



FERTILIZAR

ASOCIACION CIVIL

20 años

Junio 2014 | N° 28

FERTILIZACION DE PASTURAS Y VERDEOS INVERNALES

BASES PARA UN MANEJO EFICIENTE DE SUELOS Y
NUTRIENTES

• CLAVES PARA OPTIMIZAR LA FERTILIZACIÓN
DEL CULTIVO DE TRIGO

• MANEJO DE FÓSFORO EN SECUENCIAS
CONTINUAS DE SOJA



ENTREVISTA A PABLO PUSSETTO
Presidente de Fertilizar Asociación Civil

Sumario

REVISTA FERTILIZAR - N° 28 - Junio 2014

EDITORIAL

Por María Fernanda González Sanjuan

▶ 03



Las innovaciones en la eficiencia del uso de nutrientes

Por Ricardo Melgar

▶ 04

10 ▶

Claves para optimizar la fertilización del cultivo de trigo

Ing. Agr. M.Sc Martín Torres Duggan



Respuesta a la fertilización en diferentes grupos de madurez de soja en campañas climáticamente contrastantes.

Por: Gustavo Ferraris y Lucrecia Couretot. INTA Pergamino

▶ 10

16 ▶

Entrevista a Pablo Pussetto

"No existe un adecuado balance entre extracción y reposición de nutrientes"



Fertilización de pasturas y verdeos invernales: bases para un manejo eficiente de suelos y nutrientes

Por Martín Torres Duggan

▶ 19

24 ▶

Manejo de fósforo en secuencias continuas de soja



Novedades Fertilizar ▶ 30



Mi primer artículo ▶

¿Cómo afecta el azufre el crecimiento radical y la eficiencia de uso del nitrógeno en trigo?

Por Walter Cariochi

▶ 32

STAFF

FERTILIZAR
Asociación Civil**Presidente**

Pablo Pussetto (Profertil S. A.)

Vicepresidente 1°

Víctor Accastello (ACA)

Vicepresidente 2°

Jorge Bassi (Bunge Argentina S.A.)

Secretario

Ezequiel Resnicoff (YPF)

Prosecretario

Camila López Colmano (Nidera S.A.)

Tesorero

Diego Antonini (Profertil)

Protesorero

Marco Prenna (ACA Coop. Ltda.)

Vocales Titulares

Federico Daniele (ASP)

Margarita González (YARA)

Pedro Faltthausen (Bunge Argentina S.A.)

Mariano Scariabarossi (MOSAIC S.A.)

Revisores de Cuentas

Francisco Llambías (Profertil S. A.)

Guillermo Pinto (ASP)

Comité Técnico

R. Rotondaro

G. Deza Marín

M. Palese

M. Díaz Zorita

G. Moreno Sastre

D. Germinara

P. Poklepovic

M. F. Missart

M. Toribio

M. Zaro

M. Avellaneda

Gerente Ejecutiva

M. Fernanda González Sanjuan

ACA

MOSAIC

ASP

NIDERA

AGRILQUIDSOLUTIONS

NITRON

AMEROPACONOSUR SRL

NOVOZYMES

BUNGE

PHOSCHEM

COMPOARGENTINA

PROFERTIL

EL BATEL

RECUPERAR SRL

EMERGER

RIZOBACTER

FULLTECSRL

STOLLERARGENTINA

HELMARGENTINA

TIMACAGROARGENTINA

KEYTRADEAG

TRANSAMMONIA

LOUISDREYFUS

YARA

COMMODITIES

YPFSA.

MOLINOSRIODELA PLATA

Asesor de Contenidos

Ricardo Melgar

Corrección

Martín L. Sancia

Coordinación General

Paula Vázquez

Producción

Horizonte A Ediciones

EDITORIAL ▶

Les presentamos el primer número de este año, un año muy especial para nuestra entidad ya que festejamos nuestro 20° aniversario. Estamos muy orgullosos de los logros concretados por la industria en todos estos años y, de cara al futuro, reafirmamos nuestro compromiso en trabajar permanentemente para lograr los niveles óptimos de reposición de nutrientes que aún debemos alcanzar.

En Argentina, cerca del 75% del consumo de fertilizantes se distribuye entre los cultivos extensivos de trigo, maíz, soja, girasol, cebada y sorgo. En este contexto, actualmente solo se fertiliza el 40% de la superficie sembrada de soja. Por otra parte, las dosis promedio aplicadas a cultivos extensivos en el país aún son bajas, lo que se traduce en una reposición de nutrientes también baja, del 34 %. Esto implica que el aporte de nutrientes para la generación de rendimiento y calidad de los cultivos lo hace en mayor medida el suelo y esta situación está lejos de ser sustentable económica y ambientalmente.

Es mucho el rendimiento que estamos resignando y el techo lo fija, en muchas ocasiones, la disponibilidad de nutrientes que tienen los cultivos. Por eso decimos que aún nos queda mucho por hacer en la difusión del contundente impacto productivo y económico que tiene la tecnología de la fertilización además de su contribución en la conservación del recurso suelo.

En este número, incluimos varios artículos de interés que apuntan a este fin. En primera instancia una entrevista a nuestro Presidente, Pablo Pussetto, que comparte su visión de la industria y los desafíos por delante. También compartimos trabajos sobre los siguientes temas: aplicación de fertilizantes nitrogenados en soja, en la que presentamos una experiencia brasileña; fertilización de pasturas y verdeos invernales: bases para un manejo eficiente de suelos y nutrientes; claves para optimizar la fertilización del cultivo de trigo y fertilizantes de eficiencia mejorada. Y presentamos un trabajo que realizamos sobre manejo de fósforo en secuencias continuas de soja.

Además, como hacemos en cada uno de nuestros últimos números porque consideramos clave la difusión de los trabajos de los futuros profesionales del sector, incluimos un trabajo de tesis acerca de cómo afecta el azufre el crecimiento radical y la eficiencia de uso del nitrógeno en trigo.

Por otra parte, compartimos algunas actividades de esta primera parte del año como la visita de la Charlotte Hebebrand, Directora Ejecutiva de la IFA, entidad que nuclea a todas las asociaciones nacionales de fertilizantes a nivel mundial y de la que Fertilizar es miembro y la visita a ensayos de fertilidad de larga duración, entre otras; así como el relanzamiento de nuestra página web www.fertilizar.org.ar y el anuncio de nuestra presencia en redes sociales. Allí también esperamos encontrarlos y que nos contacten para acceder a información actualizada de fertilización de cultivos y reposición de nutrientes, además de realizarnos las consultas que deseen.

Como mencioné anteriormente, en la celebración de los 20 años del nacimiento de la entidad, quienes formamos parte de FERTILIZAR, trabajaremos en pos de concientizar sobre la importancia del uso racional del fertilizante y la sustentabilidad del sistema productivo, por medio de la difusión de información técnico-científica adaptada a la realidad local, que explique las ventajas agronómicas y económicas del agregado balanceado de nutrientes sobre la productividad de cultivos y pasturas y sobre la fertilidad del suelo para una agricultura sustentable.

Cordialmente,

Ing. Agr. Ma Fernanda González Sanjuan
Gerente Ejecutivo

Ing. Agr. Ricardo Melgar
Est. Exp. Pergamino INTA
rjrmelgar@gmail.com

LAS INNOVACIONES EN LA EFICIENCIA del uso de nutrientes

La agricultura tiene por delante un gran desafío para satisfacer la creciente demanda mundial de alimentos, fibras y biocombustibles. En este sentido, el rol de los países del Mercosur en la producción de granos es esencial para la satisfacción de esta demanda. Al ritmo actual de crecimiento de la producción de cereales, en diez años el Mercosur suministrará 425 millones de toneladas de granos por año, un aumento de 113 millones de toneladas por sobre el producido en 2012. Se espera que este aumento sea logrado por el aumento de la superficie cultivada, de casi 22 millones de hectáreas, además del aumento de los rendimientos de grano por unidad de área, que para la región es 1,6 % y 2,2 % anual para la soja y el maíz respectivamente.

El crecimiento económico mundial y el surgimiento de la clase media en las naciones emergentes, junto con la expansión de la población mundial, son los principales responsables de la creciente presión colocada en la agricultura para lograr ese aumento de la producción de productos agrícolas. La pobreza está claramente en disminución, sobre todo en las grandes economías emergentes como China, India y Brasil. Así como también el número de hogares de clase media en los países en desarrollo que pasará de alrededor del 24% de los hogares en 2012 a una previsión del 51 % en 2020. Esto tendrá un impacto significativo en las dietas consumidas en estas naciones, tanto en términos de cantidad y calidad, y va a liberar una mayor proporción más del ingreso disponible para gastar en alimentos «de lujo», tal como una mayor cantidad de proteínas de origen animal.

Los agricultores y empresas agrícolas pueden tranquilamente satisfacer esta creciente demanda de alimentos, fibras y combustibles, ya sea cultivando más tierras, aumentando los rendimientos en las tierras ya cultivadas o por una combinación de ambos efectos. La expansión de la superficie cultivada en cantidades significativas solo es factible en un limitado número de países. Por otra parte son cuestionables varios aspectos sobre la calidad de la tierra adicional posible de utilizarse así como el impacto ambiental en otros ecosistemas, y la infraestructura disponible en estas áreas nuevas, normalmente a una distancia considerable de los puertos y de los mercados.

Elevar los niveles de rendimiento parece ser la opción más fructífera. Este aumento de la productividad por unidad de área es el resultado de un complejo de innovaciones en toda la cadena de valor. Es la combinación de factores tales como programas de mejoramiento genético, mejores medidas de nutrición y de protección de cultivos, así como una mayor educación de los agricultores para la aplicación de las mejores prácticas de manejo de cultivo. Al analizar en detalle el aumento de la productividad debido a una mejor nutrición, advertimos que ésta no solo depende de la cantidad de nutrientes necesarios para sostener un aumento potencial de la producción, sino de una mayor eficiencia esperada en el uso de estos nutrientes; la que más allá de un cierto nivel de aplicación, esta última tiende a disminuir con el aumento de la dosis del nutriente aplicado. A su vez, este problema puede abordarse mediante una mejora en la sincronización del suministro de nutrientes con la demanda del cultivo, lo que reduce las pérdidas de estos nutrientes del suelo así como los mecanismos de inmovilización de nutrientes dentro del suelo.

FERTILIZANTES DE EFICIENCIA MEJORADA

Los avances en tecnología de fertilización pueden ayudar. La eficiencia del uso de nitrógeno se puede elevar, por ejemplo, a través de la aplicación de fertilizantes estabilizados, como por ejemplo urea con inhibidores de ureasa o de la nitrificación. También los fertilizantes fosfatados pueden mejorar la tasa de aprovechamiento con polímeros que mejoran la protección y liberación de nutrientes. Ambos tipos de productos, aditivos para mejorar la eficiencia de uso de N y de P en fertilizantes nitrogenados y fosfatados existen ya en el mercado disponible para uso de los productores. En Brasil solamente, cerca del 10 % de toda la urea consumida se trata con estos productos, y más de un millón de t de fosfatos son tratados con polímeros de distintas compañías. Sin embargo, para que estos productos sean adoptados en una mayor escala deben ser rentables, y hasta la fecha, la incorporación de este tipo de productos por la comunidad agrícola internacional ha sido lenta. ¿Será este el caso en el futuro? La tendencia global en innovaciones tecnológicas es que pasado los primeros años los nuevos productos se abaratan y se adoptan más masivamente. Y más importante aún: ¿Tendrán estos productos diseñados para mejorar la eficiencia en el uso de fertilizantes un papel más importante para desempeñar en el futuro? De aquí la relevancia de estas preguntas. ¿Podrá esta tecnología de fertilizantes de mayor eficiencia mitigar la expansión de la agricultura hacia tierras de

Figura 1.

Evolución del área cultivada en el Mercosur y su proyección al 2023. Distribución geográfica de la soja en Brasil y Argentina.

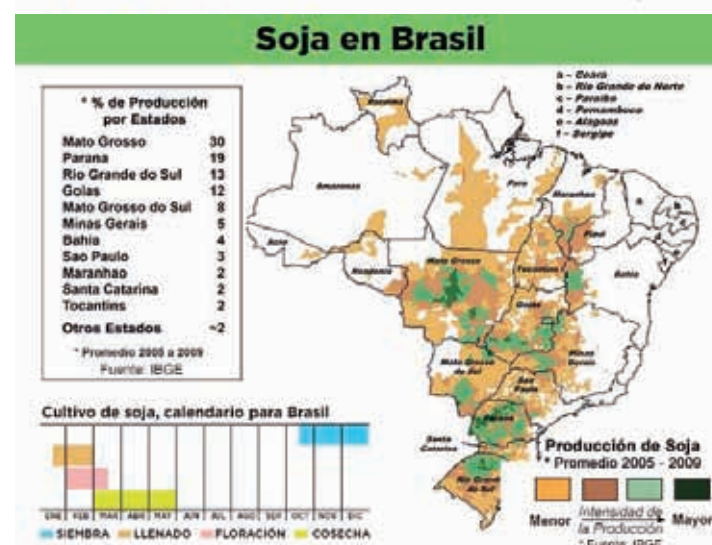
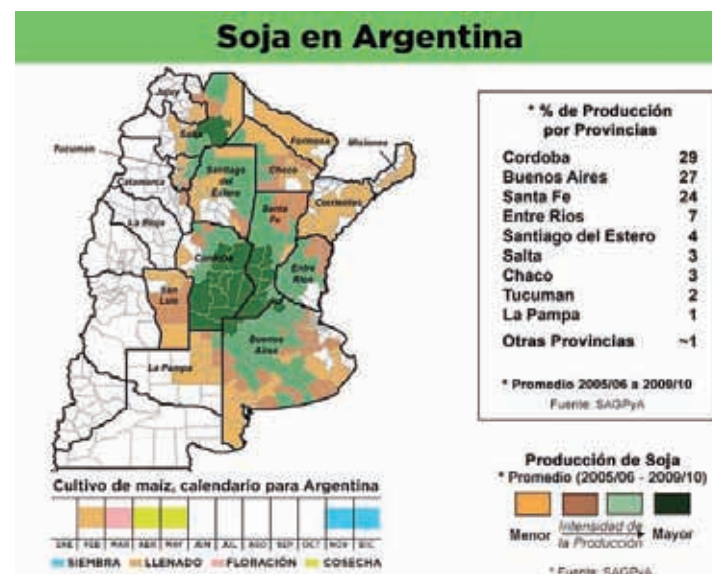
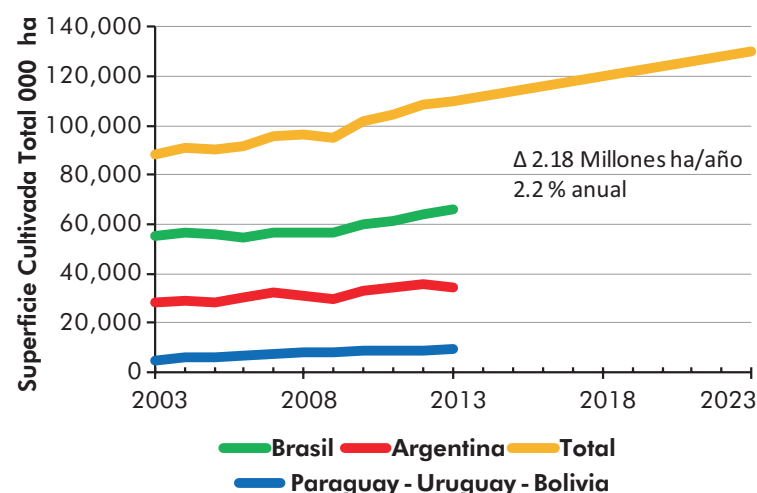


Figura 2.

Evolución de los rendimientos nacionales de soja y maíz en los países del Mercosur en la última década.

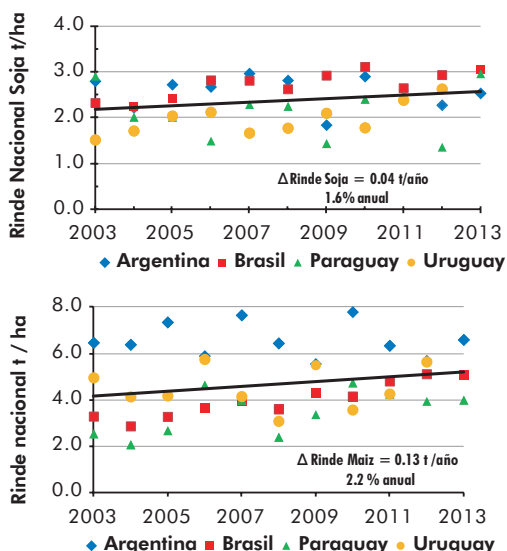


Figura 3.

Evolución de los Factores Parciales de Productividad de N y P (como P₂O₅) para maíz y soja en Brasil y Argentina en la última década.

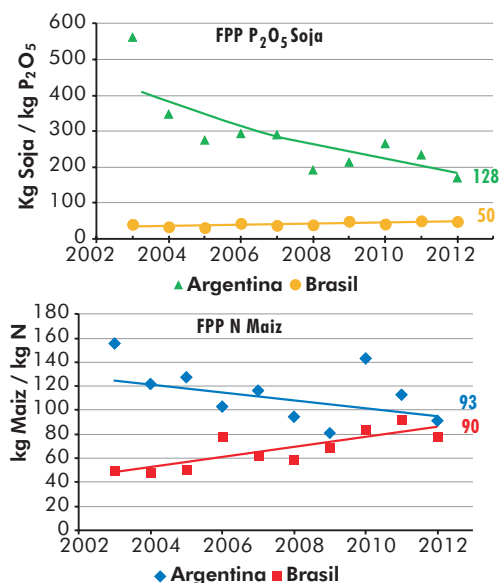


Tabla 1.

Producción de soja y maíz en Argentina y Brasil. Dosis de uso corriente de N y de P en maíz y soja respectivamente, productividades actuales y factores parciales de productividad de N y de P.

Rendimiento medio nacional			FPP P ₂ O ₅	Dosis P ₂ O ₅	
		t/ha	kg Gr/kg P ₂ O ₅	kg/ha	
Soja	Argentina	2.8	128	22	↑
	Brasil	3.0	50	60	=
			FPP N	Dosis N	
		t/ha	Kg grano /kg N	Kg/ha	
Maíz	Argentina	6.5	93	70	↑
	Brasil	3.6	90	40	=

menor calidad, limitando el impacto de la deforestación, de la erosión y otras formas de degradación ambiental?

La expansión de la agricultura en la región. ¿Necesaria?

Solo dos regiones tienen potencial para un importante aumento de la superficie cultivada en el futuro: África al sur del Sahara tiene algo más de 200 millones de hectáreas de tierras disponibles, bastante más que otras 123 millones de ha en América Latina. Pero el estudio de base (Dyers, 2012) indica que de estas últimas, el 76 % está a menos de 6 horas de distancia de los principales mercados mientras que en África esta proporción es del 47 %. Lejos, en tercer lugar, las regiones de Europa del Este y Asia Central en conjunto disponen de 51 millones de hectáreas de tierras disponibles para cultivo.

Sobre la base de la expansión de la agricultura entre 2003 y 2013, el área cultivada de los países del Cono Sur (Argentina, Brasil, Paraguay, Uruguay y Bolivia) se estima que aumentará probablemente en torno al 2,2 % pa (2,18 millones de hectáreas al año) hasta alrededor de 130 millones de ha en 2023. Área que compara lejos de las 90 millones de ha en 2003, y más cerca de las 105 millones de hectáreas en 2012. Por otra parte los aumentos corrientes en los rendimientos de grano en el pasado reciente en estas naciones han sido mucho menores. En maíz el promedio se acerca a las 0,13 t/año y en soja de 0,04 t/año.

Se postula un escenario en el que la eficiencia del uso del nitrógeno (EUN) podría incrementarse en un 10 % o 20 %, y la eficiencia de los otros factores de producción (agua, genética, etc.) podría mantenerse igual, si no mejor, sin afectar negativamente al ambiente. En este marco el éxito de esta situación puede aumentar la rentabilidad lo suficiente como para aumentar el ritmo de adopción de técnicas diseñadas para aumentar la EUN.

Qué es el Factor de Productividad Parcial

El concepto de Factor de Productividad Parcial (FPP), es una medida de la eficiencia de las aplicaciones de nutrientes para aumentar los rendimientos de los cultivos, es decir: cuántos kg de grano resultan de la aplicación de un kg de nutriente, sea N o P, o cualquier otro, por eso se especifica a qué Factor de Productividad Parcial se está haciendo referencia. En los últimos años en la Argentina estos FPP_x han disminuido entre el período de 2002 a 2012, ya sea para el N en el caso del maíz (FPPN), como del P para la soja (FPPP), esto es porque las dosis de uso de estos nutrientes en estos cultivos ha ido aumentando más que proporcionalmente mientras que los rendimientos de estos cultivos no han aumentado proporcionalmente. Por el contrario, en Brasil el FPP para N del maíz ha mejorado considerablemente durante el mismo período, mientras que el FPP del P (como P₂O₅) para la soja se mantuvo casi constante entre 2002 y 2012. Esto se explica por el considerable aumento de productividad para el maíz en los últimos años, manteniendo las dosis de nitrógeno relativamente constantes y bajas. No obstante estas últimas han comenzado a aumentar en respuesta a la mayor demanda de N por los nuevos híbridos.

