tejido vegetal, momento de la cosecha, la especie vegetal y la variedad utilizada, y es una herramienta útil para realizar prácticas de fertilización más precisas (Etchevers, 1989).

Las ventajas de la stevia para la salud humana han promovido que las superficies sembradas aumenten en Paraguay, razón por la cual en los últimos años se han implementado mejoras en las prácticas agronómicas, incluyendo el manejo, la utilización de fertirriego, protectores de

plásticos así también fertilizaciones más rentables. Por lo mencionado anteriormente, esta investigación tuvo como objetivo evaluar el estado nutrimental de tres variedades de stevia, para poder recomendar prácticas de fertilización más precisas para los productores.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en dos periodos de la campaña 2017/2018. Las características químicas del suelo pueden observarse en la **Tabla 1**.

Esquejes obtenidos de plantas madres de las tres variedades ['AKHL1 (Pure Circle 1)', 'Eirete' y 'Katupyry'] fueron distribuidos en un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. El trasplante al campo se realizó a inicios de agosto de 2017 con una densidad de 20 x 20 cm. A los 60 días después del trasplante (DDT) se realizó la poda de uniformización, para fomentar la aparición de brotes basales. Se utilizó riego por goteo. Las evaluaciones tanto químicas como de rendimiento se realizaron en la segunda cosecha por ser la más productiva (Álvarez y Cassaccia, 2008). Fueron evaluadas hojas secas, la acumulación de tallos por planta y la concentración de macronutrientes y micronutrientes en hojas y en el tallo.

Se cosechó al momento de la aparición de los botones florales para las variedades Eirete y Katupyry (80 DDT) y a los 90 DDT para la AKHL1, en base a las recomendaciones agronómicas de Carneiro (2007) y Álvarez y Casaccia (2008).

Para los análisis vegetales, el nitrógeno (N) se cuantificó por el método micro Kjeldahl (Bremmer, 1965). Para la determinación de fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), y micronutrientes [boro (B), cobre (Cu), hierro (Fe), zinc (Zn), y manganeso (Mn)] la digestión se realizó con HNO₃ y HClO₄ (3:1) (Jackson, 1976). La cuantificación de estos se realizó por absorción atómica, con excepción del P, que se determinó por colorimetría.

Se realizaron análisis de varianza (ANOVA) y clasificación de medias mediante la comparación de Tukey ($\alpha = 5\%$) utilizando el programa Statistical Analysis System, versión 9.2 (SAS Institute Inc., 2007).

¹ Universidad Nacional de Caaguazú, Ruta N° 8, Blas A. Garay, Km 138. Coronel Oviedo, Paraguay

* Autor de contacto. Correo electrónico: villalba.javierdgi@gmail.com

Tabla 1. Características químicas del suelo.

Lugar	pH H ₂ O	M.O. %	P Bray 1 mg kg ⁻¹	Ca ²⁺ -----	Mg ²⁺ (1N pH7) cmol L ⁻¹ -----	K ⁺
Coronel Oviedo	5.7	1.6	20	4.8	1.3	0.9

Resultados y discusión

En la **Tabla 2** se muestra el resultado del rendimiento de hojas y la acumulación de tallos de las tres variedades de stevia estudiadas; se observan diferencias significativas entre los tratamientos estudiados, donde la variedad AKHL1 es superior a la Eirete y Katupyry en la producción de hojas por planta, en cambio es inferior en la acumulación de tallos.

El producto de interés económico de la stevia son las hojas secas debido a su alto contenido de glucósidos totales (Carneiro 1997; Álvarez y Cassaccia, 2008). Igualmente se observa que las variedades Eirete y Katupyry presentan mayor cantidad de tallos por planta que la AKHL1, es importante recalcar que el tallo no es utilizado como fuente de edulcorante por su bajo contenido de glucósidos totales por lo que es desechado posterior a la cosecha (Álvarez y Cassaccia, 2008).

Los rendimientos de hojas secas obtenidos son superiores a los reportados por Espitia et al. (2008) quienes evaluaron diferentes densidades de siembra de stevia variedades Morita I y II con una producción de hojas secas de 6.34 g planta⁻¹ (1586 kg 250000 plantas⁻¹). Asimismo, Pérez y Calvache (2014) encontraron rendimientos de hoja seca de 14 g planta⁻¹ y de 10 g planta⁻¹ de tallo en stevia hidropónica en Ecuador.

La stevia puede adaptarse a diversos ambientes (Mordechai et al., 2013), siendo el fotoperiodo la principal limitante para la producción de hojas (Tavarini y Angelini, 2014); en Paraguay los meses con mayor cantidad de horas luz se encuentran entre octubre y febrero, cuando se observan altos rendimientos en este cultivo.

Concentración nutrimental

En la **Tabla 3**, se observa la concentración de macronutrientes y nutrientes secundarios en las hojas de stevia, en análisis realizados en la segunda cosecha.

Los análisis vegetales de tejido seco son una herramienta para conocer el requerimiento interno de los nutrientes, es decir, las concentraciones de los nutrientes a la cosecha, que se encuentran directamente relacionadas con la capacidad productiva de los cultivos, resultante de la interacción con el ambiente y manejo agronómico. Las hojas de las tres variedades de stevia presentan concentraciones de nutrientes similares, a excepción de las de N y K, que son superiores en 'Katupyry' y 'Eirete' sobre 'AKHL1'. Estos datos coinciden con los reportados por Tavarini y Angelini (2014), pero son superiores a los reportados por Jarma et al. (2010) en stevia var. Morita I y II. En trabajos realizados por De Lima y Malavolta (1997), se indica que deficiencias de N en stevia disminuyen el

Tabla 2. Rendimientos de hojas y tallos de tres variedades de Stevia. Campaña 2017/18.

Variedad	--- Rendimiento, materia seca g planta ⁻¹ ---		Relación hoja tallo ⁻¹
	Hojas	Tallos	
AKHL1	21 a	12 b	2:1
Eirete	16 b	27 a	1:2
Katupyry	15 b	26 a	1:2

Valores en las mismas columnas seguidas por la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo a la separación de medias Tukey (P ≥ 0.05)

Tabla 3. Concentración de macronutrientes y nutrientes secundarios en hojas de tres variedades de stevia.

Variedad	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- % -----					
AKHL1	2.50 b	0.26 a	1.49 b	0.65 a	0.24 a	0.23 a
Eirete	2.86 a	0.23 a	2.23 a	0.60 a	0.22 a	0.22 a
Katupyry	3.09 a	0.24 a	1.93 a	0.61 a	0.22 a	0.21 a
Promedio	2.72	0.24	1.88	0.62	0.23	0.22
Desvío estándar	1.9	0.02	0.37	0.03	0.01	0.2
Coficiente de variación (%)	70	8	20	5	4	91

tamaño de las células y aumentan el grosor de las paredes celulares, y que bajas concentraciones de N retrasan el crecimiento, resultando en menores brotes axilares y menor producción de hojas por hectárea.

Las concentraciones de P no presentaron diferencias significativas entre variedades y se encuentran dentro de los intervalos reportados por De Lima et al. (1997a), con un coeficiente de variación de 6%. Este nutriente interviene directamente en la actividad energética de los vegetales, y sus deficiencias pueden afectar varios procesos, incluyendo la síntesis proteica y afectando el crecimiento (Davies et al., 2002).

Por otro lado, el K presentó concentraciones en hojas de las variedades 'Eirete' y 'Katupyry' superiores a las de 'AKHL1' (**Tabla 3**). Los resultados son inferiores a los reportados por Utumi et al. (1999) de 4.36%, pero superiores a los mencionados por Jarma et al. (2010). El K es un activador de muchas enzimas esenciales tanto para la fosforilación fotosintética, como la oxidativa (en la respiración), y además promueve una eficiente translocación de fotosintatos desde las hojas (Wu et al., 1991). Deficiencias de este elemento en stevia conllevan a una menor producción de brotes basales y axilares (De Lima y Malavolta, 1997).

Los resultados observados para Ca y Mg no presentaron diferencias significativas entre las variedades y coinciden con los mencionados por Utumi et al. (1999) y Atteh et al. (2011). El Ca es un elemento estructural de las

plantas y participa en el equilibrio electroestático de la célula, además forma compuestos quelatados, pudiendo aumentar la elasticidad de las paredes celulares al formar un complejo quelatado muy estable con los pectatos de la lamela media (Marschner, 2002). Se han observado síntomas de necrosis apical en primordios foliares de stevia al inducir deficiencias de este nutriente. Así también, el Mg cumple numerosas funciones en las plantas siendo la principal como elemento central de la clorofila (Walker y Weinstein, 1991). No obstante, hasta ahora no se han observado consecuencias de deficiencias de Mg en stevia.

El S es un constituyente de aminoácidos como la cisteína, metionina y cistina, y de las proteínas que los contienen, además de otros compuestos importantes como la tiamina, biotina y la coenzima A, entre otros. Deficiencias de S en stevia provocan clorosis y reducción en el número de hojas nuevas (Utumi et al., 1999). Las concentraciones de S en las variedades no presentaron diferencias estadísticas significativas.

