

# Uso de un clorofilómetro para el diagnóstico de fertilización nitrogenada en la región del sudoeste bonaerense en trigo de secano sobre dos antecesores

*Diagnosis of nitrogen fertilization using a chlorophyll meter in wheat under rainfed conditions in the southwest of Buenos Aires province under two different previous crops*

MARTINEZ J.M.; LANDRISCINI, M. R.; MINOLDO, G. V.; GALANTINI, J. A.

CERZOS-CONICET; Departamento de Agronomía  
 Universidad Nacional del Sur  
 jmmartinez@criba.edu.ar

## Resumen

El clorofilómetro se podría utilizar en estadios avanzados del cultivo con el objetivo de evaluar si existe deficiencia de nitrógeno (N). Los objetivos de este estudio fueron: i) evaluar la producción de trigo (*Triticum aestivum* L.) con dos antecesores, ii) medir el efecto de los antecesores sobre el índice de verdor (IV) mediante el uso del clorofilómetro, y iii) verificar el uso del clorofilómetro en estadios avanzados del trigo para predecir el efecto de aplicaciones foliares de N sobre la producción y calidad del trigo en un sitio de la región semiárida del sudoeste bonaerense (SOB). Se realizó un ensayo de fertilización en trigo (cultivar *Buck Malevo*) bajo siembra directa sobre dos cultivos antecesores: trigo y arveja (*Pisum sativum* L.). Sobre cada antecesor, se aplicó N en emergencia (0, 25, 50, y 100 kg N ha<sup>-1</sup>) como urea (46-0-0) en forma manual. En antesis, se realizaron lecturas de IV sobre la última hoja expandida y se realizó una fertilización foliar con 25 kg N ha<sup>-1</sup>. En madurez fisiológica se midió la biomasa total aérea (MST), rendimiento, N absorbido por el cultivo, y proteína. El antecesor arveja incrementó la producción de MST, el N absorbido y el rendimiento de grano, sin tener efecto sobre la proteína. Con fertilización foliar la proteína mostró aumentos significativos, independientemente del cultivo antecesor. El clorofilómetro es una herramienta útil que puede utilizarse en estadios avanzados para mejorar la calidad del trigo en ambientes semiáridos como en el área en estudio.

**Palabras clave** Aplicación N foliar; Cultivo antecesor; Índice de verdor.

## Introducción

El nitrógeno (N) es un elemento indispensable para aumentar el rendimiento y la calidad de los cultivos, constituyendo uno de los principales factores limitantes de la productividad del trigo (*Triticum aestivum* L.) en la región del sudoeste bonaerense (SOB) (Martínez et al., 2015a; 2016). La aplicación de fertilizantes nitrogenados debería adecuarse a las condiciones de fertilidad del sitio en particular y al potencial de rendimiento esperado. Las buenas prácticas en el manejo de la nutrición de cultivos y de los fertilizantes contribuyen a incrementar la producción del cultivo y la eficiencia de uso. Por este motivo, es de gran importancia realizar un adecuado diagnóstico de la nutrición nitrogenada. En la actualidad, la metodología más difundida para el diagnóstico de N en el cultivo de trigo se basa en la medición del contenido de nitratos en el suelo (0-60 cm) (Barbieri et al., 2009; Martínez et al., 2015a). Esta práctica trae consigo los inconvenientes de los costos de los análisis que pueden ser elevados y el tiempo operativo desde la toma de la muestra hasta la obtención del dato analítico. Es por eso que se están buscando herramientas de diagnóstico que permitan disminuir costos y aumentar la eficiencia del uso del N.