Grano (t) = Área (ha) x rendimiento unitario (kg/ha)

rendimiento = Σ (FPP x n), (i.e. fertilizantes, agua, etc.)

Rendimiento = FPP x Dosis

- Soja (t/ha) = FPP P₂O₅ (kg grano/kg P₂O₅) x kg P₂O₅ /ha

- Maíz (t/ha) = FPP N (kg grano/kg N) x kg N /ha

La producción total de granos en el Cono Sur, que estuvo en el orden de las 200 millones de t en 2003, aumentó a alrededor de 300 millones de t en 2012, previéndose un crecimiento en torno las 350 millones de t en 2017 y de 420 millones de toneladas en 2023; un aumento promedio de alrededor de 11,6 millones de toneladas por año. En Argentina, el rendimiento nacional de soja en la actualidad promedia 2,8 t/ha, con una dosis media de aplicación de fósforo de 22 kg de P₂O₅/ha, resultando un FPP P de 128 kg de grano por kg de P₂O₅ aplicado. Las cifras comparables para Brasil son 3,0 t/ha, 60 kg P₂O₅/ha y 50 kg soja/kg de P₂O₅ aplicado.

Para el maíz, los rendimientos medios nacionales en Argentina se si-

“Es redundante afirmar, a la luz de los avances de los últimos años, que la tecnología es clave para satisfacer la futura demanda de productos agrícolas.”

túan actualmente en 6,5 t/ha hectárea, con una dosis de aplicación promedio de 70 kg de N/ha, cifras que resultan en un FPP N de 93 kg de grano por kg de N aplicado. Las cifras comparables para Brasil son de 3,6 t/ha, 40 kg N/ha y 90 kg maíz/kg N. Dadas las tendencias de aumento de rendimiento unitario esperados en la próxima década para el maíz y la soja mencionados anteriormente, las dosis de aplicación de nutrientes para estos cultivos deberán aumentar concomitantemente a fin de mantener fijo el factor parcial de productividad.

Hipótesis

Al aumentar los **FPP_x**, es decir al aumentar los rendimientos por unidad de nutriente aplicado, se producirá un ahorro de área cultivada equivalente a la necesaria para producir una cantidad determinada de grano. Elevar el **FPP_N** y **FPP_P** en un 10% podría significar para el caso de soja en Argentina un aumento del rendimiento desde 2,8 a 3,6 toneladas por hectárea y de maíz desde 6,5 a 9,8 toneladas por hectárea en los próximos diez años.

En el caso de Brasil, este supuesto incremento de 10 % de los **FPP_x**, implicaría un aumento del rendimiento de soja desde 3,3 hasta 3,9 t/ha, y del rendimiento de maíz desde 3,6 hasta 5,1 t/ha. Elevar el FPP en un 20% en Argentina podría elevar el rendimiento de soja 2,8 a 3,9 t/ha y de 6,5 a 10,7 t/ha de maíz. Para Brasil, dado el incremento supuesto de 20 % en el **FPP**, el rendimiento de soja podría aumentar de 3,3 a 4,3 t/ha y el rendimiento del maíz desde 3,6 a 7,1 toneladas por hectárea.

¿Cuál es el impacto en la producción de soja y maíz de un aumento en la Eficiencia de Uso de Nutrientes que afecte los Factores Parciales de Productividad del N y del P?

Un aumento en el **FPP_N** y **FPP_P** de 10 % en Argentina y Brasil podría resultar en un aumento de la producción combinada de soja y maíz de alrededor de 300 millones de toneladas en 2016, en comparación con el nivel proyectado actual de alrededor de 250 millones de toneladas a esa fecha, y hasta 380 millones de toneladas en 2023, frente al nivel proyectado actual de 334 millones de toneladas para ese año.

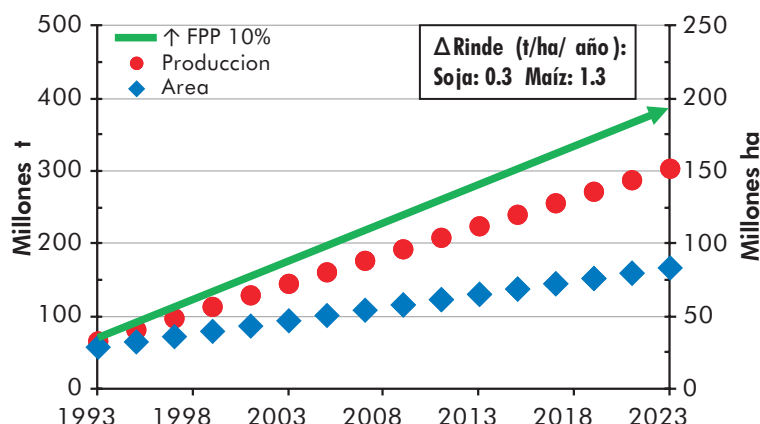
Estas cifras y proyecciones suponen que la tierra bajo cultivo con estas dos especies, que comprenden el 80% del total producido, en estos dos países pasará de cerca de 60 millones de hectáreas en 2010 a unos 85 millones de hectáreas en 2023. Si la Eficiencia de Uso de Nutrientes provoca un aumento del 20 % sobre el nivel actual de los **FPP_N** y **FPP_P**, la previsión de producción en 2023 podría lograrse sin que medie un aumento de la superficie cultivada en comparación con el nivel de producción en 2012.

Por otra parte, aun si la superficie cultivada alcanza los niveles previstos, este aumento del 20% en la EUN produciría 419 millones de toneladas de maíz y soja en 2023, 85 millones de toneladas por encima del nivel proyectado actual. Como consecuencia, esta mejora en la EUN podría reducir la necesidad de tierras agrícolas por más de 20 millones de hectáreas para ese nivel de producción, o bien podría aumentar la producción de granos en un 25 %, sobre la base actual de crecimiento del área cultivada.



Figura 4.

Evolución de la producción y área sembrada con maíz y soja en Brasil y Argentina y su proyección al 2023 comparada con la producción simulada asumiendo un aumento de la Eficiencia de Uso de Nutrientes del 10 %.



¿Podrá mitigarse el avance de las fronteras agrícolas con una mejora en las productividades unitarias y en consecuencia en la producción de granos?

En conclusión puede afirmarse categóricamente que una mejora en la eficiencia de uso de nutrientes que afecte a los factores parciales de productividad de N y P para maíz y soja solamente, puede significar un considerable ahorro de nuevas tierras cultivables, solo considerando en nuestro análisis al maíz y a la soja en Argentina y en Brasil. Mayores magnitudes podrían esperarse si se tomaran en cuenta a otros cultivos y a otros países de la región. Esta mitigación del ritmo de avance de agricultura, normalmente a expensas de tierras de pasturas, también puede significar menos deforestación, erosión y degradación ambiental.

Es redundante afirmar, a la luz de los avances de los últimos años, que la tecnología es clave para satisfacer la futura demanda de productos agrícolas. El uso de la tecnología y la constante innovación, por parte de las empresas e institutos nacionales de investigación son fundamentales para impulsar el rendimiento por unidad de área y la producción total. La adopción por parte de los productores de técnicas que conducen a aumentos en la EUN es normalmente impulsado por la rentabilidad, lo que se traduce en mayores rendimientos e ingresos. La búsqueda de rendimientos más altos por parte de los productores con la finalidad de capturar mayores ingresos en general da lugar a un mayor uso de la tecnología, a su vez conducente a un nuevo ciclo de innovación.

Por otra parte mayores rendimientos implican una mayor intensificación. Muchas veces esta intensificación compite con la «extensificación», que, según los principios de la economía, éstos en parte son procesos sustitutivos. Una mayor intensificación por lo tanto, reduce la necesidad de habilitar nuevas tierras para la agricultura con el fin de aumentar la producción.

Por esta razón, los «drivers» u operadores de la adopción tecnológica están determinados por las rentabilidades parciales de los factores de la producción, incluyendo a los insumos de la agricultura, los que incluyen el valor de la tierra, el costo de los fletes, de los fertilizantes y de los aditivos mejoradores de la eficiencia de uso. A mayor rentabilidad parcial de alguno de estos derivará el balance intensificación <-> «extensificación» hacia uno u otro extremo. Asimismo también los precios de los granos desbalancean este equilibrio. Un fuerte aumento de los niveles de precios de los productos agrícolas es probable que resulte en un aumento de las superficies cultivadas.

Figura 5.

Proyección del área y producción de soja y maíz en Brasil y Argentina asumiendo distintos escenarios

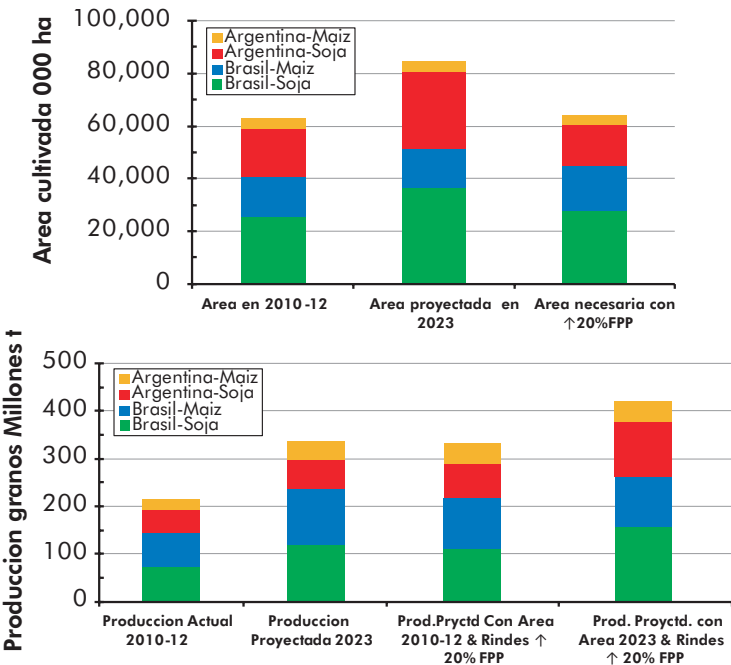


Tabla 2.

Rendimientos actuales y dosis corrientes de N y de P de soja y maíz en Argentina y Brasil y rendimientos potenciales de soja y maíz ante un aumento supuesto de los Factores Parciales de Productividad como resultado de cambios en la Eficiencia de Uso de esos Nutrientes.

Tabla 3.

Incrementos necesarios de P y N aplicados en soja y maíz en Argentina y Brasil para sostener los aumentos esperados de rendimientos de esos cultivos.

Rendimiento Actual Soja	Dosis P ₂ O ₅	↑ FPP 10%	Rinde Soja 2023	↑ FPP 20%	Rinde Soja 2023
t/ha	kg/ha	kg Gr/kg P ₂ O ₅	t/ha	kg Gr/kg P ₂ O ₅	t/ha
2.8	26	141	3.6	154	3.9
3.3	71	55	3.9	60	4.3
Rendimiento actual Maíz	Dosis N		Rinde Maíz 2023		Rinde Maíz 2023
t/ha	kg/ha	kg Gr/kg N	t/ha	kg Gr/kg N	t/ha
6.5	96	102	9.8	112	10.7
3.6	66	99	6.5	108	7.1

	Dosis P ₂ O ₅	Soja	Δ Rinde Soja	Extracción	Δ dosis	Dosis P ₂ O ₅
	kg/ha	t/ha	t/ha/año	t/ha-10 años	11.5 kg P ₂ O ₅ /t	kg/ha
Argentina	22	2.8	0.03	0.3	Δ P ₂ O ₅	3
Brasil	66	3.0				3
	Dosis N	Maíz			20 kg N/t	Kg/ha
Argentina	70	6.5	0.13	1.3	Δ N	26
Brasil	40	3.6				26



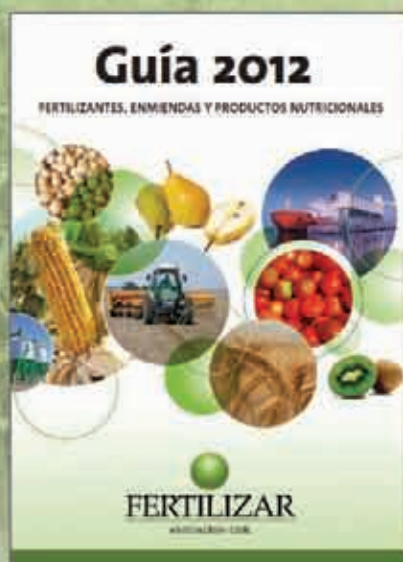
Precio: **\$50** para el público general y **\$40** para socios y suscriptos a la revista de la entidad + gastos de envío



Precio: **\$70** para el público general y **\$50** para socios y suscriptos a la revista de la entidad + gastos de envío



Precio: **\$150** para el público general y **\$110** para socios y suscriptos a la revista de la entidad + gastos de envío



Precio: **\$70** para el público general y **\$50** para socios y suscriptos a la revista de la entidad + gastos de envío



Precio: **\$100** para el público general y **\$80** para socios y suscriptos a la revista de la entidad + gastos de envío



Precio: **\$100** para el público general y **\$80** para socios y suscriptos a la revista de la entidad + gastos de envío

Venta de publicaciones especializadas consulte



Más información en: www.fertilizar.org.ar o info@fertilizar.org.ar

CLAVES PARA OPTIMIZAR

la fertilización del

cultivo de trigo

10

Ing. Agr. M.Sc Martín Torres Duggan
Tecnogro S.R.L.

NUTRIENTES LIMITANTES DE LA PRODUCTIVIDAD

Los principales nutrientes que limitan la productividad del trigo en la mayor parte de las zonas de producción de la Región Pampeana son el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el azufre (S). Asimismo, también existen algunos antecedentes de respuestas a algunos micronutrientes como zinc (Zn), boro (B) y cloro (Cl).

El manejo moderno de nutrientes requiere de la integración de la fertilización con los demás aspectos del manejo del cultivo (e.g. selección de genotipos, densidad y fechas de siembra, manejo integrado de plagas y enfermedades). La determinación de la dosis de nutrientes a aplicar cada lote o unidad de manejo se debe basar en un adecuado diagnóstico de la disponibilidad de nutrientes en el suelo, a través de un correcto muestreo de suelos y análisis de suelos. Una vez realizado el diagnóstico, se deben establecer los fertilizantes, momentos y formas de aplicación de los mismos (tecnología de fertilización). Es importante tener claro que estos aspectos no son fijos, y es posible definir diferentes combinaciones de tipo de fertilizante, momento, y forma de aplicación. Lo importante es que dicho plan de fertilización permita maximizar la productividad del cultivo, y minimizar el impacto sobre el ambiente. Para ello, la estrategia definida se debe basar en principios científicos, utilizando la información disponible en cada zona.

DIAGNÓSTICO DE DEFICIENCIAS NUTRICIONALES

Nitrógeno

Si bien existen diferentes criterios y aproximaciones para diagnosticar las deficiencias de N, los modelos de fertilización nitrogenada más utilizados en los sistemas de producción son aquellos que relacionan el rendimiento con el N disponible (suelo + fertilizante). La dosis surge de restar el N objetivo el N disponible a la siembra obtenidos mediante análisis de suelo (0-60 cm). Existen diferentes modelos disponibles en distintas regiones, que no serán tratados en este artículo. A modo de ejemplo se presenta en la Figura 1 un modelo de fertilización generado en la red de experimentos del CREA Sur de Santa Fe-IPNI-ASP que

integra 33 sitios de experimentación en cinco campañas.

Cuando se seleccionan modelos de fertilización, es importante priorizar aquellos obtenidos a partir de varios sitios experimentales y campañas (mayor número de casos), que son más estables ante el agregado de nuevos datos experimentales y por consiguiente son más consistentes para usar en la toma de decisiones.

Los modelos de simulación agronómica son también herramientas muy interesantes. Recientemente se lanzó el programa Triguero 2.0, herramienta que permite evaluar la fertilización nitrogenada en diferentes núcleos de calibración realizados en las principales zonas trigueras. El modelo permite simular situaciones en diferentes series de suelo, condición hídrica, y contempla también la incidencia de enfermedades, disponibilidad de P extractable en el suelo (P Bray 1, 0-20 cm) y el deterioro por S en el ambiente de producción (Figura 2). El programa también ofrece un análisis económico de la fertilización nitrogenada, según el costo de la unidad de N y del grano, como así también la posibilidad de realizar análisis de sensibilidad con dichas variables.

Fósforo

La mayor parte de los modelos de fertilización fosfatada desarrollados en el país consideran el contenido de P extractable en el suelo a la siembra (P Bray 1, 0-20 cm) y el rendimiento esperado como base para determinar la dosis de P. También se considera el criterio de manejo del P (e.g. criterio de suficiencia; reposición o enriquecimiento del P extractable y reposición). El límite crítico del cultivo de trigo se ubica en 15-20 ppm (Figura 3).

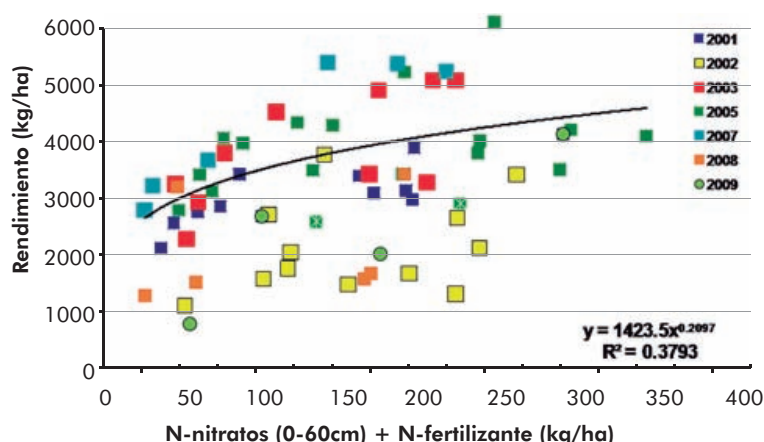
Actualmente la mayor parte de zonas trigueras presentan contenidos deficientes de P extractable, tal como lo demuestra un reciente relevamiento efectuado a partir del análisis de 34447 muestras de suelos (Figura 4).

En la mayor parte de los sistemas de producción de granos de la Región Pampeana el régimen de tenencia de la tierra dominante es el arrendamiento de corto plazo. En este tipo de sistemas prevalecen planteos de

La fertilización es una de las prácticas con mayor impacto sobre la productividad, calidad y rentabilidad del cultivo de trigo. Las claves para optimizar la nutrición del cultivo se sustentan en el diagnóstico de las deficiencias nutricionales y en una correcta selección de los fertilizantes y métodos de aplicación. En este artículo se discuten las bases del manejo de la fertilización en el cultivo aplicables a los sistemas de producción triguera de la Región Pampeana.

Figura 1.

Rendimiento de trigo y disponibilidad de N (suelo + fertilizante).
Fuente: García et al. (2010)



producción con monocultivo de soja, donde el objetivo es minimizar el riesgo del negocio. Los criterios de fertilización fosfatada más utilizados en este tipo de contexto son el de suficiencia, donde se aplican dosis de P que permiten cubrir la demanda inmediata de P del cultivo. Los criterios o filosofía de fertilización fosfatada de reposición o de mejora de la disponibilidad de P y reposición se adaptan mejor a sistemas de tenencia de las tierras más estables, como los arrendamientos o aparcerías de largo plazo, donde es posible establecer cláusulas para el adecuado manejo y conservación del recurso suelo.

En agro-ecosistemas donde se utilizan criterio de fertilización por reposición de P (en suelos bien provistos en P extractable) o de mejora (enriquecimiento) y reposición de P (cuando se implementan estrategias de mejoras donde se aplican dosis de P más elevadas que en reposición) se observan mejoras en la eficiencia global del sistema (mayor aprovechamiento de recursos edáficos), logrando rendimientos más elevados en el mediano y largo plazo. Para diseñar estrategias de mejora en la disponibilidad de P extractable se debe definir:

Contenido actual de P extractable en los diferentes lotes o ambientes. Esta información se obtiene mediante el muestreo y análisis de suelos.

Objetivo de P extractable a alcanzar luego del plan de mejora (usualmente 15-20 ppm de P Bray 1).