En la **Tabla 4** se observan las concentraciones promedio de micronutrientes en las tres variedades, con coeficientes de variación que no superan el 5%. Para el caso del boro (B) no se observaron diferencias entre variedades. Las concentraciones de B en tejidos vegetales varían ampliamente entre especies vegetales, niveles normales para algunas plantas pueden ser tóxicos para otras, la concentración promedio en tejido vegetal es de 20 ppm. El B es un elemento formativo de las estructuras

Tabla 4. Concentración de micronutrientes en hojas de tres variedades de stevia.

Variedad	B	Cu	Fe %	Zn	Mn
AKHL1	54.3 a	6.6 a	135.3 a	48.3 a	130.2 b
Eirete	52.6 a	6.7 a	136.5 a	50.0 a	132.3 b
Katupyry	53.6 a	6.4 a	134.9 a	49.7 a	142.3 a
Promedio	53.5	6.6	135.8	49.3	134.9
Desvío estándar	0.84	0.17	1.76	6.72	0.88
Coeficiente de variación (%)	16	2.6	1.3	13.6	0.7

Tabla 5. Concentración de macronutrientes en el tallo de tres variedades de stevia.

Variedad	N	P %	K
AKHL1	0.86 b	0.24 a	2.59 b
Eirete	0.90 b	0.26 a	2.80 a
Katupyry	1.10 a	0.26 a	2.51 b
Promedio	0.95	0.25	2.60
Desvío estándar	0.13	0.04	0.20
Coeficiente de variación (%)	13.7	16.0	7.7

Tabla 6. Requerimientos de macronutrientes por tonelada de hoja seca para tres variedades de stevia.

Variedad	N	P	K	Ca	Mg	S
kg t ⁻¹						
AKHL1	25.0	2.6	14.9	7.0	2.6	3.3
Eirete	28.6	2.3	22.3	6.0	2.2	2.2
Katupyry	30.9	2.4	19.3	6.0	2.2	2.1
Promedio	28.2	2.4	18.8	6.3	2.3	2.5

vegetales, y su deficiencia puede ocasionar el desorden en desarrollo completo de algunos tejidos, igualmente la deficiencia afecta a las células del cambium de xilema y floema (Lovatt, 1985).

Las concentraciones de Cu, F, y Zn observadas no presentaron diferencias entre variedades y se encuentran dentro de los intervalos encontrados por Atteh et al. (2011). Estos micronutrientes cumplen funciones estructurales, constituyentes o activadores de enzimas en las plantas (Marschner, 2002). Las concentraciones de Mn fueron mayores en la variedad 'Katupyry' que en 'Eirete' y 'AKHL1', y estas se encuentran por encima de las reportadas por Salisbury y Ross (1994) como promedio de elementos esenciales en plantas. El Mn en stevia activa las enzimas encargadas del alargamiento de las cadenas terpénicas de las cuales se han aislado hasta ahora la geranil pirofosfato sintasa que requiere Mn como cofactor (Suga y Endo, 1991; Kim et al., 1996).

La **Tabla 5** muestra la concentración de macronutrientes en el tallo de las tres variedades de stevia estudiadas. Las concentraciones de N presentan diferencias estadísticas, siendo la 'Katupyry' superior a las demás; en cambio, para el P las diferencias no son significativas, siendo las concentraciones similares a las reportadas por Tavarini y Angelini (2014). En cuanto al K, la variedad 'Eirete' presentó mayores contenidos comparados a la 'AKL1' y 'Katupyry'. La alta concentración promedio de K (\bar{x} :2.60) en las tres variedades, son superiores a los reportados por Ciampintti y García (2007), en cultivos extensivos cómo maíz, canola, maní y soja. Es importante reiterar que el tallo no es cosechado ni utilizado dentro del proceso industrial de esta planta, pudiendo ser utilizado para otros destinos dada su alta concentración de K.

Requerimientos de macronutrientes

La **Tabla 6** muestra los requerimientos de macronutrientes por tonelada de hoja seca. Para N, P y K, estos datos son superiores a los mencionados por Jarma et al. (2008) pero coinciden con los reportados por Tavarini y Angelini (2014). Las estimaciones de los requerimientos también pueden diferir con los de otros autores principalmente por el momento de la cosecha y por su dependencia del fotoperiodo y la temperatura. Lo ideal es realizar la cosecha al inicio de la aparición de los botones florales ya que posteriormente disminuye la concentración de los compuestos dulces en las hojas.

Conclusiones

La variedad 'AKHL1' fue superior a la 'Eirete' y 'Katupyry' en la producción de hojas por planta, presentando una mayor relación de tallo/hoja.

En general, las tres variedades de stevia, presentaron concentraciones similares de macronutrientes y micronutrientes en las hojas y de N, P, y K en tallos. Se observaron diferencias entre variedades en concentración de N, K y Mn en hojas y de N y K en tallos.

Los datos de la concentración nutrimental de K muestran una alta acumulación en el tallo, que pudiera utilizarse para otras actividades productivas ya que no es utilizado en el proceso de industrialización de la stevia.

Bibliografía

- Álvarez, L.A., y R. Casaccia. 2008. Ministerio de Agricultura y Ganadería del Paraguay. 2008. Producción de Ka'a He'e. 3a. ed., Asunción. Paraguay.
- Atteh, J., O. Onagbesan, K. Tona, J.A. Buyse, E.B. Decuyper, E.B y Geuns, J. 2011. Potential use of Stevia Rebaudiana in animal feeds. Archivos de zootecnia vol. 60, núm. 229, 135. p.
- Bremmer, J. M. 1965. In C.A. Black methods of soil analyses Agronomy 9: 1149-1178. American Society Agronomy. Madison, Wisconsin. USA.
- Brandle, J., y P. Telmer. 2007. Steviol glycoside biosynthesis. Phytochemistry, 68:1855-1863.
- Cámara Paraguaya de la Stevia (CAPASTE). VII Simposio Internacional de la Stevia rebaudiana Bertoni año 2013.
- Carneiro, J.W.P. 2007. Stevia rebaudiana (Bert.) Bertoni: Stages of plant development. Canadian Journal Plant Science. 87:861-865.
- Carneiro, J., A. Muniz, y T. Guedes. 1997. Greenhouse bedding plant production of Stevia rebaudiana (Bert) bertoni. Canadian Journal of Plant Science, 77:473-474.
- Ciampintti, I.A., y F.O. García. 2007. Requerimientos nutricionales, absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. I Cereales, Oleaginosos e Industriales. Informaciones Agronómicas No. 33, Archivo Agronómico No. 11. IPNI Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Davies, T., J. Ying, Q. Xu, Z. Li, J. Li, y R. Gordon-Weeks. 2002. Expression analysis of putative high-affinity phosphate transporters in Chinese winter wheat. Plant Cell Environ. 25:1325-1340.

- De Lima, O., y E. Malavolta. 1997. Sintomas de desordens nutricionais em estévia *Stevia rebaudiana* (Bert.) Bertoni. *Sci. Agric.* 54(1-2):53-61.
- De Lima, O., E. Malavolta, J. De Sena, y J. Carneiro. 1997a. Absorção e acumulação de nutrientes em estévia *Stevia rebaudiana* (Bert.) Bertoni: I. Macronutrientes. *Sci. Agric.* 54(1-2):23-30.
- Espitia, M., R. Montoya, y A. Jarma. 2008. *Stevia* en el Caribe Colombiano. Gráficas del Caribe Ltda. Montería – Córdoba. 84 p.
- Etchevers, B.J.D. 1989. Diagnóstico de la fertilidad de los suelos y el estado nutrimental de los cultivos. In: Simposio Internacional sobre Tecnologías de Maíz. FIRA, Guadalajara, México.
- Jackson, M.L. 1976. Análisis químico de suelos. Traducido al español J. B. Martínez. Edit. Omega. Barcelona, España.
- Jarma, A. 2008. Estudios de adaptación y manejo integrado de estevia (*Stevia rebaudiana* Bert.): Nueva alternativa agroindustrial del Caribe colombiano. Una revisión. *Rev. Colombia Ciencia Horticultura* 2:109-120.
- Jarma, O., E. Combatt, y J. Cleves. 2010. Aspectos nutricionales y metabolismo de *Stevia rebaudiana* (Bertoni). *Agronomía Colombiana* 28:199-208, 2010.
- Kim, K., Y. Sawa y H. Shibata. 1996. Hydroxylation of ent-kaurenoic acid to steviol in *Stevia rebaudiana* Bertoni - purification and partial characterization of the enzyme. *Arch. Biochem. Bio-phys.* 332(2):223-230.
- Lemus-Moncada, R., A. Vega-Gálvez, L. Zura-Bravo, y K. Ah-Hen. 2012. *Stevia rebaudiana* Bertoni, source of a high-potency natural sweetener: A comprehensive review on the biochemical, nutritional and functional aspects. *Food Chemistry* 132:131-135.
- Lovatt, C. J. 1985. Evolution of the xylem resulted in a requirement for boron in the apical meristems of vascular plants. *New Phytol.* 99:509-522.
- Mordechai S., I. Mwafaq, F. Ravit, C. David, S. Yehoshua, y D. Nativ. 2013. Dynamics of yield components and stevioside production in *Stevia rebaudiana* grown under different planting times, plant stand and harvest regime. *Industrial Crops and Products* 50:731-736.
- Marschner, H. 2002. *Mineral Nutrition of higher plants*. Second Edition. Academic Press. London, U.K. 889 p.
- Pérez, O., y M. Calvache. 2014. Acumulación de nutrientes en *Stevia Rebaudiana* (Bertoni). Congreso Ecuatoriano de Ciencias de Suelos. Esmeraldas 2014.
- Ren, G., X. Liu, y Y. Shi, 2011. Effects of drought stress on physiological indices and dry leaf yield of *stevia rebaudiana* bertoni. *J. Agric.*, pp: 1-6.
- SAS Institute Inc. 2007. SAS OnlineDoc® 9.2. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Salisbury F.B., y C. W. Ross. 1994. *Fisiología vegetal*. Grupo Editorial Iberoamericano S.A: de C. V. México.
- Soejarto, D. 2002. Botany of *Stevia* and *Stevia rebaudiana*. In A. Kinghorn (Ed.), *Stevia: The genus Stevia* London, New York: Taylor and Francis. pp. 18-39.
- Suga, T., y T. Endo. 1991. Geranyl diphosphate synthase in leaves of *Pelargonium roseus*. *Phytochem.* 30(6):1757-1761.
- Tavarini, S., y G. Angelini. 2014. Crop productivity, steviol glycoside yield, nutrient concentration and uptake of *Stevia rebaudiana* Bert. Under mediterranean field conditions. *Soil Science and Plant Analysis*, 45:2577-2592.
- Utumi, M.M., P.E. Monnerat, P.R. Gomes-Pereira, P.C. Rezende-Fontes, y V.P. Campos-Godinho. 1999. Deficiência de macronutrientes em estévia: sintomas visuais e efeitos no crescimento, composição química e produção de esteviosídeo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 34(6):1039-1043.
- Walker, O., y W. Luttgens. 1991. Further characterization of the magnesium chelatase in isolated developing cucumber chloroplasts. *Plant Physiol.* 95(1):189-196.
- Wu, W., J.S. Peters, y G.A. Berkowitz. 1991. Surface charge mediated effects of Mg^{2+} on K^+ flux across the chloroplast envelope are associated with regulation of stromal pH and photosynthesis. *Plant Physiol.* 97:580-578.