## Summary

The chlorophyll meter could be used to improve the diagnosis of nitrogen (N) deficiency. The objectives of this study were to: i) evaluate wheat (*Triticum aestivum* L.) yield after two previous crops, ii) assess the effect of the previous crop on the green index (IV) by chlorophyll meter readings, and iii) verify the usefulness of the chlorophyll meter in advanced growth stages of wheat to predict the effect of foliar N application on wheat production and quality in the semiarid region of the southwest of Buenos Aires province. In 2011, a fertilization trial on wheat (cultivar *Buck Malevo*) was conducted under no-tillage after two contrasting previous crops: wheat and pea (*Pisum sativum* L.). In each case, different N rates (0, 25, 50, and 100 kg N ha<sup>-1</sup>) in the form of urea (46-0-0) were applied manually at crop emergence. At anthesis, chlorophyll meter readings were taken in the last expanded leaf and in one half of each plot a foliar N fertilizer was applied at a rate of 25 kg N ha<sup>-1</sup>. At physiological maturity, total aerial biomass (MST), grain yield, crop N uptake, and protein content were determined. Pea as a previous crop increased the production of MST, grain yield and N uptake, but no effect was detected on protein. Protein content was significantly increased by foliar N fertilizer application, regardless of previous crop. The chlorophyll meter is a useful tool that could be used in advanced stages of wheat to fine-tune the diagnosis of N needs, which would allow improving grain quality in the semiarid environment studied.

**Key words** Foliar N application; previous crop; green index.

El medidor de clorofila o clorofilómetro (Minolta SPAD-502) es una herramienta promisoriosa para monitorear el "status" de N a través del índice de verdor (IV) del cultivo expresado en unidades SPAD (US). Específicamente, permite estimar la concentración relativa de clorofila por medio de la luz transmitida en 650 nm (longitud de onda fotosintéticamente activa) y en 940 nm a través de la hoja. La diferencia de transmitancia entre estas dos longitudes de onda da un índice de verdor a partir del cual se puede establecer una buena relación con el contenido de clorofila extraíble (Waskom et al., 1996). Esta herramienta permite caracterizar el estado del cultivo de una manera no destructiva (Jeminson & Litle, 1996; Sainz Rosas & Echeverría, 1998), rápida, y fácil. Posibilita realizar determinaciones frecuentes y también explorar la variabilidad de un sitio comparado con otros métodos de diagnóstico (Gandrup et al., 2004). Además, tiene la ventaja de realizar una lectura "directa", es decir que se obtiene un valor de N a nivel de un órgano de la planta.

Cuando el N disponible del suelo limita el rendimiento, el agregado de fertilizantes nitrogenados puede incrementar sustancial-

mente la producción. Sin embargo, la concentración de proteína de los granos puede disminuir si la disponibilidad de N no es adecuada para alcanzar el potencial de rendimiento (Martínez et al., 2015b; Landriscini et al., 2015). En las regiones semiáridas, la eficiencia de uso de los fertilizantes nitrogenados depende en gran medida de la cantidad y distribución de las precipitaciones. El clima en el SOB se caracteriza por la escasez de agua y el estrés térmico durante el llenado del grano, ocasionando grandes fluctuaciones no sólo en el rendimiento, sino también en el contenido proteico y calidad de los granos (Landriscini et al., 2015). Esto último puede tener, además, efectos considerables sobre las propiedades reológicas de la masa (Garrido-Lestache et al., 2004).

El aporte de N del suelo proveniente de la descomposición de los residuos depende de la calidad de los mismos (relación C:N), del consumo del cultivo antecesor y de la cantidad de N fijado desde la atmósfera si el cultivo es una leguminosa (Salvagiotti et al., 2014). Se ha demostrado que el sistema de rotación leguminosa-trigo ejerce una influencia positiva sobre la producción del trigo, así como sobre las propiedades químicas y físicas del suelo (Wortmann et al., 2000). En la región semiárida del SOB, se han observado importantes efectos de las leguminosas consociadas sobre propiedades químicas del suelo (Miglierina et al., 2000), sobre la nutrición y el balance nutricional (Minoldo, 2010), así como sobre la productividad del trigo posterior (Galantini et al., 1992).

La incorporación de N a través de las leguminosas está sujeto a pérdidas al igual que el que es aportado al sistema a través de la aplicación de fertilizantes (Galantini et al., 2002). Sin embargo, existe una ganancia de N residual, como consecuencia de la mayor fijación del N atmosférico y de la conservación más efi-

ciente de este nutriente en forma orgánica (Azam et al., 1986; Coronato et al., 2014).