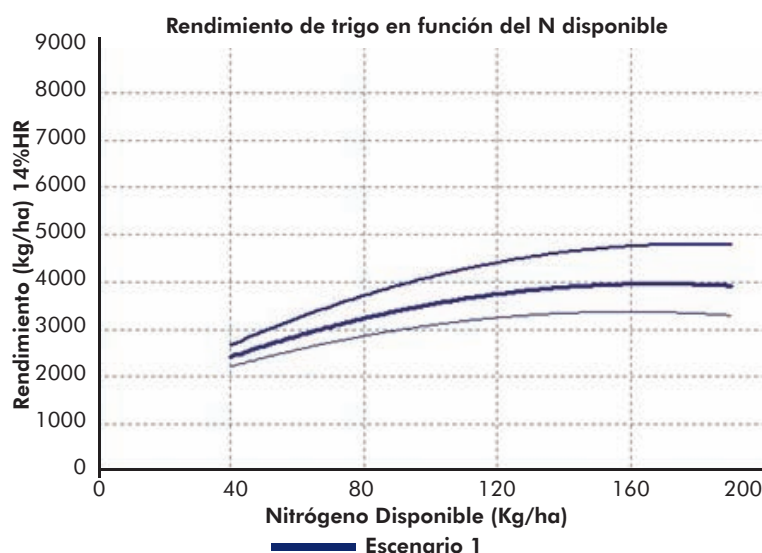
Cantidad de P necesaria para incrementar 1 ppm de P extractable (P Bray 1, 0-20 cm). Se dispone de trabajos experimentales locales que proveen esta información. A modo orientativo, estos valores pueden ser de 2-3 kg de P/ppm en suelos arenosos y 4-5 kg/ppm en suelos con texturas medias.

Período en el cual se desea alcanzar el objetivo de P extractable (decisión que depende de factores empresariales, económicos y financieros).

Tanto en la etapa de mejora de la disponibilidad del P extractable (balance de P > 0) como en la fase de reposición (balance de P ~ 0) es importante realizar un monitoreo de la evolución del P extractable en el suelo, como base a para eventualmente realizar modificaciones o ajustes en el

Figura 2.

Rendimiento de trigo en función de la disponibilidad de N (suelo + fertilizante) del programa Triguero 2.0. para el núcleo (zona) de Venado Tuerto, serie de suelo Venado Tuerto, ciclo intermedio largo con potencial intermedio, suelo húmedo, limitaciones por P. Para esta simulación no se consideraron limitaciones por S o enfermedades.



programa de fertilización.

Azúfre

Los análisis de suelos se utilizan frecuentemente para predecir la disponibilidad de S para los cultivos. Sin embargo, en la Argentina la mayor parte de las calibraciones realizadas no han detectado correlaciones significativas entre las respuestas y el contenido de sulfatos en el suelo, independientemente del extractante utilizado (e.g. fosfato de calcio, acetato de amonio y fosfato de potasio), salvo algunas excepciones de redes de ensayos de larga duración como el realizado por el CREA Sur de Santa Fe-IPNI-ASP, donde detectaron umbrales preliminares de 10 ppm de azufre en forma de sulfatos. Este valor crítico es mencionado en la literatura internacional como referencia en diferentes países del mundo. Debido a las dificultades para predecir la respuesta al agregado de S en base a la concentración de SO_4^{2-} en el suelo, además de ésta variable se tienen en cuenta otros factores o condiciones ambientales del sitio de producción:

- Antecedentes de respuestas a S en la zona
- Respuestas a otros nutrientes como N y P
- Años de agricultura
- Nivel de degradación y/o años de agricultura
- Productividad de los cultivos (i.e. demanda de S)
- Posibles aportes de S en napas y/o agua de riego,
- Contenido de sulfatos en el suelo en la capa superficial (10 ppm de S-SO_4^{2-} , referencia orientativa)

El nivel de productividad esperado en el cultivo es importante ya que, cuando el rendimiento esperado es bajo, el suelo puede proveer S para cubrir la demanda de S del cultivo. Esto explica en parte la menor frecuencia de respuestas a la aplicación de S en sistemas de secano ubicados en áreas sub-húmedas o semiáridas. En estos ambientes, donde la disponibilidad hídrica constituye el principal factor limitante de la productividad de los cultivos y se alcanzan rendimientos medios más bajos (i.e. menor demanda de S) la frecuencia y magnitud de las respuestas a S pueden ser más bajas que en la porción húmeda de la Región Pampeana. Asimismo, en dichas regiones los suelos son arenosos y presentan mayores relaciones MO/arcilla que en la porción húmeda de la Región Pampeana, asociadas con una mayor capacidad de mineralización de N y S durante el ciclo de los cultivos.

Recientemente se han reportado algunos avances en diagnóstico de deficiencias de S basadas en el análisis de tejido en el cultivo de trigo (e.g. relación N:S en planta entera en el estadio Z31) o evaluaciones del índice de verdor en el canopeo de maíz en el estadio de V6-V14 (Echeverría *et al.*, 2011; Pagani & Echeverría, 2012). Considerando que el S aplicado puede impactar en el rendimiento en estadios fenológicos más tardíos que el N, existe una mayor posibilidad logística para efectuar el diagnóstico y la recomendación de fertilización azufrada dentro del mismo ciclo del cultivo.

Más allá de las dificultades mencionadas para predecir las respuestas al agregado de S, es importante tener presente que las deficiencias de S se encuentran muy generalizadas en la Región Pampeana, y en general las respuestas al agregado de S son elevadas y rentables. Esto se puede comprobar teniendo en cuenta que, en la mayoría de los casos, las eficiencias de uso de S (EUS; incremento en el rendimiento por cada kg de S aplicado), superan las relaciones de precios entre los granos y el costo de la unidad de S. Esta relación de precios fueron de 9, 10 y 5 kg grano kg S⁻¹ de trigo, maíz y soja durante el período 2004-2011 (Figura 1).

Las dosis de máxima respuesta en cultivos de grano se ubican en el rango de 15-20 kg ha de S/ha en la mayoría de los cultivos de granos.

Micronutrientes

A pesar de la intensa experimentación que se está llevando a cabo en diferentes ámbitos científicos y técnicos, no se dispone actualmente de modelos de fertilización calibrados regionalmente para la aplicación de micronutrientes. Por ello es importante analizar los antecedentes zonales y también realizar evaluaciones simples a campo (franjas con y sin aplicación de micronutrientes) para explorar las respuestas en el propio sitio de producción. Se resumen a continuación algunos antecedentes recientes de fertilización con micronutrientes en el cultivo de trigo:

Cloruros

La fertilización con cloruros, si bien despertó cierto interés experimental, actualmente no es una práctica de rutina en los sistemas de producción. En general las respuestas son pequeñas, y el cloruro de potasio (principal fuente utilizada para aportar Cl) es relativamente costoso.

Los principales efectos del agregado de cloruros se vincularían con mejoras en la sanidad del cultivo (e.g. reducción de la incidencia y severidad de enfermedades foliares), aunque también se han reportado aumentos en el rendimiento en cultivos sin problemas de enfermedades. El cloruro de amonio y también el cloruro de calcio son fuentes que se pueden utilizar para proveer Cl, pero no siempre están disponibles en las zonas de producción por tratarse de fertilizantes poco utilizados en país en cultivos extensivos.

Zinc

En los últimos años se observa un interés renovado en la evaluación de las respuestas al agregado de Zn, posiblemente estimulado por los antecedentes recientes en maíz, donde la frecuencia y magnitud de las respuestas han aumentado considerablemente en la Región Pampeana central. Sin embargo, las evaluaciones realizadas en trigo se encuentran en fase exploratoria, con algunos resultados promisorios. Por ejemplo, se han determinado respuestas medias de 525 kg/ha de grano en cinco experimentos realizados en tres campañas en la Pampa Ondulada, donde se aplicó 1,5 kg ha⁻¹ de Zn utilizando como fuente soluciones líquidas formuladas en base a UAN, tiosulfato de amonio y sulfato de Zn ("Solmix-Zn") (Juan Urrutia, com.pers).

Además de las evaluaciones de respuestas a cloruros y a Zn, existen algunos antecedentes de respuestas a la aplicación foliar de B en estadios

reproductivos del trigo, pero no se disponen de modelos predictivos de las respuestas.

SELECCIÓN DE FERTILIZANTES Y MÉTODOS DE APLICACIÓN

Nitrógeno

En términos generales no se han observado diferencias considerables entre los diferentes fertilizantes nitrogenados en cuanto a su capacidad de proveer nitrógeno (N) a los cultivos. Sin embargo, es importante tener presente que existe una gran diversidad de condiciones agro-ecológicas en las diferentes zonas trigueras, donde factores como el tipo de suelo y/o las condiciones ambientales imperantes pueden originar pérdidas de N del sistema suelo-cultivo y diferencias en la eficiencia de uso del N (EUN).

En las zonas trigueras ubicadas en el norte del país y/o en el Litoral, donde las temperaturas medias durante el ciclo del cultivo son más elevadas, aumentan la probabilidad de ocurrencia de pérdidas de N por volatilización de amoníaco cuando se aplica urea al voleo. Asimismo, la cobertura de rastros puede contribuir a generar procesos de inmovilización de N y pérdidas por volatilización de amoníaco. En este tipo de ambientes, la utilización de fuentes con baja volatilización (e.g. UAN), que no volatilizan (e.g. CAN) o el uso de inhibidores de la ureasa (e.g. NBPT) son estrategias para incrementar la EUN. A diferencia de lo mencionado para las zonas trigueras ubicadas en el norte del país o el Litoral, en la región triguera tradicional (sur de Buenos Aires), las pérdidas por volatilización de amoníaco son bajas, aunque se han reportado pérdidas por lixiviación leves asociadas a la mayor frecuencia de lluvias entre siembra y macollaje, que es un rasgo climático de dicha región.

También es posible que se presenten pérdidas por lavado (lixiviación de nitratos) en suelos con texturas arenosas, cuando se presentan eventos de precipitaciones intensas en estadios tempranos del ciclo del cultivo posteriores a la aplicación del fertilizante. Hay pocos estudios sobre este mecanismo de pérdida en trigo, y si bien en general se asume que las pérdidas son bajas, es necesario considerar los factores predisponentes mencionados antes en el propio sistema de producción.

En cuanto al manejo de los momentos de aplicación, es importante tener presente que la fertilización puede tener dos objetivos posibles: (1) aumentar el rendimiento (el más habitual) y (2) mejorar el contenido de proteína en grano. La fertilización de base (realizada en la siembra y/o en macollaje), impacta principalmente en el rendimiento en grano, dependiendo de la disponibilidad de N en el suelo y el nivel de rendimiento. La aplicación del N a la siembra garantiza una temprana disponibilidad del nutriente. De acuerdo con la información experimental disponible en la zona húmeda de la Región Pampeana, el fraccionamiento de la dosis entre siembra y macollaje no constituye una ventaja en términos de eficiencia agronómica, aunque puede ser una opción en casos donde se quiera reducir el riesgo de la práctica de fertilización en contextos de incertidumbre en cuanto al escenario climático y su influencia sobre la EUN. En las zonas trigueras ubicadas en la Pampa Arenosa y/o en la Región Semiárida Pampeana, la decisión del momento de aplicación del N se debe analizar teniendo en cuenta la distribución de lluvias para optimizar la interacción entre el N y el agua disponible. Asimismo, en las regiones trigueras del sud-este de Buenos Aires, se ha reportado mayor EUN en aplicaciones en macollaje respecto de las efectuadas a la siembra, debido a la ocurrencia de lluvias entre la siembra y el macollaje, que promueven pérdidas por lavado y, en menor medida, desnitrificación.

En casos donde el objetivo de la fertilización nitrogenada sea aumentar el rendimiento y mejorar el contenido de proteínas en el grano, la fertilización foliar en el estadio de hoja bandera y/o antesis representa el modo más efectivo para hacerlo (Tabla 1).

En estos experimentos, el N se aplicó utilizando soluciones de urea foliar con bajo biuret, en dosis variables (20-35 kg/ha de N).

Fósforo

Los principales fertilizantes fosfatados utilizados en la Argentina son fosfatos de amonio (MAP, DAP) y los superfosfatos de calcio (SFS, SFT). Más recientemente, se observa un creciente interés y experimentación con fuentes fosfatadas líquidas, en especial soluciones formuladas en base a ácido fosfórico. En términos generales, no se han observado diferencias en eficiencia de uso de fósforo (EUP) entre los diferentes

Figura 4.

Concentración de P extractable (P Bray 1) en el suelo (0-20 cm) en la Región Pampeana y extra Pampeana. Fuente: Sainz Rozas et al. (2012).

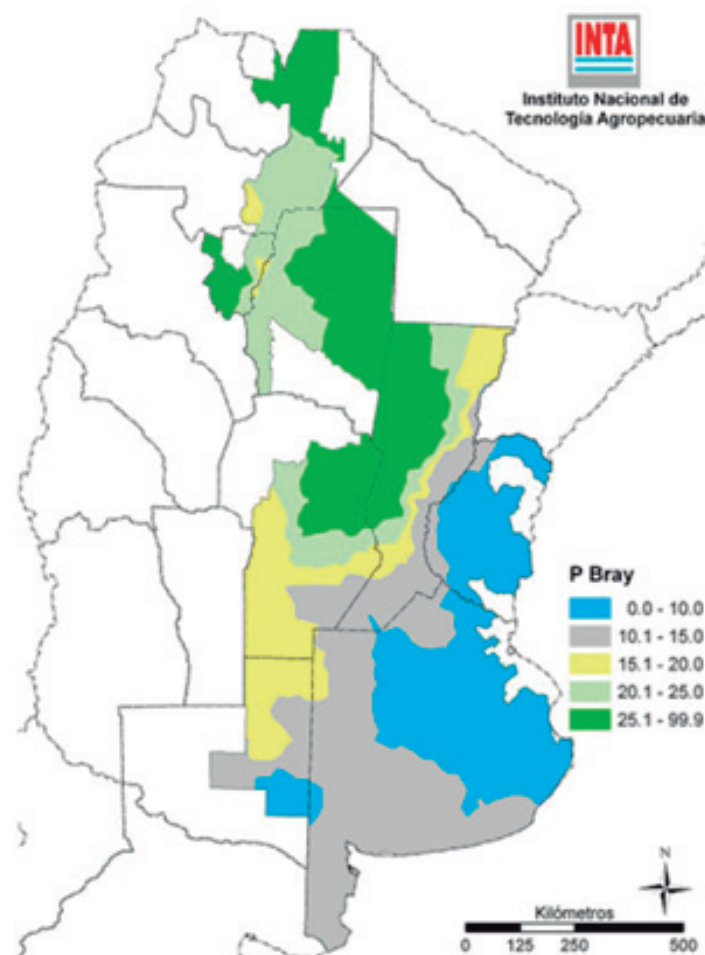


Figura 3.

Rendimiento de trigo en función de la disponibilidad de P extractable (P Bray 1, 0-20 cm). Fuente: García et al. (2010).

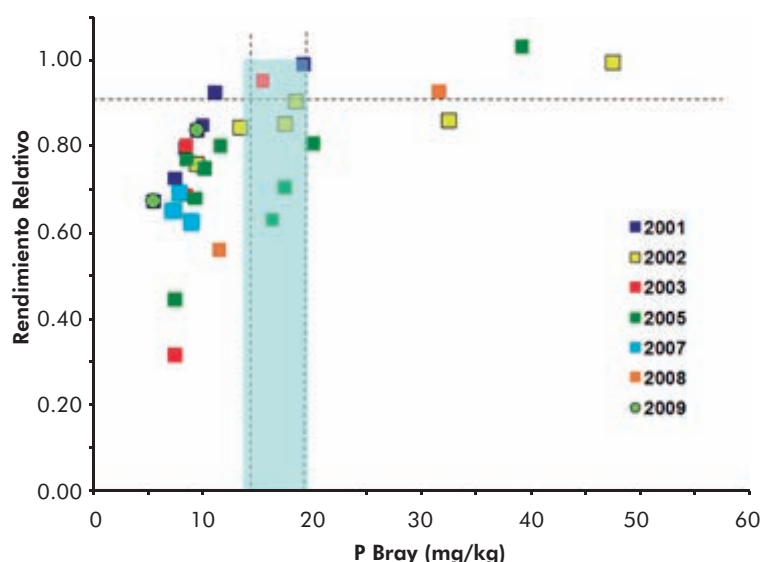
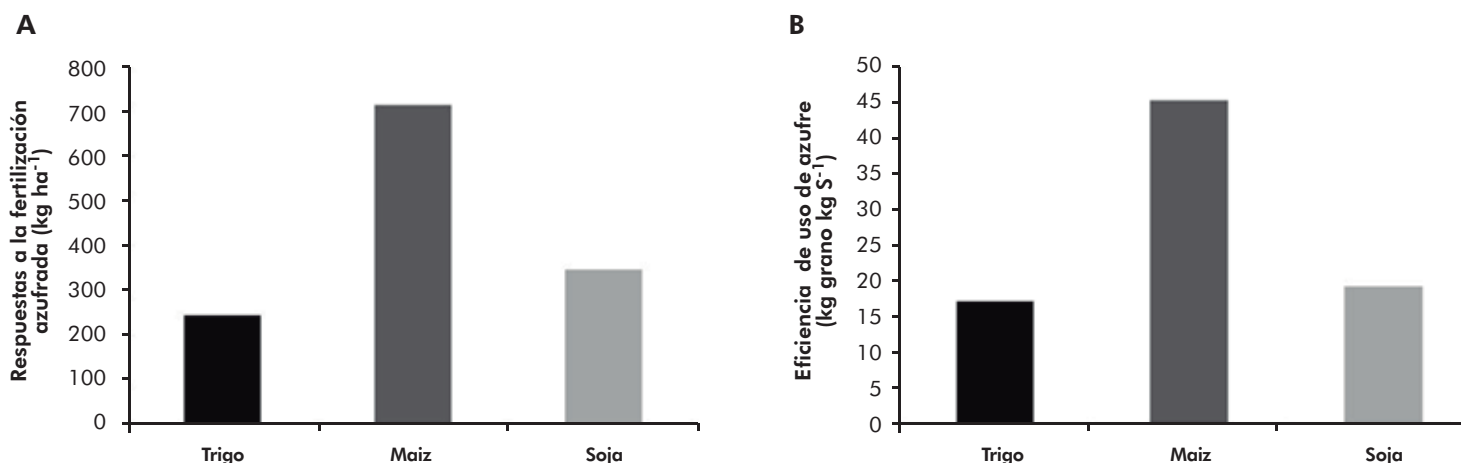


Figura 5.

Respuesta a la fertilización azufrada (A) y eficiencia de uso de azufre (B) en cultivos de grano de la Región Pampeana (adaptado de Steinbach & Álvarez, 2012).



fertilizantes fosfatados, independientemente de su formulación (sólida, fluida).

El momento tradicional de aplicación del P es a la siembra, por debajo y al costado de la línea de siembra. Sin embargo, en los últimos años se realizaron diferentes evaluaciones tendientes a evaluar la efectividad de diferentes métodos de colocación (e.g. voleo anticipado vs. bandas a la siembra). En casos muy especiales, como suelos en siembra directa de varios años, bien rotados, contenidos medios de P extractable, y dosis elevada de aplicación, se han reportado similares EUP entre aplicaciones al voleo anticipadas a la siembra y la aplicación tradicional en bandas a la siembra.

¿CUÁLES SON LOS BENEFICIOS DE INOCULAR EL TRIGO CON BACTERIAS DEL GÉNERO *AZOSPIRILLUM*?

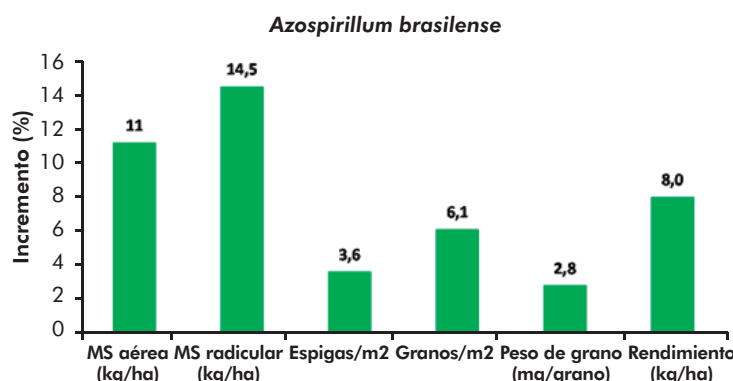
En los últimos años se observa un interés renovado en tratamientos de semillas de cereales (principalmente maíz y trigo) con bacterias del género *Azospirillum*. También se evidencia un mayor grado de profesionalización de las empresas proveedoras y de la calidad de los inoculantes. Estas innovaciones tecnológicas hacen posible que los efectos observados en condiciones controladas (e.g. experimentos en maceta), conocidos desde hace tiempo, se logren evidenciar a campo, a través de mejoras en la productividad.

Si bien es conocida la capacidad de fijación libre de N de *Azospirillum* sp. actualmente se reconocen otros mecanismos de promoción vegetal más importantes (Díaz Zorita et al. 2013). Se destaca la producción y liberación de hormonas promotoras del crecimiento radical, que aumentan la biomasa de raíces y el acceso a recursos como agua y nutrientes. En la Figura 6 se presentan resultados de 10 años de experimentos de campo realizados en 550 sitios por Novozymes.