Sistema de soporte para la recomendación de fertilización fosfatada en pasturas

R. Cuadro^{1*}, J.H. Molfino², y A. Quincke¹

- *Los suelos del Uruguay son naturalmente deficientes en su capacidad de suministro de fósforo. Así, el fertilizante fosfatado es un insumo central en pasturas a base de leguminosas.*
- *Las recomendaciones vigentes presentan limitantes para implementar un adecuado manejo de la fertilización fosfatada en forma generalizada a nivel de país.*
- *Este trabajo describe un sistema de soporte, actualmente en desarrollo, para la recomendación de fertilización fosfatada en pasturas.*

Introducción

La competitividad de la producción de carne y leche de Uruguay se basa en gran medida en la rentabilidad del sistema pastoril. A su vez, es ampliamente conocido que se necesita contar con especies leguminosas forrajeras para aumentar la producción de forraje, tanto en cantidad como en calidad, y así lograr intensificar la producción pecuaria (Millot et al., 1987). Sin embargo, los suelos del Uruguay son naturalmente deficientes en su capacidad de suministro de fósforo (P) (Morón, 2008, Barbazán et al., 2007). Por lo tanto, el fertilizante fosfatado es un insumo central en pasturas a base de leguminosas.

Varios autores nacionales han revisado y resumido la trayectoria de experimentación e investigación sobre el tema (Morón, 2007; Bordoli, 2007). En general, se reconoce que las pautas y recomendaciones vigentes presentan limitantes para implementar un adecuado manejo de la fertilización fosfatada en forma generalizada a nivel de país.

El objetivo general es desarrollar un sistema de soporte para la recomendación de fertilización de pasturas, que tendrá los siguientes atributos generales:

- **Fácil acceso.** El acceso al sistema debe ser fácil, amigable y gratuito a través de internet ("sistema on-line").
- **Suelo-específico.** Las respuestas del sistema deben contemplar particularidades agronómicas relevantes (principalmente el tipo de suelo, la fertilidad actual, tipo de pastura).
- **Bases científicas.** Las respuestas del sistema deben estar basadas en el conocimiento vigente, producto de la investigación y experimentación científica.
- **Actualización continúa.** Dicha base de información puede y debe ser actualizable y mejorable, conforme se producen nuevos resultados relevantes y pertinentes.
- **Retroalimentando investigación.** El sistema permitirá informar a la comunidad de investigación agronómica para priorizar futuros trabajos.

Metodología

Base experimental

Entre los años 2008 y 2012 se llevó a cabo una red de experimentos de fertilización fosfatada de pasturas, ubicados sobre diversos suelos de las principales zonas pecuarias del país (**Figura 1**) y que fueron instalados y manejados con un protocolo común de evaluaciones.

El objetivo general fue estudiar la respuesta a P en leguminosas forrajeras para un amplio rango de suelos del país. El experimento fue diseñado para evaluar el efecto de dos tipos de fertilizantes (fuente soluble o roca fosfórica) sobre dos especies (*Trifolium repens* y *Lotus corniculatus*). Se utilizaron dos profundidades de muestreo (0-7.5 y 7.5-15 cm) y tres métodos de extracción de P (Bray-1, resinas catiónicas y ácido cítrico) como indicadores de disponibilidad de P en suelo. Los principales resultados son: la eficiencia de la roca

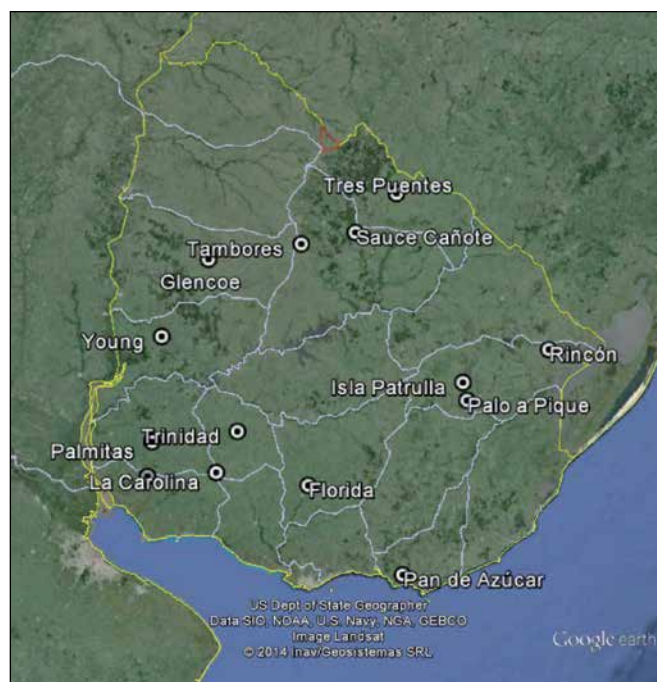


Figura 1. Mapa de ubicación de los 14 sitios experimentales de la red de fertilización de pasturas (2008-2012).

¹ Ings. Agrs. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria

² Ing. Agr. Consultor Independiente

* Autor de contacto. Correo electrónico: rcuadro@tb.inia.org.ar

Tabla 1. Identificación y características edáficas de los 14 sitios experimentales de la red de fertilización de pasturas.

Nombre sitio	Zona agroecológica	Tipo de suelos	Unidad de suelos*	Material generador	Grupo CONEAT**
La Carolina	Sedimentos / Cristalino	Brunosol Éútrico Vértico	La Carolina	Sedimentos cuaternarios sobre Cristalino	10.12
Trinidad	Sedimentos gravillosos / Cristalino	Brunosol Subéútrico	Isla Mala	Sedimentos con gravillas sobre Cristalino	10.3; 5.4
Florida	Cristalino	Brunosol Dístrico Háplico	San Gabriel-Guaycurú	Cristalino	5.02b
Pan de Azúcar	Sierras rocosas del Este	Inceptisol	Sierra de Aiguá, Sierra de Ánimas	Cristalino	2.11a
Palo a Pique	Lomadas del Este	Brunosol Subéútrico Lúvico	Alférez	Sedimentos poco espesos y gravillosos sobre Cristalino	10.7
Isla Patrulla	Sierras no rocosas del Este	Luvisol	Cerro Chato, Bañado del Oro	Sedimentos con gravillas sobre Cristalino alterado	2.13; 2.20
Tres Puentes	Noreste	Brunosol Subéútrico	Tres Puentes	Sedimentos Pelíticos Grises	6.13
Rincón	Bajos del Este	Planosol Subéútrico	Río Branco	Sedimentos limo arcillosos	3.52
Sauce Cañote	Bajos del Noreste	Planosol Dístrico	Río Tacuarembó	Sedimentos	G03.21
Tambores	Basalto profundo	Brunosol Éútrico Vértico	Itapebí - Tres Árboles	Sedimentos limo arcillosos sobre Basalto	12.11; 12.21
Glencoe	Basalto profundo	Vertisol Háplico	Itapebí - Tres Árboles	Sedimentos limo arcillosos sobre Basalto	12.11; 12.21
Ombúes	Litoral Oeste / Libertad	Vertisol Típico	Risso, Libertad	Sedimentos cuaternarios	10.1; 10.8b; parte de 10.5
Young	Litoral Oeste / Fray Bentos	Brunosol Éútrico Vértico	Young, Bequeló	Sedimentos cuaternarios sobre Fray Bentos	11.5; 11.6; parte de 11.4
Palmitas	Litoral Oeste / Cretáceo	Brunosol Subéútrico	Cuchilla del Corralito	Sedimentos arenosos sobre Cretáceo	9.5

* Unidad de Suelos según la Carta de Reconocimiento de Suelos 1:1 millón (MAP/DSF, 1976)
 ** Grupo CONEAT según MGAP/DGRNR/CONEAT (1994)

fosfórica como fuente de P según suelos, la calibración de métodos de análisis de P extractable según tipo de suelo y fuente de P (es decir niveles críticos ajustados), y determinar el *Equivalente Fertilizante* para distintos suelos y según fuentes de fertilizantes.