En los últimos años, se ha producido un incremento en la adopción de fertilizantes foliares, los que pueden aplicarse en etapas avanzadas del cultivo para mejorar la calidad (Sarandón et al., 2000; Landriscini et al., 2015) y en algunos casos el rendimiento de grano (Díaz-Zorita et al., 2001; Bergh et al., 2003). Esta estrategia se considera promisorio bajo condiciones de adecuada disponibilidad hídrica (Bergh et al., 2003). Sin embargo, en suelos de la región semiárida, ha sido probada con diversos niveles de éxito (Landriscini et al., 2014, 2015). Esto podría atribuirse a la variabilidad climática que usualmente ocurre en esta región, sumada a la falta de información sobre diagnósticos de la nutrición nitrogenada adecuados para estos ambientes con mayores limitaciones.

Sobre la base de las consideraciones anteriores, se planteó la siguiente hipótesis: en un cultivo de trigo sembrado sobre dos antecesores (leguminosa y gramínea), el clorofilómetro permitiría realizar diagnósticos precisos de la nutrición nitrogenada en estadios de desarrollo avanzados del cultivo, y permitiría incrementar la calidad del grano mediante la aplicación de fertilizaciones foliares tardías.

Los objetivos de este estudio fueron: i) evaluar la producción de trigo (*Triticum aestivum* L.) con dos antecesores, ii) medir el efecto de los antecesores sobre el IV mediante el uso del clorofilómetro, y iii) verificar el uso del clorofilómetro en estadios avanzados del trigo para predecir el efecto de las aplicaciones foliares de N sobre la producción y calidad del trigo en un sitio del SOB.

## Materiales y Métodos

### Sitio experimental

El estudio se llevó a cabo en un lote (38°48'S; 61°37'O) manejado bajo siembra directa, ubicado en la región semiárida del SOB. El suelo del sitio experimental es un Argiustol Típico (Soil Survey Staff, 2010) con una profundidad efectiva variable de 60-70 cm hasta el horizonte petrocálcico (tosca). Las propiedades edáficas del sitio se detallan en la Tabla 1.

### Tratamientos y determinaciones

En 2010, el 8 de mayo se sembró un lote con trigo variedad *Buck Malevo* y en el mismo, se dejó libre una franja de 24 m de ancho, donde el 1 de agosto se sembró con arveja (*Pisum sativum* L.). En 2011, sobre cada antecesor (trigo y arveja) se realizó un ensayo de fertilización nitrogenada en trigo (variedad *Buck Malevo*) con un diseño de bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. Los tratamientos consistieron en cuatro dosis de N (0, 25, 50, y 100 kg N ha<sup>-1</sup>) como urea (granulado, 46-0-0), aplicadas en emergencia al voleo y en forma manual. Las parcelas abarcaron

una superficie de 36 m<sup>2</sup> (9 m de longitud y 4 m de ancho). El trigo se sembró el 15 de mayo y se cosechó el 8 de diciembre. Para asegurar la suficiencia de fósforo (P) en el suelo, se aplicó una dosis de 20 kg P ha<sup>-1</sup> como fosfato monoamónico (granulado, 11-52-0) a todo el ensayo a la siembra. Con el cultivo en anthesis, Z60 (Zadoks et al., 1974), se realizaron 20 mediciones (lecturas) por parcela con el clorofilómetro Minolta SPAD-502 ® sobre ambos antecesores. Las lecturas se efectuaron en el tercio superior de la última hoja totalmente expandida, en un sector de la lámina equidistante entre el margen y la nervadura central, evitando dicha nervadura como así también zonas cloróticas o dañadas si las hubiese (recomendaciones detalladas en el instructivo del equipo).

Simultáneamente, en cada parcela se recolectó todo el material vegetal en 6 m lineal de surco para cuantificar la producción de biomasa aérea total (MST) y el contenido de N total (Nt) (Brenner, 1996), obteniéndose así el N absorbido total en la MST en

**Tabla 1:** Características edáficas del suelo (0-20 cm) del sitio seleccionado en 2010, humedad del suelo y nitrógeno inorgánico a la siembra (0-60 cm) según cultivo antecesor en 2011.

MO	Nt	Pe	2010			2011			
			pH	Textura		Antecesor	H°	N inorgánico	
(g kg <sup>-1</sup> )		(mg kg <sup>-1</sup> )		Arena	Limo	arcilla		(mm)	(mg kg <sup>-1</sup> )
27	1,2	26	6,3	561	265	174	Arveja	163,5	19
							Trigo	143,7	13

MO, materia orgánica; Nt, nitrógeno total; Pe, fósforo extraíble; H°, humedad volumétrica a la siembra del trigo; N inorgánico N en forma de amonio y nitratos en 0-60 cm.