Es importante destacar que este tipo de tratamientos biológicos no reemplaza a la fertilización convencional, sino que la complementa. Asimismo, se ha detectado que el incremento en biomasa de granos es mayor en condiciones hídricas desfavorables. Esto se debe a los efectos muy considerables sobre el crecimiento de las raíces, permitiendo al cultivo aprovechar una mayor cantidad de agua y nutrientes disponibles en el suelo.

Figura 6.

Incidencia de la inoculación con *Azospirillum* brasilense sobre diferentes componentes de la productividad del trigo (Díaz Zorita et al. 2013).



Azufre

Actualmente se dispone en el mercado de una variada oferta de fertilizantes azufrados. Las fuentes más utilizadas son el tiosulfato de amonio (fertilizante líquido que se comercializa en mezclas con UAN), yeso (sulfato de calcio bihidratado) y superfosfato simple de calcio. Más recientemente comenzaron a comercializarse mezclas químicas NPS y NPSZn que tienen la característica de presentar diferentes formas químicas de azufre (S), la mitad como sulfatos y la otra mitad como azufre elemental micronizado (AEM). En términos generales, no se han observado diferencias significativas en efectividad (respuesta en grano) ni en la eficiencia de uso del azufre (EUS) entre fertilizantes azufrados que contienen el azufre en forma de sulfatos. Todos presentan similar capacidad de proveer S disponible para el cultivo.

Con respecto a la performance de los fertilizantes que incluyen AEM, la información experimental es más escasa, pero es posible definir algunos principios y recomendaciones de manejo. La oxidación del azufre elemental depende principalmente de las propiedades físicas de la fuente utilizada (tamaño de partícula y capacidad de dispersión en el suelo) y de factores ambientales, principalmente temperatura y humedad edáfica. Estudios recientes realizados en la Región Pampeana central indican similar performance agronómica del AEM y fuentes sulfatadas, que indicarían de un modo indirecto, adecuadas condiciones termo-hídricas para la oxidación del AEM (Torres Duggan et al. 2012). Sin embargo, en sitios con baja disponibilidad hídrica posteriores a la aplicación, la efectividad de fertilizantes sulfatados fue mayor que el AEM, posiblemente debido a una reducción de la tasa de oxidación del azufre elemental (Torres Duggan, 2011). En el sur de la Región Pampeana, la menor temperatura imperante a la siembra y/o en estadios vegetativos tempranos, podrían reducir la oxidación del azufre elemental, pero hay muy poca información publicada al respecto.

Los fertilizantes azufrados sulfatados se pueden aplicar en una amplia gama de momentos y formas de aplicación. Así, es posible realizar aplicaciones al voleo en pre-siembra, en bandas a la siembra, al voleo en el macollaje, etc. (Prystupa et al. 2011).

Momentos de aplicación de fósforo y azufre en secuencias trigo/soja de segunda

De acuerdo a numerosos ensayos realizados en la Región Pampeana en la secuencia trigo/soja 2º, no se han observado diferencias significativas en la EUP y en la EUS entre aplicar estos nutrientes a la siembra de cada cultivo (trigo y soja) o aplicar toda la necesidad de P y S del doble cultivo (trigo + soja 2º) en el trigo, aprovechando los efectos residuales de la fertilización. Así, aplicando la necesidad de P y S en el trigo (a la siembra o al voleo anticipada a la misma), se evita el manejo de fertilizantes en la soja de segunda. En este cultivo se valora especialmente una siembra más rápida, ya que la demora en la fecha de implantación reduce marcadamente el rendimiento potencial. Sin embargo, es importante considerar que la magnitud de la residualidad puede ser menor en suelos con muy alta capacidad de retención de fosfatos como en suelos Vertisoles y/o Argiudoles vérticos (e.g. Entre Ríos, noreste de Buenos Aires, Uruguay). En este tipo de suelos, la decisión de aplicar los nutrientes en el trigo o en cada cultivo (trigo y soja), dependerá del tipo de suelo, capacidad de retención de fosfatos (asociado al contenido y tipo de arcillas) y la dosis de aplicación.

Micronutrientes

Cloruros

Existen diferentes fuentes de cloruros disponibles (cloruro de potasio, cloruro de amonio, cloruro de calcio), con similar efectividad agronómica. De acuerdo con la información disponible a nivel internacional, los cloruros se recomiendan aplicar a la siembra al voleo (los cloruros son móviles en el suelo).

Zinc

Existe una amplia gama de fuentes de Zn disponibles en el mercado, como por ejemplo fertilizantes foliares, mezclas químicas (e.g. fuentes NPSZn). Asimismo, en los últimos años se comenzó a difundir la aplicación de Zn a través de fertilizantes líquidos (formulaciones de UAN o mezclas de UAN con tiosulfato de amonio que incluyen micronutrientes en sus formulaciones, como el "Sol Mix Zn"). En la selección del tipo de fuente a utilizar inciden distintos factores como el costo del producto, la dosis de aplicación (más altas en aplicaciones al suelo que vía foliar), preferencias del productor, disponibilidad de maquinaria para la

Tabla 1.

Datos medios de experimentos realizados en la Región Pampeana en los que se comparó concentración de proteína en tratamientos fertilizados y no fertilizados con nitrógeno en distintos momentos del ciclo del cultivo.

Momento de fertilización	Datos (n)	Dosis media (kg N/ha)	Proteína testigo (%)	Proteína fertilizado (%)	Incremento proteína/dosis (% proteína/ kg de N)
Siembra y/o macollaje	131	67	10,7	11,7	0,016
Hoja bandera-floración	104	32	10,6	11,5	0,032

aplicación, entre otros. Recientemente Prystupa *et al.* (2012) realizaron una revisión de la temática de la tecnología de fertilización de S y micronutrientes en cultivos de granos, donde es posible consultar detalles sobre los diferentes tipos de fertilizantes, y los métodos de aplicación para las condiciones de los agro-ecosistemas pampeanos.

Las aplicaciones de Zn se pueden efectuar desde la siembra hasta fin de macollaje, y existen pocos estudios que hayan estudiado los efectos de momentos y formas de colocación de este nutriente en los agro-ecosistemas pampeanos.

CONCLUSIONES

La fertilización de trigo es una práctica de gran impacto productivo. Las claves para diseñar estrategias de fertilización se deben basar en un correcto diagnóstico, para luego seleccionar los fertilizantes y métodos de aplicación más adecuados para el sistema de producción. El N, P y S son los nutrientes que limitan en mayor medida la productividad del cultivo, existiendo una gran cantidad de información disponible para la toma decisiones.

La información experimental sobre micronutrientes si bien es significativa, no se dispone de un cuerpo de conocimiento sobre el diagnóstico de las deficiencias para las condiciones de la Región Pampeana y sus subregiones. Sin embargo, es interesante explorar las respuestas a cloruros y Zn donde se han reportado situaciones de respuesta en diferentes zonas de producción.

Los tratamientos biológicos con bacterias de *Azospirillum brasilense* representan una tecnología valiosa para incrementar la productividad del cultivo, complementando la fertilización tradicional e incrementando la eficiencia de uso del agua y de los nutrientes disponibles en el suelo.

BIBLIOGRAFÍA CITADA Y RECOMENDADA

Álvarez, R.; HS Steinbach. 2012. Dosificación de la fertilización en trigo. En: *Fertilización de Cultivos y Pasturas. Diagnóstico y recomendación en la Región Pampeana*. Capítulo 11. Sección 1. Álvarez, R; P. Prystupa; M. Rodríguez.; C. Álvarez (editores). Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. 623 p.

Díaz-Zorita, M.; M Bermúdez; RM Baliña; FG Micucci; VD Lastra;

MV Fernández Canigia. Diez años de evaluación extensiva de tratamientos de semillas de cereales con *Azospirillum brasilense* en la Argentina. En: *Tercera Jornada del Instituto de Investigaciones en Biociencias Agrícolas y Ambientales. Aportes de la Microbiología a la Producción de Cultivos*. M. Díaz-Zorita; O. S. Correa; MV Fernández Canigia & R.S. Lavado (Eds). 210 p.

Echeverría, H.; N. Reussi Calvo; A. Pagani, L. Fernández. 2011. Métodos de diagnóstico de deficiencias de azufre en los cultivos de trigo, soja de segunda y maíz. En: *Símpoio Fertilidad 2011*.

García, F.O.; M. Boxler, A. Berardo; I.A. Ciampitti; A. Correndo; N. Reussi Calvo; F. Bauschen; L. Firpo; J. Minteguiaga and R. Pozzi. 2010. La red de nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe. Resultados y conclusiones de los primeros diez años 2000-2009, IPNI-CREA-ASP. Segunda Edición,. 63 p.

Pagani, A.; Echeverría, H.E. 2012. Influence of sulfur deficiency on chlorophyll-meter readings of corn leaves. *J. Plant. Nutr. Soil. Sci.* 175:604-613

Prystupa, P.; M. Torres Duggan; G. Ferraris. 2012. Fuentes y formas de aplicación de azufre y micronutrientes en la Región Pampeana. En: *Fertilización de Cultivos y Pasturas. Diagnóstico y recomendación en la Región Pampeana*. Capítulo 6. Sección 2. Álvarez, R; P. Prystupa; M. Rodríguez.; C. Álvarez (editores). Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. 623 p.

Sainz Rosas, H; H Echeverría & H Angelini. 2012. Fosforo disponible en suelos agrícolas de la Región Pampeana y Extrapampeana argentina. *RIA*. Vol 38 N°1. P 34-39.

Steinbach, HS & R Álvarez. 2012. Revisión del efecto de la fertilización con azufre sobre el rendimiento de trigo, maíz y soja en La Región Pampeana XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina. 16-20 de abril.

Torres Duggan, M. 2011. Fuentes azufradas en cultivos de grano de la Región Pampeana. Tesis Magister Scientiae (Ciencias del Suelo). Universidad de Buenos Aires. 96 pp.

Torres Duggan, M.; R Melgar; MB Rodríguez; RS Lavado & IA Ciampitti. 2012. Sulfur fertilization in the Argentine Pampas region: a review. *Agronomía & Ambiente*, 32 (1-2) 61-73.

▶
Pablo
Pussetto

.....

“No existe un adecuado balance entre extracción y reposición de nutrientes”

Entrevistamos a **Pablo Pussetto, presidente de Fertilizar Asociación Civil**. Oriundo de Bahía Blanca, se graduó como Ingeniero químico en el año 1991, realizando un Master en Administración de Empresas en 1994.

Afirma que **“los aspectos de la rentabilidad y los de la sustentabilidad deberían poder convivir” y pregonar la toma de conciencia respecto a convertirnos en “guardianes” del suelo**, donde las prácticas agrícolas no deberían ser tan extractivas como en la actualidad.

Aquí, en una charla amena, con café de por medio, conoceremos a un ejecutivo de la industria preocupado y ocupado en lograr conciencia a largo plazo.

Periodista (P): Desde la Asociación, ¿cómo vivís la evolución del uso de fertilizantes por parte de los productores?

Pablo Pussetto (PP): Cuando uno analiza lo que ha sucedido en estos 20 años en la industria de los fertilizantes, se pueden ver luces y sombras, como en todas las industrias. Si uno rescata los aspectos más positivos, remontándonos al año 1994, la demanda de fertilizantes en el país era de 194 mil toneladas por año. Era un mercado donde el recurso suelo tenía un nivel de nutrientes que permitía que el uso de fertilizantes fuera algo marginal. En muchas regiones no se observaban respuestas a tecnologías de fertilización. Hoy la demanda de fertilizantes alcanzó las 3,7 millones de toneladas y esto es positivo.

Los propósitos que tiene Fertilizar encuentran en los fertilizantes un vehículo para preservar un bien de mayor importancia a nivel de país: el recurso suelo. Nosotros abordamos desde la asociación optimizar el uso de la tecnología y a la sustentabilidad del recurso suelo, como el valor principal a preservar. Desde esa perspectiva los fertilizantes son la manera de reponer los nutrientes que en cada campaña agrícola se van con los granos.

P: El uso de fertilizantes para la reposición de nutrientes en un país exportador de alimentos como el nuestro, ¿toma una preponderancia especial?

PP: Ponemos el foco en la importancia estratégica que tiene para Argentina hacer centro en la preservación del recurso suelo, en un país que tiene un futuro asociado a la producción de alimentos a nivel mundial. Hoy nuestro país produce alimentos para una población de 400 millones de habitantes.

Fertilizar es parte de un engranaje que uno podría seguir en escala mundial, es parte de la forma en que el mercado de fertilizantes de la Argentina pone foco en la preservación del recurso suelo, para que el país cumpla con su misión a nivel global, que es producir alimentos.

P: Desde Fertilizar, ¿cómo ven la evolución de la fertilización en los últimos años?

PP: Como responsables de la institución hacemos el balance de nuestra actividad y en estos 10 años las prácticas agrícolas han

tenido una evolución muy positiva, los niveles de reposición de nutrientes han ido aumentando. En cuanto al análisis de stock de nutrientes en el suelo o la evolución de variables duras como el contenido de materia orgánica o de fósforo o de sodio, potasio, azufre, en suelo, vemos que las prácticas son extractivas, ya que no tenemos un balance entre extracción y reposición. Esto nos alienta a seguir trabajando tanto con los productores como en la difusión de este tema, para que las prácticas agrícolas sean más sustentables.

En el 2013 hubo una campaña con aprox. 3 millones de toneladas y en el 2011 la demanda llegó a 3,7 millones de toneladas. Desde la coyuntura uno ve períodos de avances y retrocesos. Lamentablemente hay cuestiones estructurales que todavía hay que resolver. Desde Fertilizar hacemos hincapié en una toma de conciencia más realista, donde el dueño de un campo sepa que además es el guardián de la tierra. Entonces, cuando uno atraviesa diferentes contextos económicos, variables que cambian deberían ser el mix de cultivos que se realizan.

P: En las últimas campañas, por diferentes cuestiones ha habido un avance sustancial del cultivo de soja, ¿cómo afecta este avance al recurso suelo y cuál es el mensaje de Fertilizar sobre este tema?

PP: Por cuestiones financieras hay un retroceso en el cultivo de gramíneas y un fortaleciendo del cultivo de soja.

Esto genera varias problemáticas. En el caso de las gramíneas, al reducirse la participación en la rotación se generan problemas en la sustentabilidad del recurso suelo no sólo asociados a lo que es la nutrición. En el caso de soja, la práctica de la fertilización está menos difundida. En trigo y maíz, más del 95% de los productores aplica fertilizantes, quizá no con dosis de reposición, pero la tecnología está instalada. En el cultivo de soja, la asignatura pendiente es muy grande, sólo el 65 % de los productores fertiliza y aquellos que lo hacen aplican dosis muy por debajo de los niveles de reposición.

El problema no es la soja, sino la forma en que hacemos soja. Más del 60 % de la agricultura se hace en campos arrendados, y lamentablemente el dueño hace una subasta anual al mejor pos-

“En el cultivo de soja, la asignatura pendiente es muy grande, solo el 65 % de los productores fertiliza”

tor, tratando de maximizar su economía olvidándose de lo que sucede en el suelo. Como asignatura pendiente debemos seguir trabajando con el dueño de la tierra para que pase de ser un jugador pasivo, que mide el corto plazo, para transformarse en un jugador que mira el largo plazo.

P: Contame un poco la historia de Fertilizar, ya que está cumpliendo 20 años de vida.

PP: Podemos distinguir dos períodos de Fertilizar, cuando surge allá por el 94' con la figura del Ingeniero Ricardo Melgar, en ese entonces como miembro del INTA, liderando la institución y haciendo un convenio con el sector privado. Creo que lo que hubo fue una gran visión y una gran apuesta a lo que era “largo plazo”. En estos 10 primeros años de la institución, se buscaba hacer foco en la investigación a campo, recolectar información, ver la respuesta de los cultivos a la fertilización; era un perfil básicamente técnico. Ese estadio fue muy importante en el desarrollo de los fundamentos de la industria de fertilizantes de la argentina. En el 2004, se toma la decisión de hacer Fertilizar como Asociación Civil, tratando de dar un giro sobre esta base muy sólida de construcción de fundamentos técnicos, con el desafío de que nuestro mensaje llegue no sólo al productor y al dueño de la tierra, sino también a la sociedad. Afortunadamente hablamos de una tecnología que tiene que ser utilizada de manera adecuada, por eso nosotros no hablamos de aumentar el uso de fertilizantes en forma arbitraria, sino en el fundamento técnico del uso de los mismos. Es decir, entender cuáles son las necesidades de nutrientes que tiene un cultivo en particular, qué reserva de nutrientes tenemos en el suelo, y entender qué cantidad de nutrientes debemos usar, utilizando fertilizantes, para que esa actividad logre un balance entre la actividad económica y la sustentabilidad.

P: Saliendo de la coyuntura, ¿cómo nos debemos imaginar la actividad agrícola en los próximos 10 años y el rol de Fertilizar?

PP: Uno quisiera imaginar que ha logrado en gran porcentaje la misión, que es la difusión de las prácticas agrícolas sustentables y la preservación del recurso suelo, como bien fundamental del país. Creo que deberíamos ver una actividad agrícola donde hay un mejor balance entre gramíneas y oleaginosas, para lograr un nivel de reposición de nutrientes más balanceado y equilibrado respecto al de la actualidad, donde se sepan administrar los ambientes más vulnerables desde el punto de vista natural para poder desarrollar una actividad agrícola que hace de esos ambientes vulnerables una agricultura que se preserva en el tiempo. Los aspectos de la rentabilidad y los de la sustentabilidad deberían poder convivir.

P: ¿Cómo influye tener un cargo dentro de una institución conformada por empresas colegas pero también competidoras?

PP: Al asumir como Presidente de la Asociación uno siente una cuota de responsabilidad, sacándose la camiseta de la empresa de la que viene. Somos un grupo donde no se notan diferencias, poniéndonos metas claras y trabajando en equipo. Se privilegian

los objetivos comunes que tenemos como industria. Este es el paraguas que nos da Fertilizar, olvidándonos del día a día. Yo lo vivo con mucha pasión. Uno se despoja de temas comerciales y comienza a ocuparse de problemas puntuales de la industria, con el mérito de hacerlo ad honorem. Se siente la satisfacción que parte de la convicción de que lo que uno hace agrega valor. Eso nos hace sentir que estamos trabajando por una causa noble.

Somos muy cuidadosos desde Fertilizar, en poner a las empresas en un segundo plano, sin hablar de ningún producto en particular, hablamos más sobre el concepto de la nutrición. Hay algo que la hace muy particular a Fertilizar y es que la industria del fertilizante es relativamente nueva; entonces hay una convivencia de gente joven con muchos puntos en común para resolver.

P: ¿Cuáles son los temas prioritarios en Fertilizar y cuál es la relación con el afuera y los medios?

PP: Los puntos fuertes de Fertilizar son la difusión desde la revista, con un prestigio y respeto que hemos logrado a lo largo de estos años, los desayunos y eventos con periodistas, las charlas técnicas, las visitas a lotes a campo o a plantas de producción, creo que ahí hemos logrado dar un paso cuantitativo, teniendo un mayor contacto diario con los medios y poniendo más foco en la difusión de las prácticas. Antes el perfil era más técnico y de investigación, no tanto de difusión. Creo que ese es el paso más importante que hemos logrado en estos años.

Hay un aspecto sinérgico cuando distintos sectores de la sociedad tratan de trabajar en forma mancomunada detrás de objetivos comunes. Hoy tal vez esas relaciones son más complejas, porque hay otras instituciones privadas como el IPNI, AAPRESID, ACREA, hay periodismo que respalda la gestión, y eso potencia toda nuestra actividad. Tenemos prestigio al ser un organismo técnico independiente, contando con información confiable, y esto se ve cuando el gobierno o entidades como Maizar o Acsoja, por dar un ejemplo, nos invita a participar para escuchar la voz que cuenta los aspectos de la nutrición en los diferentes cultivos.

P: ¿Cuál es el trabajo que realizan en cuanto a la importancia del cuidado del medio ambiente y el uso de fertilizantes?

PP: Debemos reconocer que mal usados los fertilizantes, así como cualquier otro insumo, tienen un impacto para el ambiente, pero nosotros los vemos como un engranaje dentro de una agricultura sustentable enmarcada en la producción de alimentos de largo plazo. Por eso hablamos de una tecnología que tiene que ser utilizada de manera adecuada, conociendo los requerimientos del suelo y la extracción de nutrientes que se realizan con las cosechas. Desde Fertilizar consideramos que la fertilización es clave para preservar el recurso suelo y está demostrado científicamente. Es en esa línea en la que trabajamos.

Fertilización de PASTURAS Y VERDEOS INVERNALES:

*bases para un manejo eficiente
de suelos y nutrientes*

A pesar de las deficiencias generalizadas de varios nutrientes en los agro-ecosistemas de la Región Pampeana y de las evidencias experimentales locales que muestran respuestas considerables y rentables al agregado de nutrientes, la fertilización no es una práctica frecuente en los modelos ganaderos de base pastoril. En este artículo se discuten las bases para realizar el diagnóstico de la fertilidad de los suelos y definir estrategias de fertilización en pasturas y verdeos de invierno.