Las principales características edáficas de los sitios de la mencionada red se presentan en el **Tabla 1**.

Estudio de dominios de inferencia

La investigación agronómica en el área de fertilización de

pasturas está basada en estudios “multi-sitio”, ensayos en redes, o repeticiones de ensayos en distintos sitios, a los efectos de abarcar y comprender la variabilidad debido a las particularidades edáficas (o de distintos “tipos de suelo”).

Se realizó un estudio de dominios de inferencia para poder clasificar y extrapolar los resultados experimentales y, en definitiva, poder realizar inferencias a nivel nacional. Para ello se usó la clasificación desarrollada por un equipo de expertos edafólogos para la Comisión Nacional de Estudios

Agroeconómicos de la Tierra (CONEAT) y su cartografía (MGAP/DGRNR/CONEAT, 1994). El mapa CONEAT está basado en 188 unidades de mapeo (llamados grupos CONEAT), a una escala 1:20 000 y es el único en el país generalizable a nivel predial, y es ampliamente conocido y utilizado por técnicos y productores. Se realizó una re-interpretación de la información disponible para fusionar grupos CONEAT, utilizando las siguientes características de los suelos:

- Material generador, porque incide en el porcentaje y el tipo de arcilla, en el porcentaje y calidad de materia orgánica y en el ciclo de nutrientes, además de influir en el relieve de los grupos CONEAT;
- Textura, fácilmente reconocible en las observaciones de campo aún antes del análisis granulométrico;
- Propiedades químicas: materia orgánica, suma de bases, capacidad de intercambio catiónico, porcentaje de saturación, pH, porcentajes de Al, Na y Fe₂O₃ y presencia de CO₃Ca.

Como resultado de este análisis se obtuvieron 34 dominios de inferencia. Los resultados obtenidos en la red de fertilización de pasturas proveen información para nueve de ellos. En la **Figura 2** se presentan las zonas del país sobre las cuales, con los resultados de la mencionada red, sería posible efectuar recomendaciones de fertilización fosfatada en pasturas. El sistema prevé poder integrar resultados generados anteriormente

y/o en otros experimentos, y así aumentar la base de información que da sustento al mismo.

Bases del sistema para orientar recomendaciones de fertilización fosfatada de pasturas

El funcionamiento general del sistema está resumido

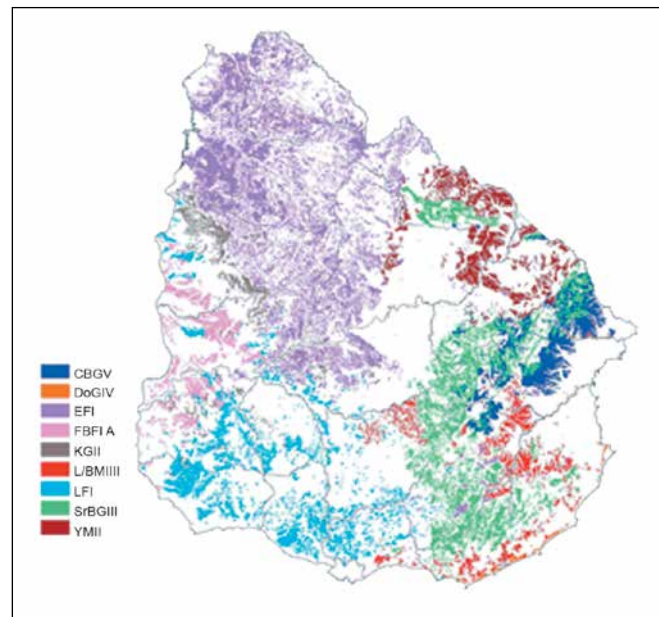


Figura 2. Distribución geográfica de los nueve dominios de inferencia en los que se dispone información a partir de los resultados generados en la red de fertilización.

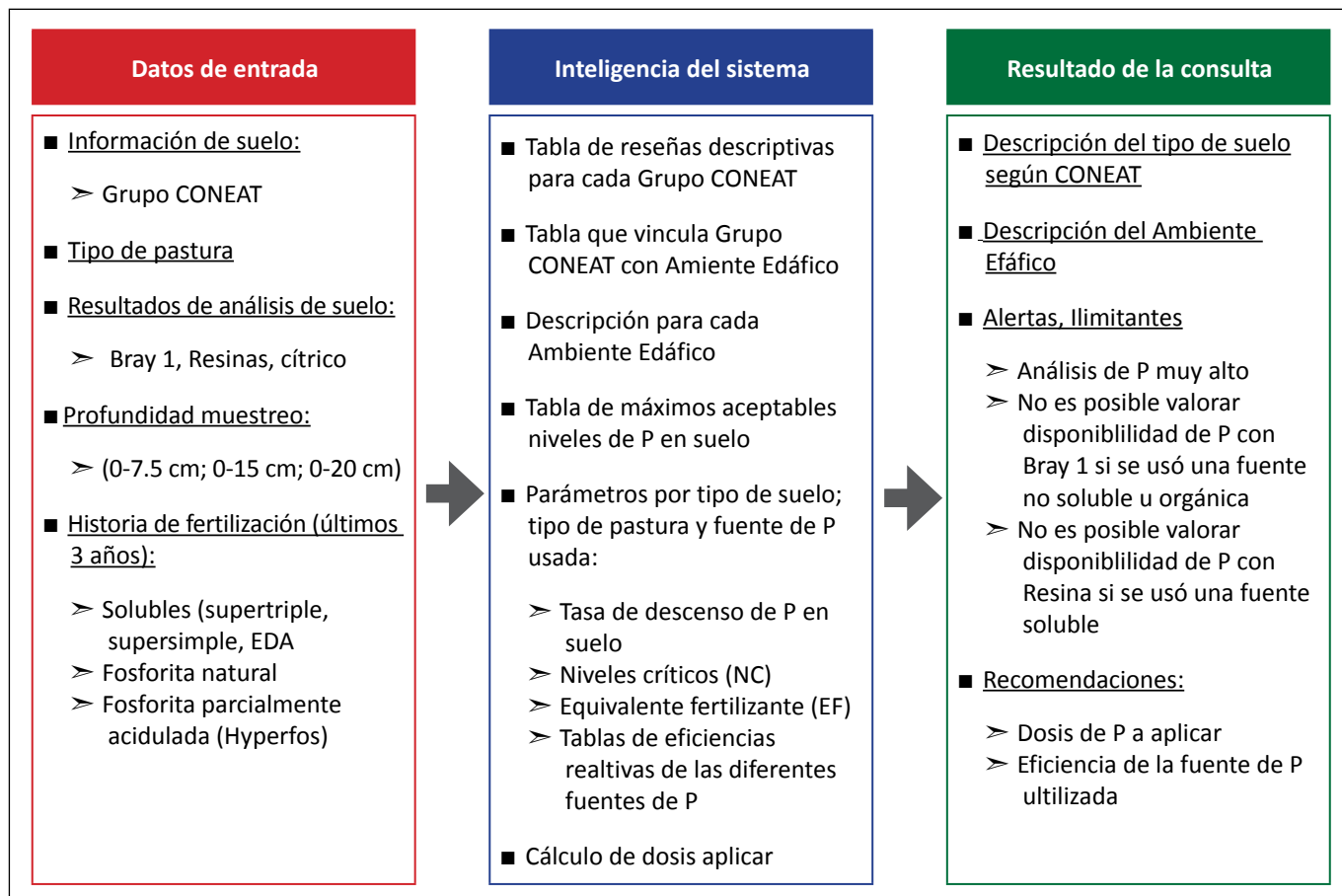


Figura 3. Diagrama del funcionamiento general del sistema de soporte para la recomendación de fertilización fosfatada en pasturas.

gráficamente en la **Figura 3**. Básicamente, el usuario deberá ingresar información del grupo CONEAT, nivel actual de P en el suelo (especificando el método de análisis y profundidad de muestreo) y la pastura a fertilizar. También se requerirá (o será deseable) indicar tipo de fertilizante fosfatado empleado en la historia reciente (Fuentes solubles o roca fosfórica), pues esto condiciona la interpretación de los análisis de suelos.