Z60. En ese mismo momento, sobre la mitad de cada parcela y ambos antecesores, se realizaron aplicaciones de N foliar para evaluar el efecto de la fertilización foliar complementaria sobre los tratamientos con alta probabilidad de respuesta. Los tratamientos consistieron en la aplicación de 25 kg N ha<sup>-1</sup> utilizando una formulación líquida con 20% de N (Foliar Sol U) diluido al 50% y pulverizado con mochila manual (con foliar (CF)) y su correspondiente testigo sin fertilizar (sin foliar (SF)). Sin embargo, estos resultados no se muestran para todos los tratamientos, sino solamente para aquellos que resultaron para evaluar el objetivo propuesto. Para calibrar las respuestas a N de los diferentes tratamientos con las lecturas del clorofilómetro, se utilizó el procedimiento gráfico propuesto por Cate & Nelson (1965), que permite establecer niveles críticos que separan situaciones de alta y baja probabilidad de respuesta. A tal efecto, los rendimientos medios de MST en Z60 de todos los tratamientos de N impuestos en la emergencia del cultivo de cada ensayo fueron expresados como rendimiento relativo (RR), dividiendo su valor por el rendimiento medio alcanzado por el tratamiento con la mayor dosis de N (ecuación 1).

RR MST Z60= rendimiento medio tratamiento de N/ rendimiento mediotratamiento de 100 kg N ha<sup>-1</sup> (1)

En madurez fisiológica (Z90), en cada parcela se cosecharon 6 m lineales de surco para la determinación de MST y rendimiento de grano del trigo sobre ambos antecesores. Luego de procesado el

## Resultados y Discusión

Las precipitaciones anuales en 2011 totalizaron 470 mm, ubicándose por debajo de la media histórica del sitio (627 mm). Teniendo en cuenta la necesidad teórica del trigo (Paoloni & Vázquez, 1985), el año de estudio se caracterizó por sequías durante todo el ciclo del cultivo (Figura 1). Esta situación se acentuó durante los meses de primavera, en los cuales el déficit hídrico fue muy marcado. Esta es una característica usual de la región semiárida, siendo un factor condicionante del rendimiento en trigo (Martínez *et al.*, 2015b).

### *Producción de MST, N absorbido e índice de verdor en antesis*

La MST en Z60 mostró interacción significativa ( $p=0,035$ ) entre las dosis de N y el cultivo antecesor, por lo que los efectos se analizaron para cada antecesor por separado. Con ambos antecesores, las dosis de N mostraron efectos significativos sobre la producción de MST, aunque el efecto fue más marcado con antecesor trigo ( $p<0,001$ ) (Figura 2a). En este caso, las dosis de 25 y 50 kg N ha<sup>-1</sup> mostraron las mayores producciones de MST, sin diferencias estadísticas entre sí, mientras que con antecesor arveja, el rendimiento máximo se alcanzó con 100 kg N ha<sup>-1</sup>. Los valores promedios de MST fueron de 8.970 y 10.566 kg MST ha<sup>-1</sup> para antecesor trigo y arveja, respectivamente. Sin embargo, se detectaron respuestas diferentes. En el caso del trigo, con la dosis más alta de N la MST disminuyó significativamente pero aún fue mayor que el tratamiento sin aplicación de N; en cambio, en arveja, los aumentos en la producción continuaron con el incremento de la dosis de N (Figura 2a). Estas diferencias en la respuesta sugieren que la mayor disponibilidad de agua y N (Tabla 1) bajo arveja favoreció una mayor producción de biomasa que produjo respuestas positivas a la aplicación de N.

El N absorbido en Z60 evidenció diferencias altamente significativas ( $p<0,001$ ) según dosis y antecesores. Sin embargo, no se observaron tendencias diferentes entre los últimos (interacción no significativa,  $p=0,2963$ ). Se detectaron diferencias entre las dosis de 0 y 25 kg N ha<sup>-1</sup> con las de 50 y 100 kg N ha<sup>-1</sup>. En el promedio de todas las dosis, el N absorbido con antecesor arveja fue 26% mayor que con trigo.

material, se determinó el contenido de Nt en grano y en la paja (Bremner, 1996) en forma separada. El N absorbido total en Z90 se obtuvo como la suma del N acumulado en el grano y en la paja. El contenido de proteína del grano se calculó multiplicando el Nt del grano por el factor 5,75 (Novoa & Loomis, 1981).