Ing.Agr. MSc. Martín Torres Duggan
Tecnoagro S.R.L.
torresduggan@tecnoagro.com.ar

CAMBIOS RECIENTES EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN GANADEROS. IMPLICANCIAS SOBRE LA FERTILIDAD EDÁFICA

En los últimos tiempos se verificó una progresiva agriculturización de los modelos productivos de la Región Pampeana, con una marcada expansión del cultivo de soja. Dicha expansión provocó el desplazamiento de los sistemas de producción de carne de base pastoril hacia el oeste de la Región Pampeana, donde prevalecen condiciones de fertilidad edáfica más restrictivas para la producción de forraje. En estos ambientes dominan suelos arenosos, pobres en MO y con reducida capacidad de retención hídrica. Asimismo, debido a las condiciones climáticas semiáridas o sub-húmedas, los suelos presentan escaso desarrollo morfológico, baja capacidad de intercambio catiónico (CIC), y en algunas zonas se pueden observar la presencia de tosca a profundidades variables que reducen la profundidad efectiva del perfil y la aptitud productiva del suelo.

Si bien los sistemas pastoriles continúan siendo los principales sistemas de producción ganadera en la Argentina, en los últimos tiempos y en especial durante la década de los 90, se evidenció un marcado crecimiento de los sistemas de engorde intensivo a corral o feedlots. Los modelos de engorde intensivo modificaron la funcionalidad de los agro-ecosistemas tradicionales (sistemas pastoriles y/o integrados por cultivos anuales y pasturas pluri-anales) mediante la intensificación de los procesos productivos. Un rasgo particular de estos modelos intensificados es la gran generación de residuos y desechos producidos, que suelen causar contaminación puntual en el sitio de producción y/o en áreas adyacentes. Si bien estos residuos tienen un interesante valor potencial como fuente de nutrientes, en general no se reutilizan.

Considerando la gran heterogeneidad de condiciones de fertilidad que pueden limitar la productividad forrajera e independientemente del sitio de producción, es necesario realizar una adecuada caracterización de los suelos (a nivel de serie) y clasificarlos según su capacidad de uso. Esta información es la base para definir el tipo de recurso forrajero a establecer y analizar el nivel de tecnología que es necesario aplicar para optimizar la

producción en cada uno de los ambientes o unidades de manejo. En este sentido, contar con un mapa básico de suelos del establecimiento a escala de detalle (e.g. 1:20.000) es una herramienta muy valiosa ya que nos permite conocer las limitaciones permanentes de los suelos y ubicarnos sobre el potencial productivo de las tierras. Esta información representa un marco imprescindible para realizar diagnósticos de las condiciones de fertilidad en cada lote y/o ambiente en recursos forrajeros a implantar o ya establecidos. Los mismos se deberían sustentar en el muestreo y análisis de suelos. La etapa del muestreo de suelos es muy importante puesto que es donde mayor error se puede generar cuando la toma de muestras no es representativa.

¿POR QUÉ FERTILIZAR PASTURAS?

En agro-ecosistemas ganaderos donde prevalecen marcadas deficiencias de nutrientes, como en la mayor parte de la Región Pampeana, la fertilización de recursos forrajeros representa una de las prácticas con mayor impacto tanto en la productividad como en la rentabilidad del sistema. Los beneficios más destacados de la fertilización de pasturas y verdeos son:

- *Aumento en la productividad (kg de materia seca por unidad de superficie y tiempo) y calidad del forraje (digestibilidad, % de proteína, contenido mineral).*
- *Mejora en implantación y establecimiento.*
- *Incremento en la producción animal (carne, leche).*
- *Mayor persistencia de las pasturas y mejoras en productividad en praderas degradadas.*
- *Adelanto del primer aprovechamiento de los verdeos de invierno.*
- *Restauración de la fertilidad del suelo (estructura, estabilidad de agregados y propiedades relacionadas).*
- *Modificación de la composición florística (estímulo del crecimiento de las gramíneas o de las leguminosas según se aplique N o P, respectivamente).*

NUTRIENTES LIMITANTES DE LA PRODUCTIVIDAD FORRAJERA. IMPORTANCIA NUTRICIONAL Y DIAGNÓSTICO DE DEFICIENCIAS

»Nitrógeno

El nitrógeno (N) es el macronutriente con mayor incidencia sobre la productividad vegetal y el segundo recurso abiótico limitante del crecimiento de las plantas luego del agua. El N es constituyente de proteínas y por lo tanto de las enzimas, incluidas las que participan del proceso de la fotosíntesis. En cuanto a su dinámica en el sistema suelo-cultivo, el N presenta el biogeo-ciclo más abierto. La mayor parte del N (~95-98%) del suelo se encuentra en la MO del suelo, y por ello la conservación de la misma es muy importante para sostener la demanda de N de los cultivos.

Actualmente, la mayor parte de los suelos agrícolas y ganaderos de la Región Pampeana presentan deficiencias de N y por consiguiente, respuestas al agregado de N vía fertilización. Así, de acuerdo a una reciente revisión sobre el impacto de la fertilización en diferentes recursos forrajeros se reportan aumentos en la forrajimasa de entre 9 y 45 kg de MS por cada kg de N aplicado en diferentes recursos forrajeros. Asimismo, en agro-ecosistemas donde existen restricciones hídricas (e.g. suelos arenosos baja capacidad de retención y/o baja oferta de precipitaciones), la mayor disponibilidad de N incrementa la eficiencia en el uso del agua (EUA), es decir la relación entre la biomasa producida y el agua consumida. El sinergismo entre el N y el agua se debe a que el N aumenta la expansión y área foliar, incrementando la radiación interceptada y la tasa de crecimiento derivada de la actividad fotosintética, determinando mayor acumulación de biomasa forrajera.

La fertilización nitrogenada es especialmente importante en verdeos de invierno y en pasturas plurianuales de gramíneas o

donde existe una alta proporción de las mismas en el tapiz vegetal. De acuerdo a estudios realizados en el oeste de Buenos Aires, se observan mayores EUN cuando la disponibilidad de N a la siembra es menor a 50 kg/ha y a partir de dicho valor crítico las mismas son muy bajas (Díaz Zorita & Trasmonte, 2008).

En praderas de leguminosa o base leguminosas y/o pasturas consociadas, es importante lograr una alta eficiencia de la fijación biológica de nitrógeno (FBN), ya que contribuye con el N necesario para el crecimiento de las gramíneas a través de la transferencia de éste nutriente desde el sistema radical de las leguminosas. Para lograr una alta eficiencia de la FBN es necesario que el sistema nodular funcione de la mejor manera posible. Par ello se recomienda inocular las semillas con productos de calidad reconocida (i.e. alta concentración de rizobios viables en cada semilla) y en el cultivo de alfalfa, es importante además evaluar la condición de acidez del suelo (pH y saturación de bases). La aplicación de N en pasturas consociadas no se justifica salvo casos donde la proporción de leguminosas sea baja (e.g. menor al 20-30%) y/o resulte de interés promover el crecimiento del componente de gramíneas dentro del tapiz vegetal.

»Fósforo

El fósforo (P) es el tercer recurso limitante de la productividad forrajera en la Región Pampeana, luego del agua y del N. El P es un nutriente vital para el crecimiento y desarrollo de las plantas, formando parte de proteínas, compuestos energéticos como el ATP y ácidos nucleicos. Asimismo, juega un rol muy importante en la formación de semillas y frutos, crecimiento de las raíces y en el proceso de germinación-emergencia. El principal ingreso de P al sistema suelo-planta-animal es la fertilización (ya sea con fertilizantes inorgánicos u orgánicos), mientras que la remoción en los productos pecuarios (e.g. carne, leche) representan el principal egreso de P del sistema.

En las últimas décadas se produjo una marcada reducción en la

» Beneficios de la tecnología de peleteado en la implantación de la alfalfa

En los últimos años se observan mejoras considerables en las tecnologías de peleteado de semillas de alfalfa, con múltiples beneficios:

- » Aplicación segura y controlada de terapicos de semillas (e.g. insecticidas, fungicidas) y tratamientos biológicos (e.g. inoculación con rizobios u otros microorganismos).
- » Cubierta resistente al manipuleo normal de semillas durante almacenaje, transporte y siembra

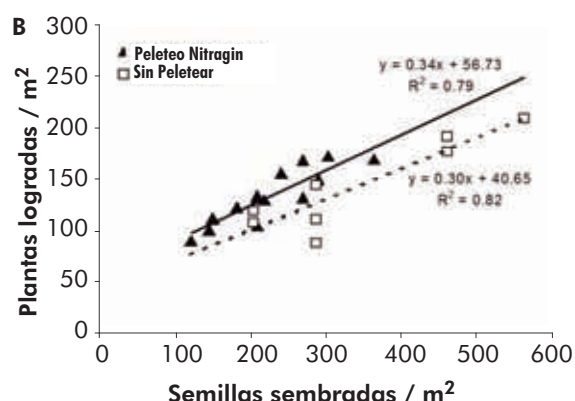
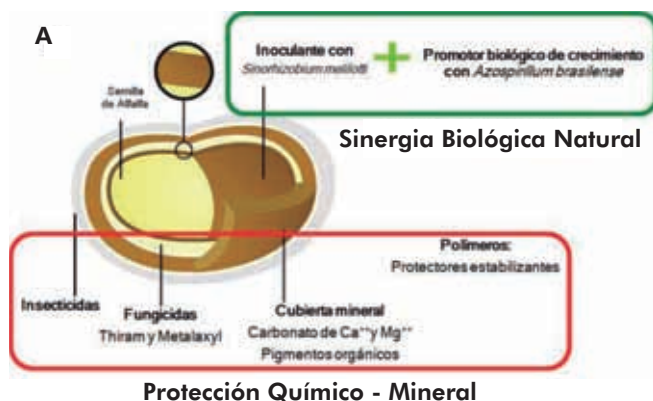
» Mínimo desprendimiento de polvo

» Altos recuentos iniciales de microorganismos en la semilla, inclusive hasta 12 meses

De acuerdo con la información experimental disponible, el peleteado profesional de las semillas aumenta la cantidad de plantas logradas/m² y la producción de materia seca, independientemente de la densidad de siembra utilizada (Figura 1).

Figura 1.

Esquema de una semilla peleteada indicando las diferentes coberturas donde se ubican los terapicos de semilla, microorganismos y aditivos (A). Efecto del tratamiento de peleteado sobre la cantidad de plantas logradas/m² (5 sitios, 2 campañas)(B). Fuente: Novozymes-Forratec



disponibilidad de P en los suelos de la Región Pampeana. Actualmente la mayor parte de los suelos presenta rangos de P extractable (P Bray 1, 0-20 cm) de muy bajos a bajos, representando un factor limitante de la producción de cultivos. Asimismo, la reducción en la disponibilidad de P fue mayor en el oeste y norte de la región, donde los planteos de producción ganaderos son un componente importante de los agro-ecosistemas. En la Figura 2 se muestra el cambio en la disponibilidad de P extractable (P Bray 1) de los suelos de la Región Pampeana en las últimas décadas.

Las causas del descenso en la disponibilidad de P se vinculan con la intensificación de los modelos productivos descripta antes, bajo un paradigma de baja intensidad en el uso de fertilizantes, generando una externalidad negativa sobre el recurso suelo. Los balances de P negativos (extracción de P > aporte de P) tuvieron lugar tanto en los sistemas de producción de granos, como así también en sistemas ganaderos intensificados, donde se realiza corte mecánico del forraje para confección de reservas forrajeras (e.g. rollos), produciendo una transferencia neta de nutrientes debido a que la eficiencia de cosecha del forraje en estos sistemas es cercana al 100%. En sistemas donde se realiza pastoreo la eficiencia de cosecha es considerablemente más baja y además ocurre el reciclado de nutrientes a través de las deyecciones de los animales, aunque con una distribución espacial muy heterogénea.

Las respuestas a P en suelos deficientes en este nutriente son muy elevadas y rentables. Las eficiencias agronómicas se ubican en el rango de 20 a 340 kg de materia seca por cada kg de P aplicado dependiendo de la disponibilidad de P del suelo, del estado de la pastura (las respuestas a P son mayores en los primeros años debido al menor desarrollo del sistema radical), dosis de aplicación y tipo de recurso forrajero (especies y composición florística). El diagnóstico de las deficiencias de P se basa principalmente en el análisis de suelo a la siembra (contenido de P Bray 1, 0-20 cm). En praderas en producción, el análisis foliar representa una herramienta interesante para detectar posibles carencias nutricionales. En la Tabla 1 se muestran recomendaciones orientativas de fertilización fosfatada según el contenido de P extractable en el suelo.

Estas recomendaciones pueden ser de utilidad cuando no se dispone de modelos de fertilización calibrados regionalmente. Se recomienda consultar revisiones recientes en la temática de nutrición y fertilización de forrajes como la realizada por Rubio et al. 2012 donde se discute información en diferentes zonas de producción.

»Azufre

En los últimos años, comenzaron a expandirse las deficiencias de

(S) en los agro-ecosistemas de la Región Pampeana. El S cumple un rol clave en el crecimiento de los cultivos. Es constituyente de aminoácidos esenciales y participa en procesos bioquímicos importantes como la biosíntesis de lípidos y proteínas; fotosíntesis; fijación biológica de nitrógeno (N), entre otros. Asimismo, una adecuada nutrición azufrada mejora la calidad de los productos cosechados. Algunas de estas funciones son similares a las del N, y consiguientemente las interacciones entre N y S pueden ser frecuentes, dependiendo de las condiciones edafo-climáticas. La dinámica del N y S en el sistema suelo-cultivo son similares. Así, la mayor parte de estos nutrientes se encuentra formando parte de la MO humificada del suelo. Sin embargo, el ciclo biogeoquímico del S es más cerrado que el del N (i.e. menores salidas de S del sistema), siendo las principales pérdidas la lixiviación de sulfatos).

Para diagnosticar deficiencias de S se utilizan diferentes indicadores:

- Nivel de degradación del suelo (e.g. pérdida de MO relativa a la situación original)
- Reportes de respuestas a la aplicación de S en la zona
- Antecedentes de respuestas a N o P
- Prolongado uso agrícola (años de agricultura)
- Productividad esperada
- Bajo contenido de S de sulfatos en el suelo (<10 ppm; referencia orientativa)

En términos generales las dosis de respuestas se ubican en 10-15 kg de S ha⁻¹ para un amplio rango de recursos forrajeros. Sin embargo, en especies con altos requerimientos como la alfalfa y en planteos de alta productividad, las dosis donde se maximizan las respuestas se ubican en 30-40 kg/ha de S.

»Micronutrientes

El micronutriente que limita en mayor medida la productividad forrajera y particularmente de las leguminosas es el boro (B). El B cumple importantes funciones fisiológicas en las plantas, ya que interviene en la división celular a nivel de los meristemas, crecimiento de raíces, estabilización de la pared celular y permeabilidad de las membranas plasmáticas, siendo además muy relevante para el adecuado proceso de floración y fructificación.

Si bien se han realizado numerosos ensayos y existen antecedentes locales que muestran respuestas al agregado de B en alfalfa, no se dispone de modelos de fertilización calibrados regionalmente. De acuerdo con investigaciones del INTA Rafaela, las dosis de respuesta se ubican en 2 kg/ha fraccionadas en cuatro aplicaciones en el primer año de la pastura. Los análisis de suelos (contenido de B en la capa de 0-20 cm), como así también los análisis foliares son herramientas valiosas para evaluar la probabilidad de obtener respuestas a la fertilización.

TECNOLOGÍA DE LA FERTILIZACIÓN

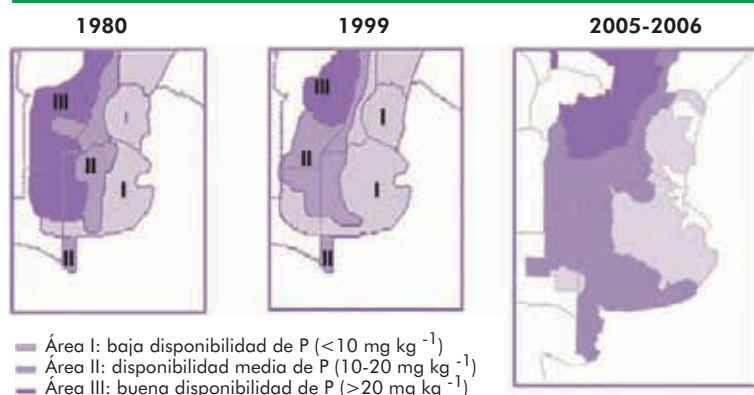
Fuentes de nutrientes

»Nitrógeno

Existen diversos tipos de fertilizantes nitrogenados disponibles en el mercado. La decisión de la fuente a utilizar depende de distintos factores como el costo de la unidad de N, disponibilidad de maquinaria para la aplicación, preferencias del productor, entre otras. En términos generales la eficiencia de uso de N (EUN) entre las diferentes fuentes es similar cuando el N se incorpora en el suelo a la siembra. Sin embargo, cuando se realizan aplicaciones superficiales (al voleo) de urea durante períodos del año

Figura 2.

Cambios en la disponibilidad de P Bray 1 (0-20 cm) en la Región Pampeana y Extrapampeana argentina (Sainz Rozas et al., 2012)



con temperaturas mayores a 15-20°C se pueden presentar pérdidas de N volatilización de amoníaco. Estas pérdidas se pueden minimizar utilizando fuentes sin N amídico (e.g. CAN) o con una menor proporción del mismo (e.g. UAN).

En suelos arenosos es importante también considerar el riesgo de ocurrencia de pérdidas por lixiviación de nitratos. La adecuada selección de la fuente, momento y forma de colocación deben ser analizados en conjunto para determinar la mejor estrategia a emplear.

»Fósforo

Los fertilizantes fosfatados solubles, que son los más utilizados en la Argentina (e.g. MAP, DAP, SFS, SFT) presentan el P inmediatamente disponible y en términos generales presentan la misma eficiencia agronómica cuando son comparados en las mismas dosis y métodos de aplicación. Sin embargo, la selec-

Tabla 1.

Recomendaciones orientativas de aplicación de P en diferentes recursos forrajeros.

Nivel de P	Valoración agronómica	Alfalfa	Pasturas consociadas	Gramíneas
ppm			kg P/ha	
<5	Muy bajo	100-125	75-100	50-75
6-10	Bajo	75-100	50-75	25-50
11-15	Medio bajo	50-75	25-50	10-25
16-20	Medio alto	25-50	10-25	-
21-30	Alto	10-25	-	-
>30	Muy alto	-	-	-

Fuente: IPNI Cano Sur

ción de la fuente de P depende del tipo de recurso forrajero a fertilizar, costo de la unidad de P, maquinaria disponible para la aplicación, entre otros. En pasturas de alfalfa, praderas base leguminosas o bien en pasturas consociadas, el SFT presenta la ventaja de su alto contenido de P (46% de P₂O₅) y por ello es un fertilizante tradicionalmente utilizado en pasturas. Sin embargo, en la Argentina se produce SFS de muy buena calidad que puede ser utilizado también en pasturas y verdesos. Su ventaja es que aporta p y S (12% de S) y la desventaja es su baja concentración del primero (21% de P₂O₅).

A diferencia de los fertilizantes fosfatados solubles, la roca fosfórica es un material insoluble en agua y su efectividad agronómica es mayor cuanto mayor es el contenido de P soluble en citrato de amonio del fertilizante y menor su granulometría. Asimismo, la mayor respuesta a la fertilización se obtiene en suelos ligeramente ácidos, no recomendándose su aplicación en suelos con pH moderadamente alcalinos o alcalinos (baja tasa de disolución del mineral en el suelo). Actualmente esta fuente es poco utilizada en el país, pero presenta un gran potencial en áreas con suelos moderadamente ácidos y/o donde ha ocurrido una acidificación moderada asociada a la extracción de bases del sistema.

»Azufre

Los fertilizantes más utilizados en la Región Pampeana corresponden a fuentes que tienen el S en forma de sulfato (fertilizantes sulfatados). Estos son solubles en agua y presentan el azufre inmediatamente disponible. Experiencias recientes realizadas en nuestro país en cultivos de grano indican que no hay diferencias significativas en respuestas al agregado de S cuando se comparan fertilizantes sulfatados. Todos son similares en cuanto a su capacidad de proveer S (SFS, yeso agrícola, sulfato de amonio, tiosulfato de amonio, etc.)