La información de salida consistirá en una sugerencia de dosis (P_2O_5 ha⁻¹), una medida de la eficiencia de la fosforita natural (respecto a la fuente soluble), una medida la eficiencia de respuesta (expresada como los kg de materia seca producidos por cada kg de P_2O_5 aplicado), y una advertencia de posibles excesos de P en el suelo, en caso que corresponda.

La matriz de ecuaciones generadas está apoyada en una base de datos que tiene la particularidad de que es “dinámica”; esto significa que a medida que se vayan generando nuevos datos relacionados a respuesta a la fertilización, los mismos pueden ser incorporados para de esta manera ir mejorando el ajuste o incorporando suelos donde la red no ha generado información. La incorporación de información nueva va estar sujeta a un estudio previo por parte de una comisión especializada que valorará la pertinencia de dicha información.

Consideraciones finales

Se espera que un sistema de soporte para recomendaciones de fertilización de pasturas permitirá acceder y utilizar la información experimental existente, con el resultado de que se logrará una mayor eficiencia en el uso de los fertilizantes fosfatados a nivel de sistema de producción. Esto estará basado especialmente por un mejor ajuste de los parámetros que son necesarios para efectuar la recomendación de la dosis de P. El ajuste de la fertilización fosfatada en base a indicadores objetivos debería además contribuir a mitigar los problemas de concentración excesiva de P en el suelo, contribuyendo a disminuir los riesgos de contaminación de aguas debido a dicho nutriente. La determinación de los niveles críticos ajustados por tipo de suelo, permitirá manejar las pasturas en base a leguminosas en una condición de fertilidad más ajustada al potencial de producción de acuerdo al ambiente donde se encuentren implantadas.

Bibliografía

- Barbazán, M., M. Ferrando, y J. Zamalvide. 2007. Estado nutricional de *Lotus corniculatus* L. en Uruguay. *Agrociencia*, 11(1):22-34.
- Bordoli, J.M. 2007. Fertilización de pasturas de leguminosas y mezclas de gramíneas y leguminosas. En: Manejo de la fertilidad en sistemas extensivos (Cultivos y Pasturas). Unidad de Educación Permanente y Postgrado. Montevideo: Facultad de Agronomía. pp. 71-79.
- Millot, J., D. Risso, y R. Methol. 1987. Relevamiento de pasturas naturales y mejoramientos extensivos en áreas ganaderas del Uruguay: Informe técnico para la Comisión Honoraria del Plan Agropecuario. Montevideo: MGAP. 199 p.
- Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca - DGRNR - CONEAT. 1994. Índice de productividad. Grupos CONEAT.
- Ministerio de Agricultura y Pesca – Dirección de suelos y fertilizantes. 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay a escala 1/1 000 000 y clasificación de suelos del Uruguay. Montevideo, Uruguay. Tomo 3. 452 p.
- Morón, A. 2007. Avances hacia a una nueva guía de fertilización de pasturas. En: Seminario Internacional de Nutrición Vegetal (Paysandú, Uruguay, 2007). Criterios para la Fertilización de cultivos y pasturas. Paysandú: UDELAR. EEMAC, Facultad de Agronomía.
- Morón, A. 2008. Relevamiento del estado nutricional y la fertilidad del suelo en cultivos de trébol blanco en la zona Este de Uruguay. En: Seminario de actualización técnica: fertilización fosfatada de pasturas en la región este, INIA Treinta y Tres. Montevideo: INIA. Serie Técnica; 172:17-29.

Inclusión de cultivos de cobertura en secuencias agrícolas del sudeste de Córdoba (Argentina)

Cristian R. Cazorla^{1*}, Tomás Baigorria¹, Horacio Videla Mensegue², Alejandra Canale³, Jimena Ortiz¹, y Vanesa Pegoraro¹

- En la región sudeste de Córdoba el cambio de uso del suelo redujo la diversidad y cobertura de suelo, por lo tanto el uso de cultivos de cobertura como antecesores de soja y maíz puede ser una alternativa para revertir esto.
- En nuestro estudio se observó que las coberturas mantuvieron el mismo contenido hídrico del suelo y el rendimiento en soja y maíz comparado al barbecho, destacándose el centeno.
- Se concluye que los cultivos de cobertura son una herramienta adecuada para recuperar la cobertura del suelo, diversificar e intensificar los sistemas de producción.

Introducción

En la provincia de Córdoba (Argentina) se ha observado un incremento en la superficie sembrada con soja (*Glycine max* (L) Merr.) pasando de unas pocas hectáreas en la década del 70 hasta casi 5 millones de hectáreas en la actualidad (Ministerio de Agroindustria, 2017). En el departamento Roque Saenz Peña este incremento estuvo acompañado por una disminución de los sistemas mixtos, los cuales ocupaban un 75% de la superficie, mientras que en la actualidad declinó a un 15% de la superficie con un incremento del cultivo de soja en la rotación (>50%) (Avedano et al., 2017). El uso de monocultivos provoca una disminución en la fertilidad y los nutrientes disponibles para los cultivos (Zhang et al., 2010), además de disminuciones en los contenidos de materia orgánica del suelo (MOS). El mantenimiento y aumento de la MOS es considerado uno de los objetivos primarios en los sistemas agrícolas sustentables (Galantini, 2005). Se estima que desde que se incorporan nuevos suelos a la agricultura hasta establecer sistemas intensivos de cultivo se producen pérdidas de MOS que fluctúan entre 30 y 50% del nivel inicial (Reicosky, 2002). Una alternativa para aumentar los aportes de residuos o disminuir la mineralización del carbono orgánico del suelo (COS) es la utilización de cultivos de cobertura (CC). Los CC son definidos como “cultivos que proveen protección al suelo, a las semillas y mejoras al suelo entre periodos de cultivos de cosecha” (SSSA, 2008).

Si bien hay numerosos antecedentes sobre el efecto positivo de los CC en mejorar las condiciones del suelo (Alvarez et al., 2017), la incorporación de esta estrategia implica mayores costos de insumos y mano de obra. También se reporta una mayor incidencia de plagas y enfermedades, e interferencia en el uso de los recursos tales como el agua del suelo (Pound, 1999). De esta manera, la utilización de CC en regiones con limitantes hídricas puede reducir la disponibilidad de agua para el cultivo siguiente (Blanco Canqui et al., 2015). Los resultados hasta ahora obtenidos muestran que ésta sería la principal limitante de la inclusión de CC invernales en los sistemas de producción de la región central de Córdoba (Basanta et al., 2013). El

consumo de agua por parte de los CC se podría compensar con una mejora en el balance hídrico. Por un lado, se reporta una mejora en la infiltración de agua en el suelo (Alvarez et al. 2016). Por otra parte, hay una disminución de la temperatura superficial que disminuye la evaporación. Esto implica una mejor captación y almacenamiento del agua de lluvia que beneficia a la disponibilidad de agua del suelo para el cultivo principal.

En base a estos antecedentes, se planteó como objetivo evaluar el efecto de la inclusión de CC en los contenidos de agua disponible del suelo y el rendimiento de los cultivos estivales en una rotación soja – maíz de la región sudeste de Córdoba.

Materiales y métodos

Áreas de estudio

Los ensayos se llevaron a cabo en dos localidades del sur de la provincia de Córdoba: Canals (CAN) y Laboulaye (LAB), durante las campañas 2010-2011 y 2011-2012. En el sitio CAN, el ensayo se realizó sobre un suelo clasificado como Haplustol éntico, de textura franco arenosa, con 1.88% de MOS, pH 6.25, CE (dS m⁻¹) de 0,09 y 10 ppm de P Bray a 0-20 cm de profundidad y una capacidad de retención de agua del suelo de 132 mm hasta los 150 cm de profundidad. En el sitio LAB, el ensayo se realizó sobre un suelo clasificado como Haplustol udhorténtico, de textura franco arenosa, con 2.56% de MO, pH 5.7, CE (dS m⁻¹) de 0.06 y 31 ppm de P Bray a 0-20 cm de profundidad y una capacidad de retención de agua del suelo de 152 mm hasta los 150 cm de profundidad. En ambos sitios la napa freática se encontraba entre 150 a 300 cm de profundidad.

Diseño Experimental

Los tratamientos evaluados en una rotación soja-maíz fueron:

- Vicia villosa (*Vicia villosa* roth) (Vicia).
- Centeno (*Secale cereale* L.) (Centeno).
- Testigo sin CC (Testigo).

¹ INTA Marcos Juárez

² AER INTA Laboulaye

³ AER INTA Río Cuarto

* Autor de contacto. Correo electrónico: cazorla.cristian@inta.gob.ar

Tabla 1. Precipitaciones (mm) en diferentes etapas del ensayo en los sitios Canals (CAN) y Laboulaye (LAB) en los años 2010 y 2011.