La necesidad teórica de agua del trigo se calculó según Paoloni & Vázquez (1985), quienes realizaron su estudio en la zona de influencia de este trabajo. Estos autores estimaron la necesidad a partir de la evapotranspiración potencial del trigo obtenida mediante la fórmula de Blaney & Criddle, adaptada por la Food and Agriculture Organization (FAO).

### *Análisis estadístico*

Los resultados obtenidos en Z60 y Z90 se analizaron mediante el análisis de la varianza (ANAVA) doble para evaluar el efecto de las dosis de N y de los antecesores sobre la MST, el N absorbido, las lecturas del clorofilómetro, el rendimiento en grano y la proteína del grano (estos dos últimos sólo en Z90). Las medias se compararon según el test de Fisher ( $p<0,05$ ) mediante la diferencia mínima significativa (DMS). Para analizar el efecto de la fertilización foliar complementaria sobre los tratamientos con alta probabilidad de respuesta, se realizó ANAVA simple utilizando como variable la fertilización foliar. Los análisis estadísticos fueron realizados con el software informático Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2013).

Para el IV en Z60, se observó un comportamiento diferente en la respuesta a la dosis de N según cultivo antecesor (interacción significativa;  $p=0,0138$ ). Cuando se analizaron individualmente cada uno de los antecesores, se observó un aumento significativo de las US con el incremento de las dosis de N. Los máximos valores de IV fueron de 44,5 US para el antecesor trigo y de 48,1 US para el antecesor arveja. La interacción significativa hallada según cultivo antecesor se debió a los incrementos más marcados en el IV que se registraron ante el aumento de la dosis de N sobre la arveja (Figura 2c). Para los dos antecesores, se encontraron relaciones lineales y positivas (antecesor trigo:  $IV=1,9*(dosis\ N)+36,9$ ; antecesor arveja:  $IV=2,6*(dosis\ de\ N)+38$ ) entre las US y la dosis de N, con un ajuste elevado ( $R^2=0,97$ ) en ambos casos (Figura 2c). Estos resultados coinciden con los obtenidos por López-Bellido *et al.* (2004), quienes hallaron asociaciones estrechas ( $R^2=0,90$ ) entre el IV y las dosis de N en el estadio de hoja bandera.

### *Rendimiento de MST y grano, N absorbido y proteína en madurez fisiológica*

El efecto del N disponible inicial (N del suelo+ N del fertilizante) sobre la producción de MST y el rendimiento de grano en Z90 produjo respuestas diferentes según el cultivo antecesor (interacción significativa;  $p=0,0053$  y  $0,0033$  para MST y grano, respectivamente). Con antecesor arveja, no se observaron efectos significativos de las dosis aplicadas para ninguna de las dos variables ( $p>0,05$ ); sin embargo, con trigo como cultivo previo se hallaron diferencias altamente significativas ( $p<0,05$ ) para MST y rendimiento de grano (Figura 3a y b). Este comportamiento diferente podría deberse a las diferencias halladas en el N disponible al momento de la siembra luego de ambos antecesores (Tabla 1), lo cual habría dado origen a respuestas diferenciales a la aplicación de N, siendo creciente para antecesor trigo y nulo para arveja (Figura 3a y b).

El N absorbido en Z90 y la proteína mostraron respuestas altamente significativas ( $p<0,001$ ) de las dosis de N aplicadas (Figura

Figura 1. Precipitaciones registradas durante 2011, precipitaciones históricas (1970-2011) y necesidad teórica del cultivo.