Por el contrario, el azufre elemental (AE) puede presentar diferencias de efectividad respecto de los fertilizantes sulfatados. Este fertilizante es insoluble en agua y debe oxidarse en el suelo antes de proveer sulfatos disponibles. La velocidad de oxidación depende de varios factores. El más importante relacionado con la fuente es el tamaño de partícula. Para obtener resultados en el año de aplicación es necesario utilizar formas reactivas, que son las que presentan tamaños de partículas inferiores a 150-200 micrones (µm) incorporados en la matriz de fertilizantes granulados, en general en mezclas químicas que contienen N, P y S. De los factores ambientales, la temperatura y la humedad edáfica son los más importantes. En términos generales se puede observar bajas tasas de oxidación (y por ende menor provisión de sulfatos) con bajas temperaturas (e.g. <5°C) o en suelos muy secos (e.g. <20% del agua útil).

En pasturas plurianuales, cuya duración puede ser de 3-5 años, el uso del AE resulta potencialmente atractivo ya que se puede aprovechar su liberación progresiva y mayor residualidad relativa a fuentes solubles.

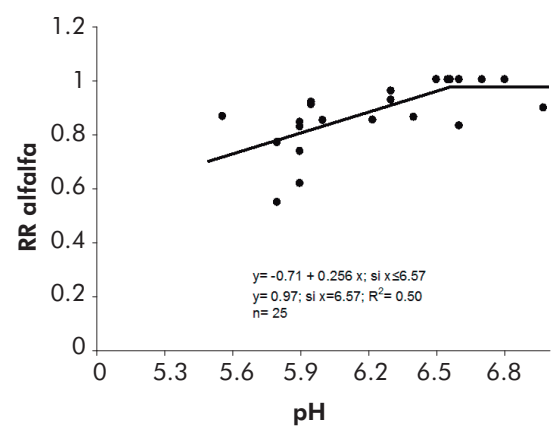
»Boro

Existe una gran variedad de fuentes de B disponibles en el mer-

EVALUACIÓN DE LA ACIDEZ EDÁFICA EN EL CULTIVO DE ALFALFA

La alfalfa es una de las especies más sensibles a la acidez edáfica. La evaluación de la acidez edáfica requiere de un diagnóstico integral, donde se consideran diferentes variables como el pH, saturación de bases, relación entre cationes (e.g. relación Ca/Mg), entre otras. De acuerdo con la literatura internacional la máxima productividad forrajera se alcanza en un rango de pH de 6,5-7,5. En la Región pampeana argentina, Alvarez & Rubio (2010) reportan que la alfalfa alcanza el 97% del rendimiento relativo (RR) cuando el pH alcanza un pH de 6,57, donde el RR se estabiliza (Figura 3). Cuando el pH se encuentra por debajo del valor óptimo y/o se observa una clara deficiencia de bases como Ca y Mg (e.g. saturación de bases <65-70%), la corrección del pH se basa en la aplicación de carbonatos de calcio (calcita) o de carbonato de calcio y magnesio (dolomita), cuya reacción en el suelo es alcalina. Debido a la baja solubilidad de los carbonatos en agua, en sistemas en siembra directa la solubilización ocurre en los primeros cm del suelo. En este tipo de situaciones, la mezcla de los carbonatos con yeso agrícola (e.g. relaciones 70-30% respectivamente) puede ser una alternativa para aportar Ca soluble, que pueda desplazarse en profundidad.

Figura 3. Relación entre el rendimiento relativo de la alfalfa y el pH del suelo o el logrado por la aplicación de carbonatos (Alvarez & Rubio, 2010)



cado. Las principales fuentes de B empleadas en la Argentina son el ácido bórico y los boratos de sodio (Melgar, 2006). El ácido bórico y algunas formas de borato de sodio (e.g. Na₂B₈O₁₃·4H₂O) son solubles en agua y aptas para la aplicación foliar. Las fuentes de B más utilizadas son boratos solubles disueltos en soluciones nitro-azufradas y fertilizantes foliares de diverso tipo.

MOMENTOS Y FORMAS DE APLICACIÓN

»Nitrógeno

Las mayores EUN en verdeos invernales se suelen presentar cuando la fertilización se realiza en el invierno, donde la disponibilidad de nitratos alcanza su menor concentración. Esto permite incrementar la producción de materia seca e inclusive adelantar hasta 30 días el momento del primer aprovechamiento del verdeo.

En pasturas plurianuales de gramíneas (o base de gramíneas) próximas a implantar, la aplicación se puede hacer a la siembra para mejorar la implantación y el establecimiento.

»Fósforo

Por tratarse de un nutriente poco móvil en el suelo, el momento tradicional de aplicación de P en recursos forrajeros es a la siembra, por debajo y al costado de la línea de siembra. Cuando no es posible separar la semilla del fertilizante o las dosis son muy elevadas (riesgo de fitotoxicidad), la fertilización al voleo podría ser una opción. De hecho las refertilizaciones se realizan al voleo en cobertura total.

»Azufre

El S se lo puede aplicar en una amplia gama de momentos y formas de aplicación. En general, lo más frecuente es la aplicación a la siembra, pero es posible realizar aplicaciones en post-emergencia de verdeos y refertilizaciones en caso que se considere necesario. La utilización de fertilizantes líquidos (e.g. mezclas de

UAN con tiosulfato de amonio), muy difundidas en el país, representan una opción muy práctica para aplicar N y S mediante aplicaciones “chorreadas” en superficie. Además de las ventajas operativas (mayor capacidad de trabajo), estas fuentes presentan mayor EUN cuando hay condiciones predisponentes para la ocurrencia de pérdidas por volatilización de amoníaco.

»Boro

El B es un nutriente móvil en el suelo. La fertilización a la siembra junto con las semillas no es recomendable ya que es tóxico para las semillas en germinación. Por ello, en general se recomienda aplicarlo en post-emergencia ya sea “chorreado” al suelo con fertilizantes líquidos (disuelto en soluciones nitrogenadas y/o nitro-azufradas) o bien pulverizado sobre el canopeo (vía foliar).

CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

La mayor parte de los agro-ecosistemas pastoriles de la Región Pampeana se encuentra condicionada por diferentes limitaciones de fertilidad edáfica, particularmente deficiencias de nutrientes. La planificación del uso de las tierras destinadas a producción ganadera debería considerar una detallada descripción y clasificación de los suelos, incluyendo su capacidad de uso (limitaciones permanentes). Esta información constituye el marco de referencia para realizar posteriormente diagnósticos de las deficiencias nutricionales, basados en los análisis de suelos y/o plantas. En verdeos y en pasturas plurianuales de gramíneas el N es el nutriente con mayor impacto productivo, pero un plan nutricional integral debería considerar además la disponibilidad de P y S. En praderas de leguminosas y en especial en alfalfa, se debe evaluar la acidez edáfica (pH y saturación de bases) y garantizar la adecuada disponibilidad de P, S y B. La adecuada provisión de estos nutrientes es central para un buen funcionamiento del sistema nodular y alcanzar altas eficiencias en la FBN. En praderas polifíticas, donde la proporción de leguminosas sea mayor al 20-30%, el N lo aporta la transferencia del mismo desde el sistema radical de las leguminosas.

BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA Y RECOMENDADA

Álvarez, C; G Rubio. 2010. Acidez parámetros, efectos sobre los cultivos y manejo. En: *Fertilidad de suelos. Caracterización y manejo en la Región Pampeana. Sección 1. Capítulo 4.* R. Álvarez; G. Rubio, C.R. Álvarez y R.S. Lavado (Eds). FAUBA. 423 p.

Ball, DM; CS Hoveland & GD Lacefield. 2007. Southern forages. Modern concepts for forage crop management. Fourth Edition. International Plant Nutrition Institute (IPNI). Norcross, Georgia. USA. 322 p.

Basso, LR & MA Herrero, Producción animal y medio ambiente. 337-363. En: *Agrosistemas: impacto ambiental y sustentabilidad.* L. Giuffrè (Ed.). Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. 493 pp.

Bolton, A; GA Studdert & HE Echeverría. 2004. Utilización de estiércol de animales en confinamiento como fuente de recursos para la agricultura. *Rev. Arg. Prod. Anim.* Vol 24 N° 1-2: 53-73.

Castino, 2007. E.G. Estimación y modalidades de uso de fertilizantes en el Mercado de pasturas. En: *Simposio “Fertilidad 2007”. “Bases para el manejo de la nutrición de los cultivos y los suelos”.* International Plant Nutrition Institute (IPNI) y Fertilizar Asociación Civil. García, F y Ciampitti, I. Editores. p 79-83.

Díaz-Zorita, M; DH Trasmonte. 2008. Fertilización de verdeos de invierno. En: *Fertilización de cultivos y pasturas.* 2º edición. R. Melgar & M. Díaz-Zorita (editores). Hemisferio Sur-INTA. 569 p.

García, FO; F Micucci; G Rubio; M Ruffo & I Daverede. 2002. Fertilización de forrajes en la región pampeana. INPOFOS. 72 p

Herrero, MA & SB Gil. 2008. Consideraciones ambientales de la intensificación en producción animal. *Ecología Austral* 18: 273-289.

Moscuzza, C.H. 2010. Intensificación de la producción agropecuaria. En: *Aspectos Ambientales de las Actividades Agropecuarias.* Fernandez Cirelli, A.F., Moscuza, C. H., Pérez Carrera, A.L., Volpedo, A.V (Editores). Facultad de Ciencias Veterinarias y CETA (Centro Transdisciplinario del Agua). 189. p.

Prystupa, P.; Torres Duggan; M.; Ferraris, G. 2012. Fuentes y formas de aplicación de azufre y micronutrientes en la Región Pampeana. En: *Fertilización de Cultivos y Pasturas. Diagnóstico y recomendación en la Región Pampeana. Capítulo 6. Sección 2.* Álvarez, R; Prystupa, P; Rodríguez, M.; Álvarez, C. (editores). Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. 623 p.

Rubio, G; F Micucci & FO García. 2012. Ciclado de nutrientes y fertilización de pasturas. En: *Fertilización de Cultivos y Pasturas. Diagnóstico y recomendación en la Región Pampeana. Capítulo 16. Sección 1.* Álvarez, R; Prystupa, P; Rodríguez, M.; Álvarez, C. (editores). Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. 623 p.

Sainz Rosas, H; H Echeverría & H Angelini. 2012. Fosforo disponible en suelos agrícolas de la Región Pampeana y Extrapampeana argentina. *RIA.* Vol 38 N°1. P 34-39.

Torres Duggan, M & J Lemos. 2009. Influencia de la fertilización con nitrógeno y azufre sobre la producción de forraje de raigrás anual. *Informaciones Agronómicas (IA) del Cono Sur N°41.* IPNI Cono Sur. 22-24 p

Torres Duggan, M; R Melgar; MB Rodríguez; RS Lavado, R.S & IA Ciampitti. 2012. Sulfur fertilization in the Argentine Pampas region: a review. *Agronomía & Ambiente*, 32 (1-2) 61-73.

El cultivo de soja cubre en la región pampeana el 53% del área cultivable, siendo uno de los de mayor importancia tanto para el sector productivo, como el exportador e industrial, alcanzando una superficie implantada superior a los 18 millones de hectáreas.

Tal como resalta Fertilizar Asociación Civil el área fertilizada alcanzaría el 68% de la superficie sembrada, con dosis medias de fertilizantes que no cubren la extracción de nutrientes por parte del cultivo. Esto indicaría que, en varias zonas de la región pampeana, el balance entre el aporte y consumo de nutrientes es negativo, realizando el mayor aporte de nutrientes el sistema suelo. Este no es un dato menor, puesto que -cubiertas las necesidades de nitrógeno (~60-70%), mayormente por el proceso de fijación biológica desde el aire-, el fósforo es el principal nutriente que limita la productividad del cultivo de soja.

Son numerosos los estudios que analizan los comportamientos de soja en relación a los niveles de fósforo del suelo y la fertilización fosforada. En su mayoría han sido desarrollados en secuencias de rotación con otros cultivos. Son escasos los trabajos que consideran este análisis en sistemas continuos de soja, que es la situación más frecuente en los actuales planteos productivos.

La aplicación de fósforo en cantidades que permitan cubrir los requerimientos de extracción sería adecuada para mantener e incrementar tanto la productividad como los niveles de fósforo extractable en el suelo.

En la actualidad, las dosis limitadas por el riesgo salino de fitotoxicidad, en contacto directo entre fertilizantes y semillas se observa en la fertilización en bandas próximas a la línea de siembra. Existen evidencias que las aplicaciones en superficie podrían ser una alternativa de manejo de la fertilización con fósforo. Por no presentar riesgos sobre la implantación, permitiendo aportar mayores dosis del nutriente, como por razones logísticas mejorando la operación de siembra.

En base a lo expuesto, Fertilizar Asociación Civil elaboró un informe que estuvo a cargo de los Ing. Agr. Matías Saks y el Dr. Manuel Bermúdez, para desarrollar esta tecnología.

LA PROPUESTA

Con el objetivo de evaluar distintas estrategias de fertilización fosforada e incrementar la productividad de soja en secuencias continuas del cultivo, Fertilizar Asociación Civil -junto con instituciones como INTA y la Universidad Nacional de Río Cuarto- está conduciendo una red de ensayos de fertilización que lleva 3 años en sistemas de secuencia continua Soja-Soja.

En distintos lugares representativos de la región pampeana (9 de Julio y Ferré -Buenos Aires-; Aldao y Carcaraña -Santa Fe- y Río Cuarto -Córdoba-) se establecieron cinco tratamientos de manejo de la fertilización con fósforo en un diseño en bloques completos aleatorizados de cuatro repeticiones.

Todos los cultivos se sembraron con semillas de soja de variedades de alta producción, según cada región; y fueron inoculadas con *Bradyrhizobium japonicum*.

MANEJO DE FÓSFORO *en secuencias continuas* DE SOJA



Figura 1.

Rendimiento medio del cultivo de soja como resultado de diferentes dosis, momentos y formas de localización de P en 12 localidades de la región pampeana de Argentina. Medias de tratamientos con distinta letra difieren entre sí ($P \leq 0,05$).

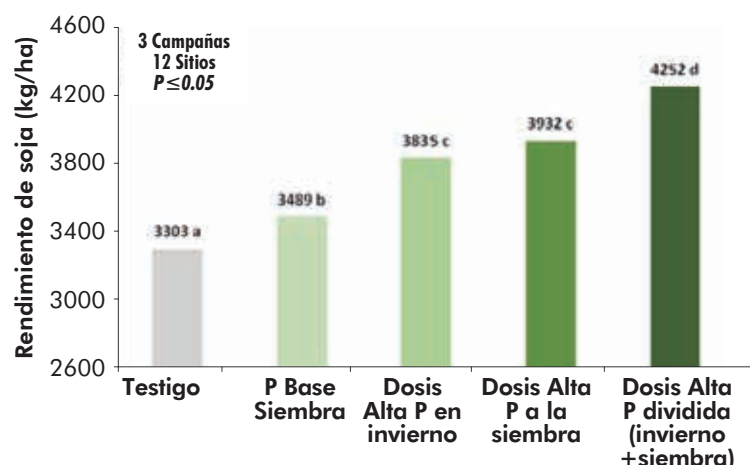


Tabla 1.

Análisis químico del suelo (0 a 20 cm) inicial para los ensayos realizados en cada una de las localidades. Los valores corresponden a la campaña inicial de cada sitio experimental. Pe = P (Bray Kurtz 1), MO = materia orgánica.

	Pe	S-Sulfatos	Arena	Limo	Arcilla	MO
Localidad	ppm		%			
Ferre	14	6	28	48	23	2,8
Río Cuarto	15	14	32	56	12	1,8
Carcaraña	12	3	2	74	24	2,5
9 de Julio	10		65	20	15	2,2

Además, en todos los casos se aplicó azufre (S) para corregir posibles deficiencias de este nutriente, en dosis que variaron entre 10 y 18 kg de S/ha/año.

Los ensayos se mantuvieron libres de plagas, enfermedades y malezas.

En cada sitio, previo a la siembra se realizó un análisis de suelo para caracterizar los sitios experimentales. De ese modo y en los primeros 20 cm se determinaron los contenidos de materia orgánica total, azufre disponible, pH, textura y fósforo extractable del suelo, el cual fue evaluado después de cada cosecha en el entresurco y para cada tratamiento (0 a 20 cm).

Al momento de la cosecha se determinó el rendimiento de grano de cada una de las unidades experimentales para luego tomarse muestras de cada uno de ellos (espectrometría de emisión atómica por plasma inducido) y así calcular el balance nutricional. Los datos fueron analizados mediante análisis de variancia, pruebas de comparación de medias y análisis de regresión.

LOS RESULTADOS

Los resultados de evaluación de 12 sitios (3 años en 4 sitios) representativos de la región en suelos con limitaciones en la oferta de fósforo muestran que la aplicación de una dosis de base en el momento de la siembra de entre 8 y 15 kg/ha de fósforo -semejante a la práctica de fertilización actual- logra incrementar parcialmente la producción de granos (186 kg/ha).

Las mayores mejoras en rendimientos se logran con dosis de entre 25 y 30 kg/ha de fósforo aplicadas en superficie ("al voleo") durante el barbecho en el invierno o en pre-siembra de los cultivos o combinando 70% de la dosis en superficie y el resto localizada en el momento de la siembra. A su vez, en promedio, la fertilización en superficie mostró aumentos de 703 kg/ha y 949 kg/ha con aplicaciones fraccionadas. Esta última posibilidad, además de contribuir a incrementar los rendimientos, sería

una alternativa para el mantenimiento de los balances aparentes del nutriente al compensar los niveles de exportación de fósforo en los granos y la corrección al fertilizar.

Cabe mencionar que estos estudios tienen como propósito aportar herramientas para el mejor manejo de la nutrición del cultivo en las condiciones frecuentes de producción en la región pampeana aunque es importante recordar que es deseable la incorporación de gramíneas en las secuencias de cultivos para facilitar el mantenimiento procesos fisicoquímicos y biológicos que hacen a la fertilidad de los suelos

Destacando que la información suministrada corresponde a tres años de evaluaciones, el manejo frecuente de la fertilización con fósforo en cultivos de soja de la región pampeana es el de proporcionar la cantidad óptima o suficiente del nutriente para alcanzar un máximo rendimiento económico.

EN DETALLE

El informe de Fertilizar Asociación Civil destaca que los suelos donde se realizaron los ensayos son representativos de los lotes agrícolas de la región pampeana, con contenido de materia orgánica inferior a 2,8%. En esos casos, el contenido de fósforo fue medio, con un rango que osciló entre 10 y 15 ppm, y el contenido de azufre fue bajo (menor a 6 ppm) a intermedio, en Río Cuarto (14 ppm).

En ese marco, las condiciones de media disponibilidad de fósforo extractable en los suelos permitieron expresar una amplia respuesta a la fertilización fosfatada, la que incrementó significativamente el rendimiento del cultivo y sus componentes, independientemente de la campaña considerada. Así, la media de rendimiento del tratamiento testigo fue de 3303 kg/ha y la de los tratamientos fertilizados con P fue de 3869 kg/ha.

Otro dato interesante tiene que ver con que los 566 kg/ha de respuesta al agregado de fósforo (equivalentes a mejoras del

SEMBRANDO SATELITAL
El Canal del Campo

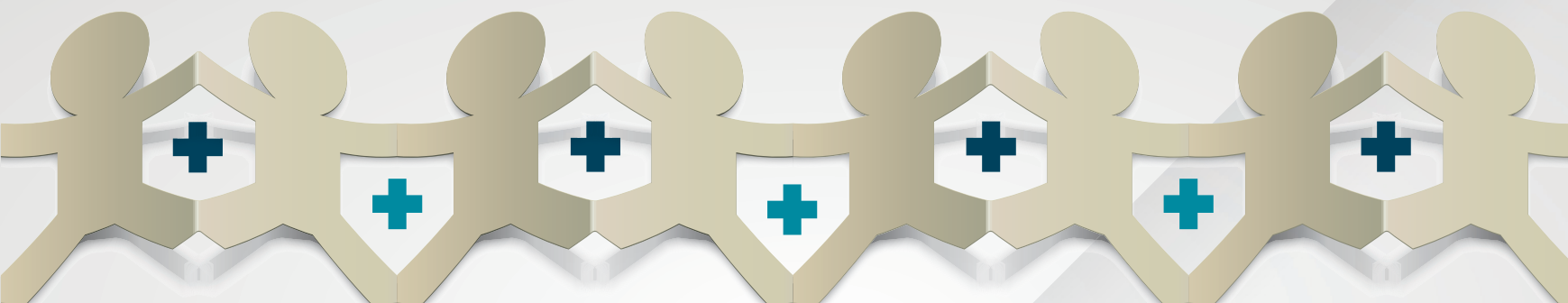
SEÑAL LIBRE Y GRATUITA

PÍDALO A SU OPERADOR DE CABLE LOCAL

TAMBIÉN EN VIVO LAS 24 HORAS POR

www.sembrando.com.ar

Victorino Rodríguez 1964 (X5009DSO) | Tel. Fax: 0054 - 0351 - 4814381
Córdoba - Argentina | E mail: sembrando@sembrando.com.ar



LA HERRAMIENTA PARA LLEGAR + LEJOS

Diseñamos la campaña a tu medida

Envíos a nuestras bases de datos, con el costo mas bajo y el resultado mas efectivo del mercado

Reportes de cada campaña garantizan la transparencia y miden la efectividad de cada acción

CONTACTANOS PARA SABER MÁS
ACERCA DE NUESTROS SERVICIOS

info@horizonte digital.com

Figura 2.