Sitio	CAN		LAB		
	Año	2010	2011	2010	2011
Etapa 1		105	84	81	90
Etapa 2		171	208	208	150
Etapa 3		412	511	229	478

Etapa 1: Siembra hasta secado del CC; Etapa 2: Secado del CC hasta siembra del cultivo estival; Etapa 3: Siembra hasta cosecha del cultivo estival

En CAN se utilizó además triticale (*X Triticosecale Wittmack*) (Triticale), mientras que en LAB se incluyó avena (*Avena sativa* L.) (Avena). Las unidades experimentales fueron parcelas de 6 x 10 m con un diseño en bloques completos aleatorizados con cuatro repeticiones. Los CC se implantaron en los meses de marzo-abril en 2010 y abril-mayo en 2011. Todos los cultivos se fertilizaron con 60 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico (18-46-0, 18% N y 20% P) y en CC gramíneas se fertilizó con 120 kg ha⁻¹ de urea (46% N) en el año 2010 y 160 kg ha⁻¹ en el año 2011 solo en CAN. El control de malezas en pre-siembra de los CC se realizó con glifosato. La finalización del ciclo de los CC se realizó con control químico (glifosato y 2.4 D) en los meses de septiembre y octubre en ambos años. En el año 2010 posterior al secado de los CC se sembró soja el 02/11 en CAN mientras que en LAB la fecha fue el 25/11. En el año 2011 posterior al secado de los CC se sembró maíz el 01/12 y 13/12 en CAN y LAB, respectivamente. La densidad de siembra de soja fue de 270 000 plantas por ha, mientras que en maíz fue de 65 000 plantas por ha.

Recolección y procesamiento de datos

Se determinó humedad del suelo a través del método gravimétrico a las profundidades 0-20, 20-40, 40-60, 60-100 y 100-150 en tres momentos: siembra de los CC, secado de los CC y siembra de los cultivos estivales. Se calculó el agua disponible (AD) a través de los valores de densidad aparente y constantes hídricas determinadas para cada horizonte. Luego a través de la sumatoria del AD de cada horizonte se obtuvieron los contenidos de AD total del perfil (0-150 cm). En los CC se midió la materia seca (MS) aérea previo al momento de secado a través de método destructivo con cortes del material en 1 m lineal de suelo en los surcos centrales de cada unidad experimental. Las muestras se colocaron en estufa con ventilación forzada a 60 °C hasta peso constante. Por último se determinó el rendimiento en grano mediante la cosecha manual de 10 m². A partir de los datos obtenidos se calcularon diferentes índices para evaluar el comportamiento de los CC. Se calculó el costo hídrico (CH) de la inclusión de los CC como la diferencia entre el AD al secado de los tratamientos con CC y el AD del tratamiento Testigo. El agua consumida (AC) por los CC se calculó mediante el AD al secado de los CC menos el AD a la siembra de los CC, más las precipitaciones. La eficiencia en el uso del agua (EUA) de los CC se calculó mediante el cociente entre la producción de MS y el AC.

Los resultados fueron evaluados estadísticamente a través de análisis de varianza (ANOVA) y test de comparación de medias LSD de Fisher mediante software estadístico INFOSTAT (Di Renzo et al., 2011).

Las precipitaciones en el año 2010 y 2011 para ambos sitios se pueden observar en la **Tabla 1**. Las menores precipitaciones se observaron en el periodo siembra - secado de los CC (Etapa 1) mientras que las mayores precipitaciones se dieron en el periodo siembra – cosecha de los cultivos estivales (Etapa 3). Las precipitaciones en el periodo secado de los CC - siembra de los cultivos estivales (Etapa 2) fueron superiores a 150 mm en todas las condiciones evaluadas.

Resultados y discusión

Dinámica del agua en el suelo

En el sitio CAN se observaron diferencias en los contenidos de AD al momento de secado de los CC solo en el año 2010, donde el Testigo presentó mayor contenido de AD que los tratamientos con CC. En el sitio LAB, el Testigo presentó mayores contenidos de AD que los CC para ambos años evaluados (**Figura 1A**). A la siembra de los cultivos estivales no hubo diferencias significativas en los contenidos de AD entre los tratamientos con CC y el Testigo. Las precipitaciones en la etapa 2 (secado CC – siembra del cultivo estival) fueron entre 150 y 208 mm en ambos sitios y años evaluados, lo que permitió la recarga del perfil a la siembra de los cultivos estivales.

La disminución en los contenidos de AD del suelo al secado de los CC se ha reportado en algunos estudios. Alvarez et al. (2017) reportaron en un meta-análisis de ensayos con CC de la Argentina, que los CC disminuyen entre 15 y 30% las reservas de AD del suelo. Sin embargo, esta disminución en los contenidos de AD es atenuada por el barbecho de agua que ocurre entre el secado de los CC y la siembra de los cultivos estivales (30 a 45 días). Esto ocurre porque al incorporar CC en las rotaciones se reporta una mejora en la infiltración (Alvarez et al., 2016) que permite aumentar la captación de agua de lluvia. Por otro lado, también se reportan disminuciones en la temperatura superficial del suelo por efecto de los residuos secos de CC, lo que provoca una disminución de la evaporación de agua del suelo (Reeves, 1994). Ambos procesos explicarían la recuperación de los contenidos de AD en las situaciones con CC.

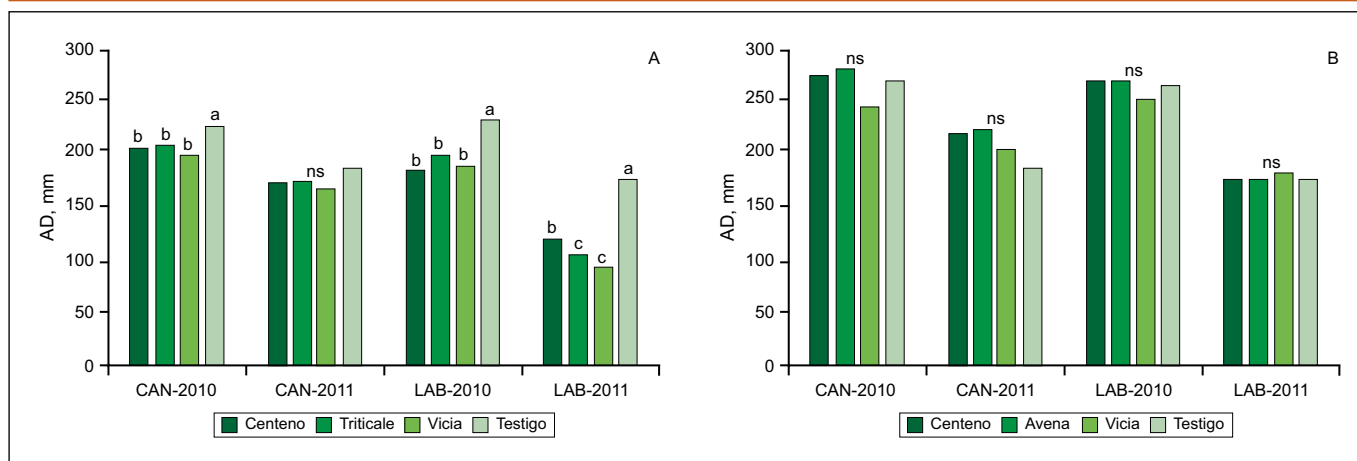


Figura 1. Agua disponible (AD) al secado (A) de los cultivos de cobertura y a la siembra del cultivo de verano (B). Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) según test de Fisher.

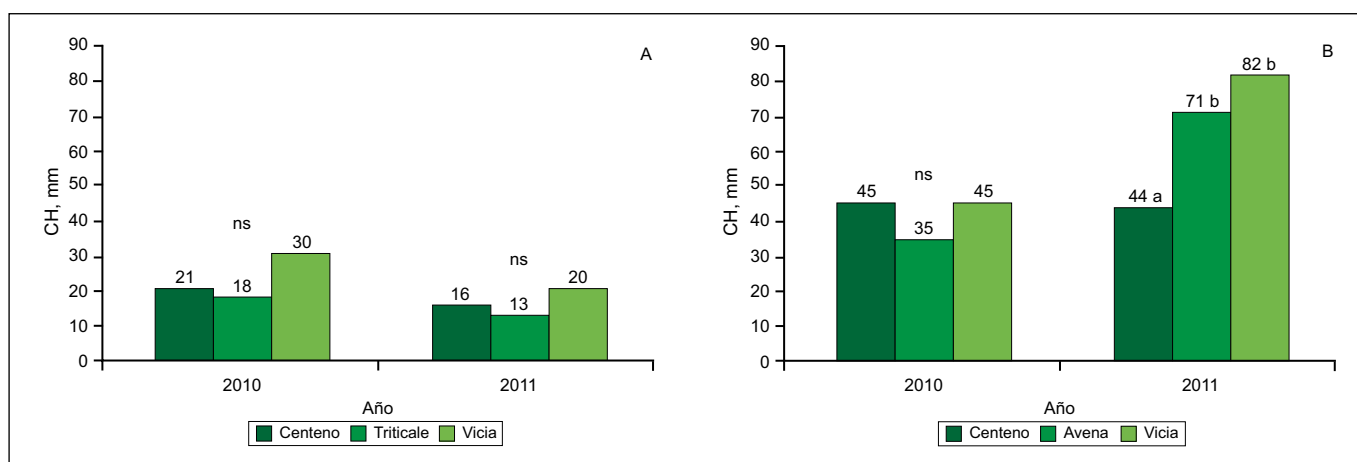


Figura 2. Costos hídricos de los diferentes CC en el sitio Canals (A) y Laboulaye (B). Letras diferentes indican diferencias significativas según LSD Fisher ($p < 0.05$).

En el sitio CAN se observó que el CH fue inferior a 30 mm para todos los CC en ambos años evaluados, sin diferencias significativas entre CC (**Figura 2A**). En cambio en LAB, los CH fueron de 35 a 45 mm en el año 2010 y de 44 a 82 mm en el año 2011 (**Figura 2B**). En este último año, el tratamiento Centeno presentó menor CH que Avena y Vicia. Los mayores CH observados en LAB 2011 se debieron a que los contenidos de AD a la siembra de los CC para ese año fueron de 137 mm, mientras que para el año 2010 los contenidos de AD para el mismo periodo fueron de 190 mm. Las precipitaciones en la etapa 2 fueron similares entre años. Por lo tanto menores contenidos de AD a la siembra de los CC determinaron mayores CH.

Biomasa del cultivo de cobertura y eficiencia de uso de agua

La producción de MS de los CC presentó diferencias dentro de cada año y localidad. En CAN el Centeno tuvo mayor producción de MS que Vicia para ambos años evaluados, mientras que solo presentó mayor acumulación de MS que Tr en el año 2010 (**Figura 3A**). En LAB el C tuvo mayor producción de MS que Avena y Vicia en el año 2010, mientras que en el año 2011 no se observaron diferencias entre CC (**Figura 3B**). Los contenidos de AD a la siembra de los CC en CAN fueron de 235 y 176 mm para los años

2010 y 2011, respectivamente. De igual manera, en LAB fueron de 189 y 136 mm para los años 2010 y 2011, respectivamente. El menor contenido de AD en el año 2011 para ambos sitios determinó una menor producción de MS de los CC con respecto al año 2010 (**Figura 3A**).

En el sitio CAN, las EUA fueron mayores en Centeno y Tr con respecto a Vicia en el año 2010, mientras que en el año 2011, no hubo diferencias significativas en los valores de EUA observados (**Figura 4A**). En el sitio LAB, el Centeno presentó mayor EUA que Vicia para ambos años evaluados, mientras que solo fue mayor que Avena en el año 2011 (**Figura 4B**). Los valores de EUA en Centeno fueron los mayores, con valores de 55 a 113 kg ha⁻¹ de MS por mm⁻¹ de AC, mientras que en Vicia fueron menores, (23 a 39 kg ha⁻¹ de MS por mm⁻¹ de AC). Los valores de EUA permiten identificar que especies logran acumular mayor MS por unidad de AD de suelo consumida. Considerando similares CH de las diferentes especies evaluadas, se destaca el cultivo de Centeno por su alta EUA.

Considerando las variables evaluadas, La inclusión de CC disminuyó el contenido de AD en el perfil al secado de los CC en CAN y LAB. Sin embargo, las precipitaciones fueron suficientes para la recarga del perfil. El C como CC presentó mayor producción de MS, EUA y menores CH que Vicia en ambos sitios y años evaluados.

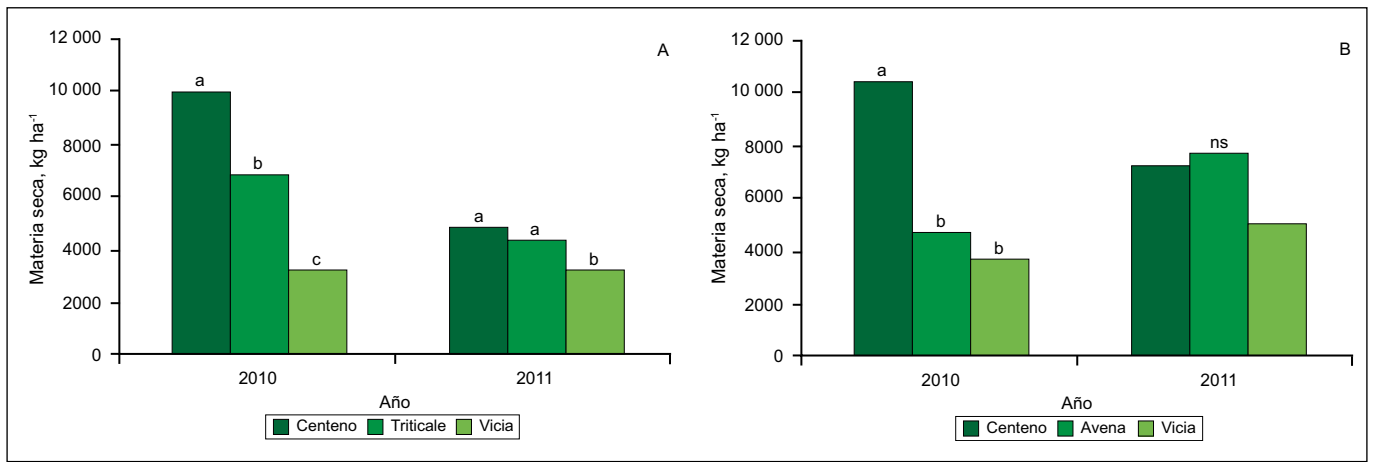


Figura 3. Producción de materia seca al momento del secado de los cultivos de cobertura para Canals (A) y Laboulaye (B). Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en el test de Fisher.

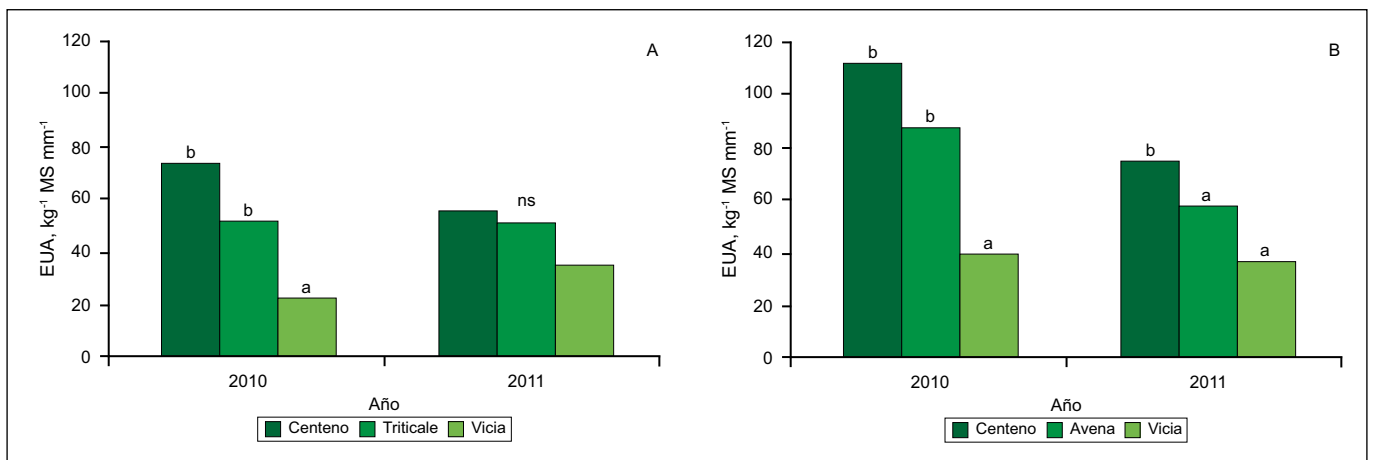


Figura 4. Eficiencia en el uso del agua (EUA) de los cultivos de cobertura para los sitios Canals (A) y Laboulaye (B) en los dos años evaluados. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) según LSD Fisher.

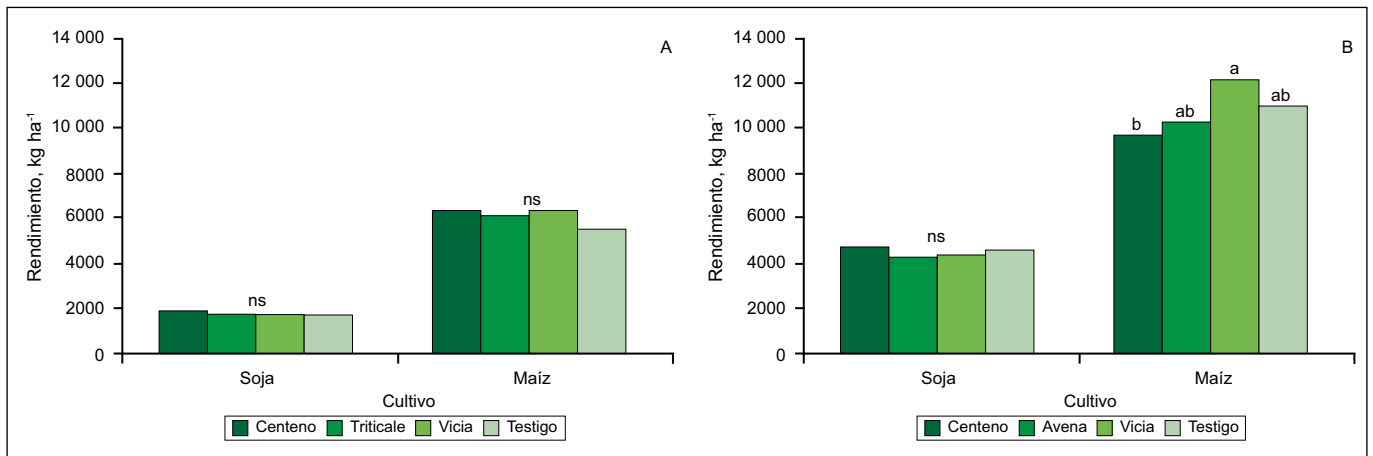


Figura 5. Rendimiento en grano para maíz y soja en Canals (A) y Laboulaye (B) con distintos cultivos de cobertura como antecesor. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) según test de Fisher.