Rendimientos en granos promedio para tratamiento testigo sin fertilizar y los tratamientos fertilizados con P en la región pampeana. Promedio de 3 campañas y 12 sitios. Medias de tratamientos con distinta letra difieren entre sí ($P \leq 0,05$).

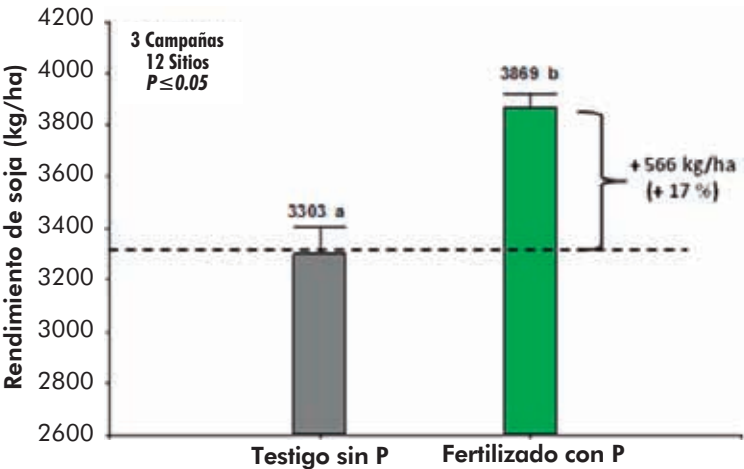


Figura 3.

Rendimientos medios en granos de soja para los tratamientos testigo sin fertilizar, fertilizado con una dosis base de P y fertilizado con una dosis alta de P. Promedio de 3 campañas y 12 sitios de la región pampeana. Medias de tratamientos con distinta letra difieren entre sí ($P \leq 0,05$).

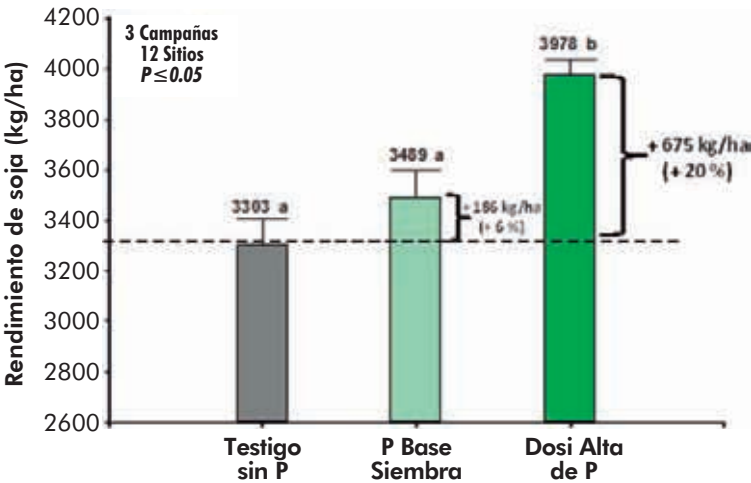


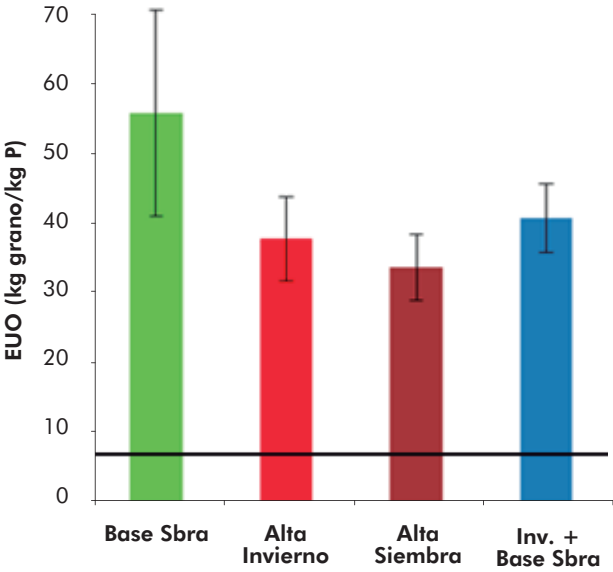
Tabla 2.

Respuesta en rendimiento de soja al: a) agregado de P y b) a la diferencia entre la dosis alta y dosis base de P. Medias de tratamientos con asterisco fueron significativos ($P \leq 0,05$).

Sitio	Campaña	Respuesta a P	Dosis de P Alta - Dosis de P Base
1	2010	438 *	268
2	2011	253	269
3	2012	526 *	227
4	2011	550 *	848 *
5	2012	472 *	847 *
6	2010	327 *	-13
7	2011	175	12
8	2012	230 *	61
9	2010	51	113
10	2010	637 *	97
11	2011	907 *	837 *
12	2012	2655 *	1046 *

Figura 4.

Eficiencia de uso de P para los diferentes momentos y dosis de aplicación de P. Promedio de 3 campañas y 12 sitios de experimentación en la región pampeana de Argentina.



17% en la producción de granos sobre el control sin fertilización) no solamente fue estadísticamente significativa sino que además refuerza el concepto de la importancia del agregado de este elemento para mantener altos rendimientos en sistemas de secuencias continua de soja cuando los niveles extractables son inferiores a las 16 ppm

Por su parte, los estudios también demuestran que los tratamientos con dosis altas de fósforo (ya sea aplicados en el invierno como en la siembra) se diferenciaron estadísticamente y fueron superiores al tratamiento testigo sin fertilizar en 675 kg/ha, y en 489 kg/ha por sobre el rendimiento de los cultivos fertilizados con una dosis base de P (incorporado a la siembra).

Estos resultados sugieren que los niveles de fósforo aplicados como base a la siembra (y que generalmente son aplicados por los productores) no fueron suficientes para sostener los rendimientos observados, y dosis mayores a 8-15 kg P/ha son necesarias para sostener altos rendimientos en sistemas con secuencias continuas de soja.

Más allá de esto y en base al análisis detallado sitio por sitio, los resultados fueron consistentes: la fertilización fosforada (en la combinación de la dosis base y dosis alta) tuvo un efecto positivo sobre los rendimientos de soja en todos los casos, variando el incremento de producción, entre 51 y 2655 kg/ha.

A la vez, y en relación a la posibilidad de determinar si los incrementos en rendimiento se debieron a las dosis base o a las dosis altas, en el informe se observa que la respuesta debida al aumento de dosis de fertilización fue de hasta 1046 kg/ha y en 4 de los 12 sitios (30% de los casos) con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre ambos tratamientos fertilizados.

En general, entre los tratamientos con alta dosis de fertilización fosforada los mayores incrementos en producción tendieron a observarse cuando la dosis se aplicó fraccionada entre presiembr (en superficie) y localizada en el momento de la siembra.

Por su parte y en base a la localización del fósforo, las diferen-

cias entre tratamientos de fertilización en superficie (localizada en bandas y fraccionada entre ambas formas de corrección) fueron significativas aunque sin diferenciarse en la aplicación con dosis alta de fósforo “al voleo” entre la siembra y el invierno.

La estrategia de mejor performance fue aquella que combinó una aplicación anticipada de P en 70% en el invierno, con el restante 30% localizada en la siembra.

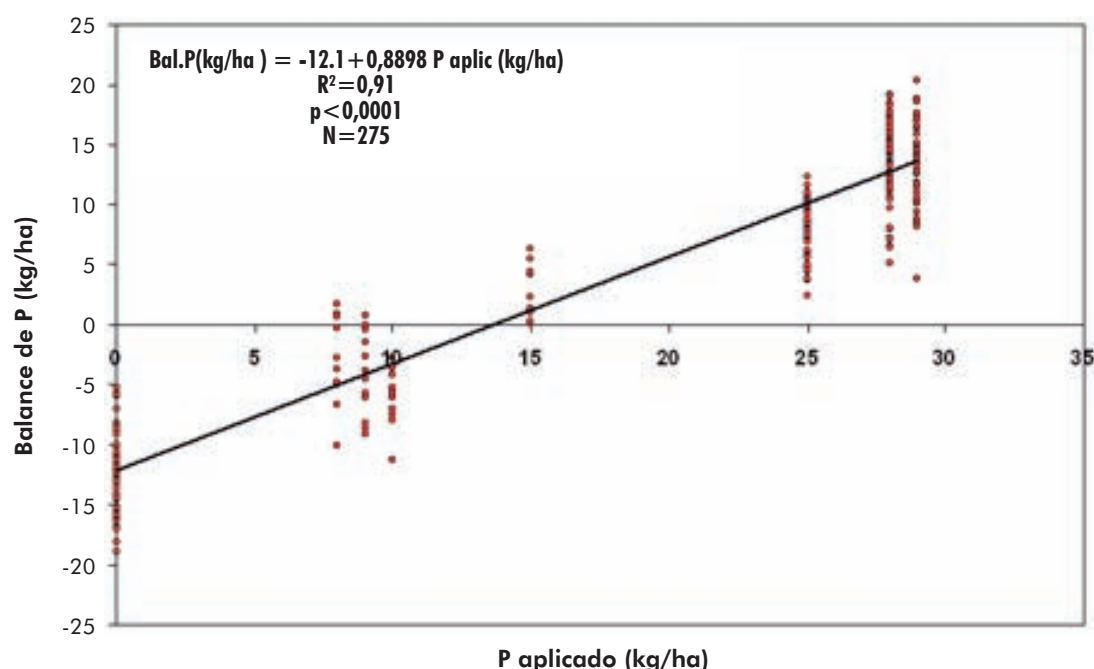
Si bien se requiere de su validación en nuevas condiciones agroecológicas de producción, el manejo fraccionado de la fertilización fosfatada pareciera ser un esquema válido para permitir la reposición del fósforo exportado con los granos, sin afectar la logística de siembra ni asumir excesivos riesgos de pérdidas de plantas por fitotoxicidad. Cabe mencionar también que el microambiente que rodea un gránulo de fertilizante fosfatado varía en relación a una serie de reacciones primarias y secundarias que afectan sustancialmente la disponibilidad de este nutriente para la soja. Poder influir o reducir estas reacciones, ya sea por la dosis, localización o momento de aplicación del fertilizante, es uno de los medios para mejorar la eficiencia de uso del P (EUP) aplicado, y así mejorar el rendimiento del cultivo.

En ese sentido, la fertilización de base con fósforo a la siembra fue la que mostró la mayor EUP media pero con la mayor variabilidad en su comportamiento. Por el contrario, las dosis altas obtuvieron similares EUP, sin diferenciarse entre momentos de aplicación o estrategias simples o combinadas de fertilización, y a su vez mostraron una menor variabilidad.

En las condiciones de este estudio, los rendimientos de soja variaron entre 1501 y 6741 kg/ha y la dosis de fósforo aplicado de base al fertilizar en el momento de la siembra (8 a 10 kg P/ha) fue insuficiente para cubrir la exportación media del cultivo, generando balances aparentes del nutriente negativos. Al superarse los 15 kg/ha de fósforo aplicados no solo se incrementaron significativamente los rendimientos sino que se lograron balances aparente del nutriente positivos que permiten incrementar el nivel de fósforo en el suelo.

Figura 4.

Balance aparente de P según dosis de fertilización con P en 5 sitios representativos de la región pampeana de Argentina y 3 campañas productivas.



FERTILIZAR

Novedades

Panorama actual de la industria del fertilizante en Argentina y el mundo

.....



A fines de marzo, la Directora Ejecutiva de la IFA, entidad que nuclea a todas las asociaciones nacionales de fertilizantes a nivel mundial y de la que Fertilizar es miembro, Charlotte Hebebrand, visitó nuestro país y compartió un desayuno de trabajo con representantes de empresas socias de Fertilizar. Durante el encuentro, se realizó una presentación de la industria del fertilizante de la Argentina y se compartieron las experiencias de la industria a nivel mundial y regional.

Por su parte, Charlotte Hebebrand coincidió en que resta trabajo por hacer en el país y que el potencial a alcanzar se encuentra verdaderamente lejos de una situación óptima. También hizo alusión a la importancia de promulgar políticas claras para el sector productivo nacional a fin de estimular la conservación eficiente de los suelos.

Además, la Directora General de la IFA dio un panorama sobre el uso de fertilizantes a nivel mundial. *“Muchas veces se tiene la impresión de que los productores usan demasiado fertilizante y*

realmente eso no es verdad en todas las regiones. Por ejemplo, en Argentina y en otros países de Latinoamérica inclusive se necesita una mayor utilización de la tecnología”.

En este sentido, y en línea con lo que manifestó en su presentación sobre cambio climático en el Congreso de la WFO (Organización Mundial de Agricultores) que se llevó a cabo en nuestro país, Charlotte expresó: *“si bien parte de los gases de efecto invernadero provienen del sector agrícola, es gracias al uso de los fertilizantes que podemos producir más en tierras que son productivas y así preservar zonas ecológicamente muy importantes como los bosques para capturar carbono y así mejorar el equilibrio”.*

Y agregó: *“Desde la IFA trabajamos en la difusión entre los productores de la importancia del buen uso de los fertilizantes a través de las nuevas prácticas de manejo, que tengan en cuenta el momento, el lugar, la dosis y la fuente correctas. Lo que también permitirá reducir estas emisiones”.*

Otro de los temas que trató la Directora de la IFA fue las perspectivas del sector a nivel mundial: *“Sin dudas seguirán incrementándose las regulaciones ambientales y llegarán nuevos productos innovadores al mercado, los cuales se integrarán en esquemas ligados con la agricultura de precisión. De allí surge la importancia de generar innovaciones en conjunto entre los distintos actores del rubro”.*

Por último, concluyó que la fertilización es imprescindible para estimular la producción de alimentos para una población en continuo crecimiento y remarcó el rol que ya juega América Latina en ese sentido.

Cabe mencionar que la Asociación Internacional de la Industria del Fertilizante estimó que la demanda mundial de fertilizantes se incrementará en un 2.1% promedio anualmente hasta la campaña 2016/2017, cuando se alcanzará un consumo global de fertilizantes de 193 millones de toneladas de nutrientes.

.....

Gira Red de Ensayos 2014

En el marco de su 20° aniversario, FERTILIZAR, junto con CREA e IPNI organizó la “Gira Red de Ensayos 2014”, que se realizó desde el lunes 24 hasta el 28 de febrero, y de la que participó un nutrido grupo de técnicos y asesores de los sectores público y privado así como también productores

La gira comenzó por Concepción del Uruguay (Entre Ríos) donde se visitó un ensayo de monocultura de Soja (Año 1) de la Red Fertilizar en la que estuvo presente la Ing. Agr. Norma Arias de INTA Concepción. Luego, el martes 25, el grupo estuvo en Ledesma (Córdoba), donde se vistió el Ensayo La Blanca de la Red

FERTILIZAR

Novedades



de Nutrición CREA Sur de Santa Fe, junto a los Ing. Agr. Fernando García de IPNI y Miguel Boxler de CREA Región Sur de Santa Fe.

El programa siguió con la visita al ensayo de monocultura de Soja (Año 1) de la Red Fertilizar en General Pico, La Pampa, donde expuso el Ing. Agr. Cristian Álvarez de INTA de esa localidad.

Por último, el grupo estuvo en la localidad de 9 de Julio (Buenos Aires) donde visitó el ensayo de monocultura de Soja (Año 4) de la Red Fertilizar. Allí, el Ing. Agr. Luis Ventimiglia del INTA local compartió los alcances y resultados del estudio.

“Esta gira es emprendida en el marco de los 20 años de FERTILIZAR en el sector agropecuario concientizando acerca de la importancia del uso racional del fertilizante y la sustentabilidad del sistema productivo”, comentó la Ing. Ma. Fernanda González Sanjuan, Gerente Ejecutiva de Fertilizar.

NUEVA WEB Y PRESENCIA EN REDES SOCIALES

En nuestro 20° aniversario, renovamos nuestra página web y lanzamos nuestra presencia en las redes sociales Facebook y Twitter.

Ahora, en www.fertilizar.org.ar, se podrá acceder de forma más sencilla a través de cualquier PC, Tablet o Smartphone, a información actualizada sobre fertilización de cultivos y reposición de nutrientes.

En el nuevo sitio, se podrá encontrar información sobre la evolución del mercado de fertilizantes argentino y consumo de ferti-

lizantes; investigaciones técnicas propias y de diversos referentes; eventos de interés; novedades institucionales; regulaciones de la industria; una planilla de cálculo para conocer los requerimientos de nutrientes para cada cultivo y las conversiones de cada fertilizante y todas las publicaciones que produce Fertilizar (Actas del Simposio de Fertilidad 2009, 2011 y 2013; libro sobre Fertilidad de Suelos de la FAUBA; Guía de Fertilizantes 2012 y Libro Mercado de fertilizante 2012 realizado junto a CREA).

Además, se podrá descargar o visualizar on line nuestra REVISITA con artículos elaborados por los principales técnicos del sector.

Nuestro objetivo, en FERTILIZAR, es concientizar sobre la importancia del uso racional del fertilizante y la sustentabilidad del sistema productivo.

Por eso, decidimos renovar nuestra página web y abrir nuevos canales de comunicación para seguir ofreciendo toda la información sobre esta tecnología que contribuye a alcanzar mayores rendimientos y más productividad para el campo.

>>  /fertilizar.asociacioncivil

>>  @FertilizarAC

MI PRIMER ARTÍCULO

WALTER D. CARCIOCHI

¿Cómo afecta el azufre el crecimiento radical y la eficiencia de uso del nitrógeno en trigo?

INTRODUCCIÓN

La eficiencia de uso del nitrógeno (EUN) de un cultivo se puede definir como la cantidad de biomasa o grano producida por unidad de nitrógeno (N) aplicado, y tiene dos componentes: la eficiencia de recuperación (ERN = kg de N absorbido/kg N aplicado) y la eficiencia fisiológica (EFN = kg biomasa o grano producida/kg N absorbido). Son numerosas las variables que afectan la EUN, entre ellas la disponibilidad de otros nutrientes. Así, la escasez de alguno de ellos afecta negativamente la EUN, aunque dicha situación puede ser revertida mediante la fertilización (Aulakh y Malhi, 2004).

El azufre (S) ha sido reconocido como un elemento esencial para el crecimiento de las plantas (Havlin et al., 2005). Durante años, este nutriente recibió poca atención desde la óptica de la nutrición de cultivos debido a que su disponibilidad en los suelos lograba abastecer largamente la demanda. Sin embargo, en la actualidad parte de la superficie cultivada a nivel mundial y en la Región Pampeana en particular, presentan deficiencias de S (Scherer, 2001; Echeverría, 2005).

Para trigo, Salvagiotti et al. (2009) determinaron que la aplicación de S produjo incrementos en la biomasa y el rendimiento per se y que, además, evidenció interacción positiva con el N. Dicha interacción se manifestó a partir del incremento en la EUN y, en particular, en la

ERN, mientras que la EFN no tuvo una tendencia clara durante el ciclo del cultivo. Una hipótesis de estos autores es que el agregado de S promueve una mayor exploración del suelo a partir de un mayor crecimiento de las raíces. Dicho argumento estaría fundamentado en el hecho de que, asumiendo una determinada relación biomasa aérea: biomasa de raíz, un aumento en la producción de biomasa aérea causaría un incremento en el crecimiento radical.

Sin embargo, esta hipótesis es parcialmente contraria con la teoría que indica que plantas sufriendo una deficiencia nutricional activan mecanismos tendientes a incrementar la absorción desde el suelo, aumentando la proporción de carbohidratos particionados a las raíces y promoviendo el crecimiento de las raíces laterales (Hoefgen y Nikiforova, 2008; Amtmann y Armengaud, 2009). Esta controversia y el hecho de que la mayoría de los estudios sobre crecimiento radical ante deficiencias nutricionales han sido realizados en los primeros estadios de desarrollo de las plantas, indican la necesidad de investigar en el tema. Además, son pocos los estudios donde se evalúa el efecto del S sobre el crecimiento y arquitectura de las raíces de cereales.

El objetivo del presente trabajo es analizar los efectos de dos dosis de S sobre: (i) el crecimiento y arquitectura radical y su relación con la absorción de N y (ii) la EUN y sus componentes.



MATERIALES Y MÉTODOS

Se cultivó trigo variedad Baguette 9 en macetas (3 plantas por maceta) de 10 cm de diámetro por 60 cm de profundidad, las cuales fueron dispuestas en un invernáculo. Se empleó como sustrato una mezcla de perlita, vermiculita y suelo en proporción 3:3:1 en volumen, respectivamente. El suelo empleado se colectó del horizonte superficial (0-20 cm) de un Argiudol típico con las características que se listan a continuación: materia orgánica 45,6 g kg⁻¹; pH 5,5; fósforo disponible (Bray y Kurtz I) 25,5 mg kg⁻¹; N-NO₃⁻ 5,0 mg kg⁻¹; y S-SO₄⁻² 4,9 mg kg⁻¹.