Rendimiento del cultivo de cosecha

Los rendimientos de maíz y soja no fueron modificados por la inclusión de CC con respecto al Testigo (**Figuras 5A y 5B**). Sin embargo, se observó en LAB que el tratamiento Centeno provocó una disminución del rendimiento de maíz con respecto a Vicia. Cuando el CC antecesor es una gramínea se ha reportado disminución en el rendimiento de maíz (Salmerón et al., 2010) debido a los bajos

contenidos de N en suelo y a la mayor relación C/N de la biomasa de los residuos que causan inmovilización del N. En cambio, cuando el CC antecesor es una leguminosa se han logrado incrementos en los rendimientos debido a un mayor aporte de N (Cazorla et al., 2013). El rendimiento del cultivo de soja no fue modificado por incluir CC en ninguno de los sitios evaluados (**Figura 5B**). Esto pudo deberse a que los CC no afectaron significativamente los contenidos de AD a la siembra. Si bien se reportan

diminuciones en los contenidos de N del suelo por efecto de los CC, esto no determina disminuciones en el rendimiento de soja. Esto es coincidente con una revisión de ensayos de CC donde se reporta que los CC no afectaron los rendimientos de soja en las regiones sub-húmedas y semiáridas pampeana (Rimski-Korsakov et al., 2015).

Conclusión

La utilización de CC en la región sudeste de Córdoba es una práctica adecuada que permite intensificar y diversificar la secuencia de cultivos sin afectar los contenidos de AD a la siembra de los cultivos estivales ni su rendimiento. El Centeno como CC sería indicado previo a la siembra de soja por la buena producción de materia seca, mientras que, para maíz, Vicia podría ser más conveniente respecto de una gramínea ya que hay riesgo de que estas representen un efecto negativo sobre el rendimiento de maíz.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Proyecto Regional con Enfoque Territorial Agrícola Ganadero del Sudeste (CORDO 1262102) de INTA por financiar las actividades.

Bibliografía

- Alvarez, C., M Barraco, C. Cazorla, J.C. Colazo, J. De Dios Herrero, A. Lardone, P. Girón, S. Restovich, y S. Rillo. 2016. Mejora de propiedades edáficas con inclusión de cultivos de cobertura en agroecosistemas pampeanos. *Proceedings of XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*.
- Alvarez, R, H.S. Steinbach, y J.L. De Paepe. 2017. Cover crop effects on soils and subsequent crops in the pampas: A meta-analysis. *Soil & Tillage Research* 170:53-65.
- Avedano, L., A Salafia, y H. Videla Mensegue. Informe de situación hídrica del depto. Roque Saenz Peña y zonas aledañas. 2017. http://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_exc_hidrico_depsena17.pdf
- Basanta, M., C Alvarez, J.P. Giubergia, y E. Lovera. 2013. Cultivos de cobertura en sistemas de agricultura continua en la región central de Córdoba. *Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción*.
- Blanco-Canqui, H., T.M. Shaver, J.L. Lindquist, C.A. Shapiro, R.W. Elmore, C.A. Francis, y G.W. Hergert. (2015). Cover crops and ecosystem services: Insights from studies in temperate soils. *Agronomy Journal*, 107(6):2449-2474.
- Cazorla, C., A. Lardone, M. Bojanich, B. Aimetta, D. Vilches, y T. Baigorria. 2013. Antecesoros de maíz: ¿barbecho o cultivos de cobertura? En: *Contribuciones de los Cultivos de Cobertura a la Sostenibilidad de los Sistemas de Producción*. Eds. C. Álvarez et al., Anguil, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología, Agropecuaria Estación Experimental Agropecuaria. pp. 181-185.
- Di Rienzo, J., F. Casanoves, M. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada, y C. Robledo. 2011. *InfoStat versión 2011*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Galantini, J. 2005. Separación y análisis de las fracciones orgánicas. En: *Tecnología en Análisis de Suelos: Alcances a laboratorios agropecuarios*. (Eds. L. Marban y S. Ratto) de la AACs. Capitulo IV parte 2, pp. 103-114.
- Ministerio de Agroindustria. 2017. Estimaciones agrícolas. Presidencia de la Nación Argentina. Disponible en: <https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/estimaciones/>
- Pound, B. 1999. Cultivos de cobertura para la agricultura sostenible en América. In *Conferencia electrónica de la FAO sobre "Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica"*.
- Reeves, D. 1994. Cover crops and rotations. In *Crops Residue Management, Advances in Soil Science*, ed J Hatfield and B. Stewart, 125-172. Boca Rotan, FL: Lewis Publishers.
- Reicosky, D. 2002. Long - Term Effect of Moldboard Plowing on Tillage -Induced CO₂ Loss, in J. M. Kimble, R. Lai and R. F. Follet: *Agricultural Practices and Policies for Carbon Sequestration in Soil*. Lewis Publishers. Papers from symposium held July 1999 at Ohio State University, Columbus, Ohio, pp. 87-96.
- Rimski-Korsakov, H., C.R. Alvarez, y R.S. Lavado. 2015. Cover crops in the agricultural systems of the Argentine Pampas. *Journal of Soil and Water Conservation*, 70(6):134-140.
- Salmerón, M., J. Cavero, D. Quilez, y R. Isla. 2010. Winter cover crops affect monoculture maize yield and nitrogen leaching under irrigated Mediterranean conditions. *Agron. J.* 102:1700-1709. doi:10.2134/agronj2010.0180.
- SSSA. 2008. Glossary of soil science terms. SSSA, Madison, WI. doi:10.2136/2008.glossarysoilscienceterms
- Zhang, W.J., X.J. Wang, M.G. Xu, S.M. Huang, H. Liu, y C. Peng. 2010. Soil organic carbon dynamics under long-term fertilizations in arable land of Northern China. *Biogeosciences*, 7:409-25

Cursos y Simposios

Esta sección presenta eventos futuros en el ámbito regional e internacional que pueden ser de interés de los lectores

1. XXII Reunión Internacional ACORBAT 2018

Organiza : EXPOPLAZA
Lugar : Miami, Florida, EE.UU.
Fecha : 2-4 Mayo, 2018
Información : <http://www.acorbat.ec>

2. Congreso Internacional de Suelos 2018

Organiza : SCCS
Lugar : La Habana, Cuba
Fecha : 2-4 Mayo, 2018
Información : <http://www.sueloscuba.com>

3. InfoAg 2018 - El evento de Agricultura de Precisión

Organiza : IPNI
Lugar : St. Louis, EE.UU.
Fecha : 17-19 Julio, 2018
Información : <https://infoag.org>

4. XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo

Organiza : AACCS
Lugar : San Miguel de Tucumán, Argentina
Fecha : 15-18 Mayo, 2018
Información : <https://www.congresosuelo2018.org>

5. XIII Conferencia Internacional de Arroz para América Latina y el Caribe

Organiza : FLAR-SEMILLAS EL PROTERO-CIAT-CGIAR
Lugar : Piura, Perú
Fecha : 15-18 Mayo, 2018
Información : <http://www.conferenciaarrozalc2018.org>

6. X Congreso Mundial de la Papa 2018 - WPC2018

Organiza : INIA
Lugar : Cusco, Perú
Fecha : 27-31 Mayo, 2018
Información : <https://www.worldpotatocongress2018-alap.org/en/home>

7. VII Congreso Internacional de Nutrición y Fisiología Vegetal Aplicadas

Organiza : INTAGRI
Lugar : Guadalajara, Jalisco, México
Fecha : 11-13 Julio, 2018
Información : <https://www.intagri.com/cursos/presenciales/congreso-Internacional-de-nutricion-y-fisiologia-vegetal>

8. XXII Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo "Suelo y tecnología de la mano para un futuro sustentable"

Organiza : SVCS
Lugar : Maracay, Aragua, Venezuela
Fecha : 17-20 Julio, 2018
Información : <http://svcs.org.ve>

9. XXI Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo

Organiza : SBSCS-SLCS-IUSS
Lugar : Río de Janeiro, Brasil
Fecha : 12-17 Agosto, 2018
Información : 21wcss@21wcss.org
<https://www.21wcss.org>

10. XIX Conferencia Internacional sobre Palma de Aceite

Organiza : FEDEPALMA-CENIPALMA
Lugar : Cartagena de Indias, Colombia
Fecha : 26-28 Septiembre, 2018
Información : <http://web.fedepalma.org/xviii-conferencia/es/la-conferencia>

11. Segundo Congreso Mundial de Alfalfa

Organiza : Ministerio de Agroindustria, Argentina
Lugar : Córdoba, Argentina
Fecha : 11-14 Noviembre, 2018
Información : <http://www.worldalfalfacongress.org>

Publicaciones Disponibles IPNI-Norte de Latinoamérica

Titulo de la Publicación	Costo (U\$S)
<p>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>	