Se evaluó el efecto de la aplicación de dos dosis de S (+S y -S) empleando un diseño completamente aleatorizado con 4 repeticiones. El aporte de nutrientes se realizó mediante el riego con solución nutritiva Hoagland (Taiz; Zeiger, 2010) en una solución 1:10 en agua destilada de acuerdo con la demanda hídrica de las plantas. Los dos niveles de S se generaron del siguiente modo:

+S: Se empleó la solución Hoagland con la concentración de S original.

-S: Se empleó la solución Hoagland con un 3% de la concentración original de S. La Tabla 1 indica las cantidades de S y N aplicadas a cada tratamiento a través de los riegos con solución nutritiva.

Tabla 1.

Dosis de azufre (S) y nitrógeno (N) (mg maceta⁻¹) aplicados a cada tratamiento (+S y -S) para cada estadio (Z39, Z51 y Z92, Zadocks et al., 1974).

Nutriente	Estadio		
	Z39	Z51	Z92
-S	0,61	0,67	0,94
+S	20,18	21,84	31,00
N	66,17	71,63	101,67

Se realizaron tres muestreos de material vegetal: en el estadio de hoja bandera (Z39, Zadoks et al., 1974), en emergencia de la inflorescencia (Z51) y en madurez fisiológica (Z92). En los tres muestreos se colectó todo el material de la parte aérea y en los dos primeros, todo el material de las raíces. Estas últimas se digitalizaron con un escáner EPSON Expression 1000XL. Posteriormente se determinó su longitud, área y número de extremos mediante el software WinRHIZO (Regent Instruments, 2013). A partir de esta información se calculó la longitud específica de raíces, que indica los cm de raíz producidos por g de materia seca radical; el área específica de raíces, que muestra la superficie generada (cm²) por cada unidad (g) de biomasa, y el número específico de extremos de raíces, que indica la cantidad de extremos formados por cada gramo de materia seca de raíz.

Las muestras de biomasa aérea y radical se secaron en estufa (60 °C) hasta peso constante y luego se pesaron. En Z92 los granos se separaron de forma manual y todo el material se secó en estufa (60 °C) hasta peso constante, para luego ser pesado.

Para la determinación de N en biomasa vegetal y granos se empleó el método Dumas, utilizando una analizador LECO TruSpec CN (LECO, 2013)

Se realizó el Análisis de la Varianza mediante el procedimiento GLM (*General Linear Model*) del *Statistical Analysis System* (SAS Institute, 1985). Se utilizó un nivel de significancia del 5% y 10%. Cuando las diferencias entre tratamientos fueron significativas, se realizó la comparación de medias mediante el

método de la diferencia mínima significativa (LSD).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El tratamiento que recibió la dosis completa de S manifestó un mayor crecimiento de la biomasa aérea en todos los estadios Z39 y Z92 ($p < 0,05$), y Z51 ($p < 0,1$) (Tabla 2). Del mismo modo, el rendimiento en grano también resultó mayor para dicho tratamiento ($p < 0,1$) debido a un aumento del 16% en el número de granos, mientras que el peso de mil granos no se modificó con la disponibilidad del nutriente.

Tabla 2.

Biomasa aérea (BA, gr maceta⁻¹) en los estadios Z39, Z51 y Z92 (Zadocks et al., 1974) y rendimiento en grano (RTO, gr maceta⁻¹) para los tratamientos fertilizados con distintas dosis de S (-S y +S). Letras distintas dentro de una misma columna indican diferencias significativas según test LSD ($p < 0,05$) y * ($p < 0,1$).

Tratamiento	Z39	Z51	Z92	
	BA	BA	BA	RTO
-S	0,65 b	4,21 b	9,27 b	4,22 b
+S	0,78 a	4,78 a*	11,25 a	4,74 a*

La restricción en el aporte de S no afectó la producción de biomasa de raíces ni su área, pero sí generó una mayor longitud y número de extremos de raíz ($p < 0,05$) en el estadio Z39 (Tabla 3). Por su parte, en Z51 el tratamiento que recibió la dosis completa de S manifestó un mayor crecimiento en la biomasa y área de raíz ($p < 0,05$), mientras que no hubo diferencias significativas entre tratamientos en cuanto a longitud y número de extremos radicales (Tabla 3).

Tabla 3.

Biomasa (BR, g maceta⁻¹); longitud (LR, cm maceta⁻¹); área (AR, cm² maceta⁻¹) y número de extremos (NE) de raíces, para los tratamientos fertilizados con distintas dosis de S (+S y -S), en los estadios Z39 y Z51 (Zadocks et al., 1974). Letras distintas dentro de una misma columna y estadio indican diferencias significativas según test LSD ($p < 0,05$).

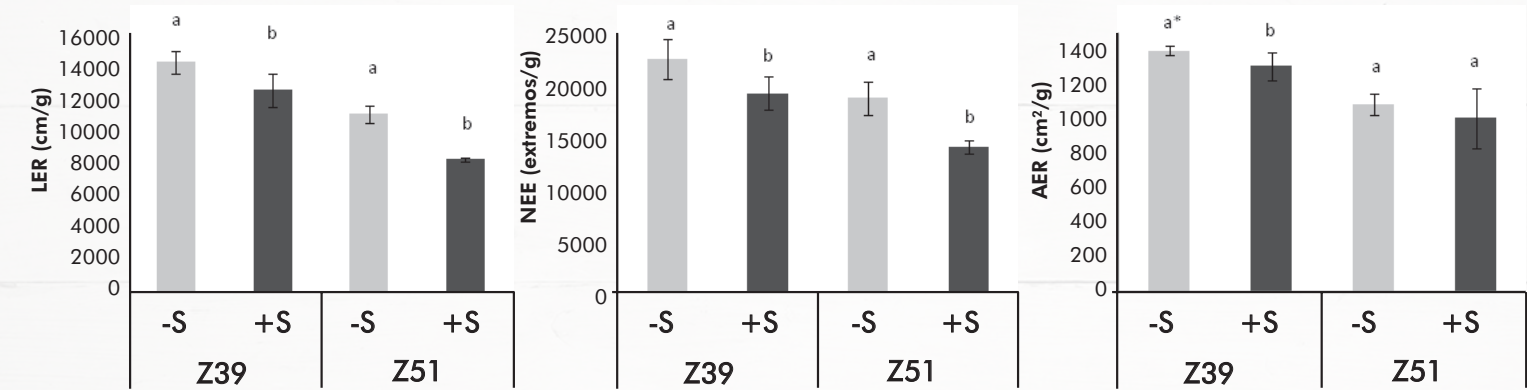
Estadio	Tratamiento	BR	LR	AR	NE
Z39	-S	0,46 a	6505 a	636,6 a	10452 a
	+S	0,46 a	5728 b	596,5 a	8984 b
Z51	-S	1,17 b	12817 a	1268,2 b	22498 a
	+S	1,66 a	13748 a	1660,3 a	24103 a

Las diferencias entre tratamientos en biomasa de raíz deben ser analizadas considerando el crecimiento de la biomasa aérea. De esta forma, en Z39 la relación biomasa aérea:biomasa de raíz fue mayor para el tratamiento +S ($p < 0,05$; 1,44 y 1,77 para -S y +S, respectivamente), lo cual indica que si bien no hubo diferencias entre tratamientos en biomasa radical, el tratamiento -S particionó una mayor cantidad de carbohidratos a las raíces en relación a la producción de biomasa aérea. Contrariamente en Z51, la relación biomasa aérea:biomasa de raíz fue menor en el tratamiento +S ($p < 0,05$; 3,48 y 2,88 para -S y +S, respectivamente).

La longitud y el número de extremos de raíces fue mayor en el tratamiento -S en Z39. Esto evidencia que las plantas no solo modificaron la partición de carbohidratos a la raíz, sino también la arquitectura, en pos de incrementar la exploración del suelo. Este hecho se evidenció también en Z51, donde la biomasa de

Figura 1.

Longitud específica de raíces (LER), área específica de raíces (AER) y número específico de extremos de raíces (NEE) en los estadios Z39 y Z51 (Zadocks et al., 1974) para los tratamientos fertilizados con distintas dosis de S (-S y +S). Letras distintas dentro de cada estadio indican diferencias entre tratamientos ($p<0,05$ y $*p<0,1$). Líneas verticales indican desvío estándar de la media.



raíz fue mayor en el tratamiento +S, aunque la longitud y número de extremos radicales no difirió entre tratamientos.

A fin de comparar el efecto de la fertilización azufrada sobre el destino de los carbohidratos que las plantas particionan hacia la raíz se calculó la longitud, área y número de extremos específicos (Figura 1). Todos ellos pueden ser considerados indicadores de la eficiencia con que las plantas emplean dichos carbohidratos procurando una mayor exploración del perfil del suelo.

Así, las plantas que recibieron la menor dosis de S manifestaron incrementos en la longitud específica (14% y 34% para Z39 y Z51 respectivamente), y en el número de extremos específicos (17% y 33% para Z39 y Z51 respectivamente). Por su parte, la deficiencia de S también generó un incremento del área específica ($p<0,1$) en el estadio Z39 (7% más), aunque no produjo cambios significativos para este parámetro en Z51.

La concentración de N en biomasa aérea resultó mayor en el tratamiento donde se restringió la aplicación de S, tanto en Z39 ($p<0,1$) como en Z51 ($p<0,05$) (Tabla 3). Este comportamiento estaría explicado porque, cuando el S limita el crecimiento de la planta, genera que los nutrientes cuya disponibilidad es adecuada se concentren en los tejidos. Por su parte, la cantidad de N absorbido en biomasa aérea resultó similar entre tratamientos en ambos estadios. Esto puede explicarse porque, aunque el tra-

tamiento que recibió la dosis completa de S acumuló mayor cantidad de biomasa aérea (Tabla 2), la concentración del nutriente resultó menor (Tabla 3) tanto en Z39 y como en Z51.

El tratamiento que recibió el mayor aporte de S incrementó la EUN en todas las etapas del ciclo del cultivo ($p<0,05$ para Z39 y Z92, y $p<0,1$ para Z51; Tabla 3). Sin embargo, el componente que generó esta mayor eficiencia de uso varió según el estadio analizado. Así, para Z39 y Z51 no se observaron diferencias entre tratamientos en la ERN, pero sí una mayor EFN en las plantas que recibieron la dosis completa de S. En forma contraria, para el último muestreo, la EFN no se modificó ante distintas ofertas de S pero la ERN fue mayor en el tratamiento +S, tanto en biomasa aérea como grano.

Tal como se indicó, la restricción en el suministro de S generó cambios en el crecimiento y desarrollo del sistema radical con el objetivo de lograr una mayor captura del nutriente. Sin embargo, es necesario analizar el efecto que dichos cambios produjeron sobre la absorción del N. En este sentido, las relaciones entre el N en biomasa aérea y la longitud y área radical indican la eficiencia de las plantas en absorber el nutriente por unidad de longitud y área de raíz respectivamente. En el estadio Z39 las plantas que recibieron la dosis completa de S manifestaron una mayor eficiencia en la absorción de N, tanto cuando ésta se expresó por unidad de longitud como de área de raíces (Figura 2).

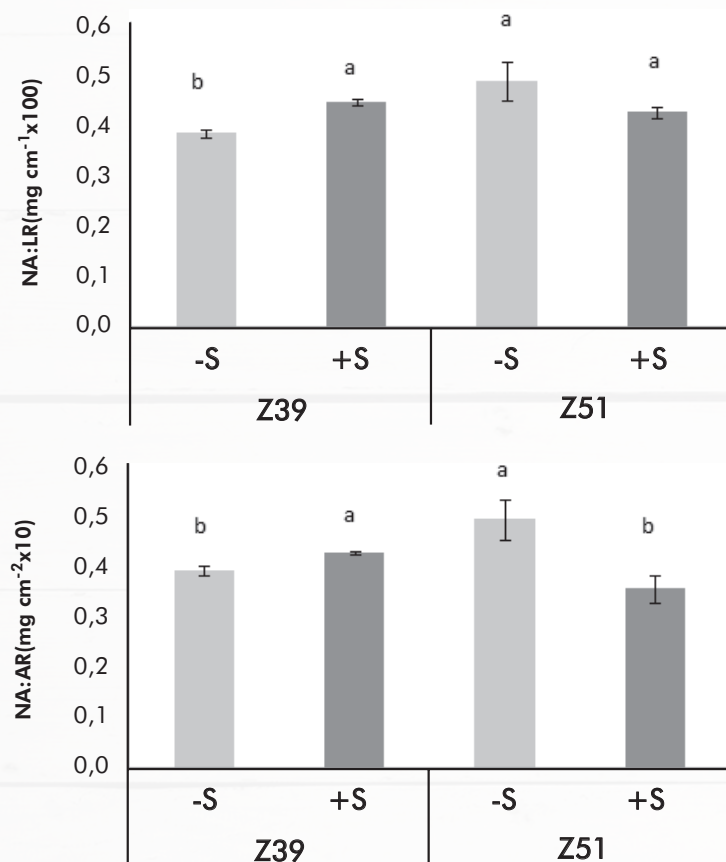
Tabla 4.

Concentración de N (N%), N acumulado en biomasa aérea (NA, mg maceta-1), eficiencia de uso del nitrógeno (EUN = kg de biomasa/kg de N aplicado), eficiencia de recuperación (ERN = kg de N absorbido/kg de N aplicado) y eficiencia fisiológica (EFN = kg de biomasa/kg de N absorbido), para los tratamientos fertilizados con distintas dosis de S (+S y -S) en los estadios Z39, Z51 y Z92 (Zadocks et al., 1974).

Estadio	Parte de la planta	Tratamiento	N%	NA	EUN	ERN	EFN
Z39	biomasa aérea	-S	3,79 a	24,78 a	9,88 b	0,37 a	26,39 b
		+S	3,28 b*	25,32 a	11,72 a	0,38 a	30,6 a
Z51	biomasa aérea	-S	1,46 a	61,54 a	58,79 b	0,86 a	68,96 b
		+S	1,22b	58,01 a	66,8 a*	0,81 a	82,68 a
Z92	biomasa aérea	-S	0,94 a	85,93 b	91,21 b	0,85 b	108,17 a
		+S	0,87 a	97,94 a	110,67 a	0,96 a	115,8 a
	grano	-S	1,69 a	70,16 a	41,44 b	0,85 b	49,21 a
		+S	1,65 a	78,06 a	46,62 a*	0,96 a	48,8 a

Figura 2.

Nitrógeno en biomasa aérea en relación al área (izquierda) y al largo de raíces (derecha) en los estadios Z39 y Z51 (Zadocks et al., 1974) para los tratamientos fertilizados con distintas dosis de S (-S y +S). Letras distintas dentro de cada estadio indican diferencias entre tratamientos ($p < 0,05$). Líneas verticales indican desvío estándar de la media.



Sin embargo en el estadio Z51, este comportamiento se invirtió, exhibiendo mayor absorción de N en biomasa aérea por unidad de área el tratamiento que sufrió deficiencias de S (Figura 2).

En este sentido, los resultados deben ser analizados considerando que el N no representó un factor limitante para las condiciones del presente ensayo. Por lo tanto, las estrategias que dispusieron las plantas procurando una mayor absorción de S no ofrecieron ventajas para la absorción de N. Así, considerando que en ambos muestreos la cantidad de N en biomasa aérea resultó similar para ambos tratamientos, surge que las diferencias en la absorción por unidad de longitud o área respondieron principalmente a cambios en estas últimas variables.

El hecho de que en el estadio Z51 las plantas que recibieron la dosis de S completa manifestaran una aparente ineficiencia en la absorción de N por unidad de longitud o área, no debe ser considerado como un aspecto negativo. En las condiciones de plantas creciendo en macetas, se aseguró una adecuada provisión de N, dispuesta de manera homogénea en el recipiente. Sin embargo, cuando el cultivo está creciendo en condiciones de campo, donde la disponibilidad de N se encuentra limitada por su cantidad o ubicación en el perfil de suelo y por el contacto suelo-raíz (Wiesler; Horst 1994), un mayor crecimiento radical en respuesta a la aplicación de S podría favorecer un incremento en la absorción de N.

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio indican que las plantas de trigo

que recibieron la mayor dosis de S produjeron más biomasa aérea y tuvieron un mayor rendimiento en grano que aquellas creciendo con menor disponibilidad del nutriente. Además, aunque éstas manifestaron un menor crecimiento radical en Z39, el mismo se revirtió en Z51.

Las plantas que crecieron con una menor disponibilidad de S tendieron a incrementar la exploración del suelo tal como indican las teorías de partición de carbohidratos ante deficiencias de recursos. Esto fue evidente en términos absolutos en Z39 (mayor longitud y número de extremos radicales) y relativo a la biomasa de raíz en Z39 y Z51 (mayor longitud, área y número de extremos específicos). Sin embargo, en Z51, el tratamiento +S fue el que tuvo mayor crecimiento del sistema radical en términos absolutos (mayor biomasa y área de raíz).

Por su parte, la mayor dosis de S mejoró la EUN. En Z39 y Z51 se debió a incrementos en la EFN y en Z92 a una mayor ERN.

La eficiencia de absorción de N por unidad de área y longitud de raíz no mantuvo un patrón constante entre tratamientos a lo largo del ciclo de crecimiento de las plantas. Pudo observarse en líneas generales que cuando el crecimiento radical fue mayor, dichas eficiencias disminuyeron.

Así, los resultados del presente estudio no permiten confirmar que la mayor ERN de las plantas que reciben S se deba a una mayor exploración del suelo por mayor crecimiento radical. Sin embargo, es esperable que en condiciones de campo, donde la disponibilidad de N se encuentra limitada por su cantidad o ubicación en el perfil de suelo, el mayor crecimiento radical determinado en Z51 pueda favorecer una mayor absorción de N.

AGRADECIMIENTOS

A mi director Guillermo Divito por su gran paciencia y dedicación de tiempo y esfuerzo en la realización de los ensayos y escritura de los trabajos.

A mis asesores Lucrecia Fernández y Hernán Echeverría por sus importantes aportes en la realización de esta tesis.

BIBLIOGRAFÍA

- Amtmann, A.; Armengaud, P. 2009. Effects of N, P, K and S on metabolism: new knowledge gained from multi-level analysis. *Current Opinion in Plant Biology*. 12: 275-283.
- Aulakh, M.S.; Malhi, S.S. 2004. Fertilizer nitrogen use efficiency as influenced by interactions with other nutrients. In: Mosier, A.R., Syers, K.J., Freney, J.R. (Eds.), *Agriculture and the Nitrogen Cycle*. Island Press, Washington, USA, pp. 181-191.
- ECHEVERRÍA, H.E. 2005. Azufre. En: Echeverría, H.E.; García, F.O. (eds). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. INTA, Buenos Aires, Argentina. pp. 139-160.
- Havlin, J.L.; Beaton, J.D.; Tisdale, S.L.; Nelson, W.L. 2005. *Soil fertility and fertilizers*. 7th ed. Pearson Prentice Hall, NJ.
- HOEFGEN, R., NIKIFOROVA, V.J., 2008. Metabolomics integrated with transcriptomics: assessing systems response to sulphur-deficiency stress. *Phytophysiology Plantarum*. 132, 190-198.
- SALVAGIOTTI, F.; CASTELLARIN, J.M.; MIRALLES, D.J.; PEDROL, H.M. 2009. Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. *Field Crops Research*. 113: 170-177.
- SCHERER, H.W. 2001. Sulfur in crop production. *European Journal of Agronomy*. 14: 81-111.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. 2010. Mineral nutrition. In: Taiz, L.; Zeiger, E. (eds.). *Plant Physiology*. Sinauer Associates Press, Sunderland. pp 67-86.
- SAS Institute. 1985. *SAS user's guide. Statistics*. Vers. 5. SAS Institute, Inc., Cary, NC.
- WIESLER, F.; HORST, W.J. 1994. Root growth and nitrate utilization of maize cultivars under field conditions. *Plant and Soil*. 163: 267-277.
- ZADOKS, J.C.; CHANG, T.T.; KONZAK, C.F. 1974. A decimal code for growth stages of cereals. *Weed Research*. 14: 415-421.



FERTILIZAR

ASOCIACION CIVIL *20 años*



En nuestro 20° aniversario, renovamos nuestra página web y lanzamos nuestra presencia en las **redes sociales Facebook y Twitter.**

Ahora, en www.fertilizar.org.ar, se podrá acceder de forma más sencilla a través de cualquier **PC, Tablet o Smartphone**, a información actualizada sobre fertilización de cultivos y reposición de nutrientes. Además, se podrá descargar o visualizar on line nuestra **REVISTA** con artículos elaborados por los principales técnicos del sector.

En Fertilizar, trabajamos para ofrecerle al sector toda la información sobre la tecnología de fertilización que contribuye a alcanzar mayores rendimientos y más productividad para el campo.



/fertilizar.asociacioncivil



@FertilizarAC