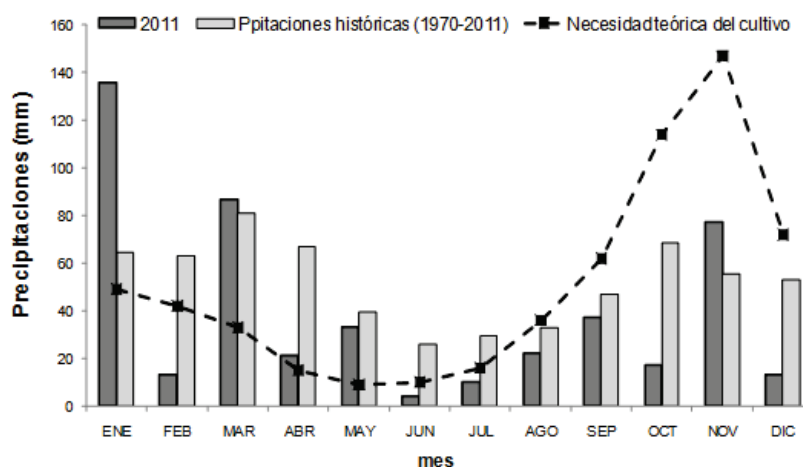
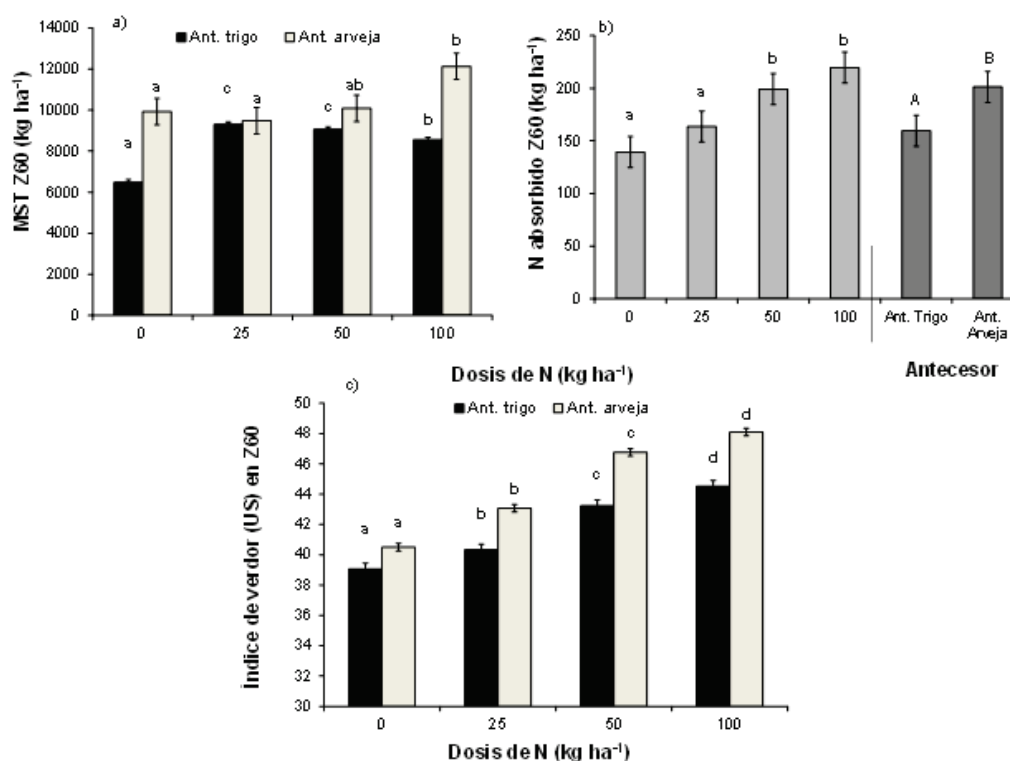


Figura 2. Producción de biomasa total aérea (MST), N absorbido e índice de verdor en Z60.



Letras diferentes indican diferencias significativas entre dosis con  $p < 0,05$ .

ra 3c y d), siguiendo una misma tendencia entre antecesores (interacción no significativa;  $p > 0,05$ ). El N absorbido en Z90 presentó diferencias entre los cultivos antecesores ( $p < 0,05$ ), con mayores valores en el antecesor arveja, mientras que el contenido de proteína no mostró tales diferencias ( $p = 0,54$ ). El mayor valor de N absorbido se encontró con la dosis de  $100 \text{ kg N ha}^{-1}$  ( $133 \text{ kg ha}^{-1}$ ), diferenciándose significativamente del tratamiento testigo ( $114 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

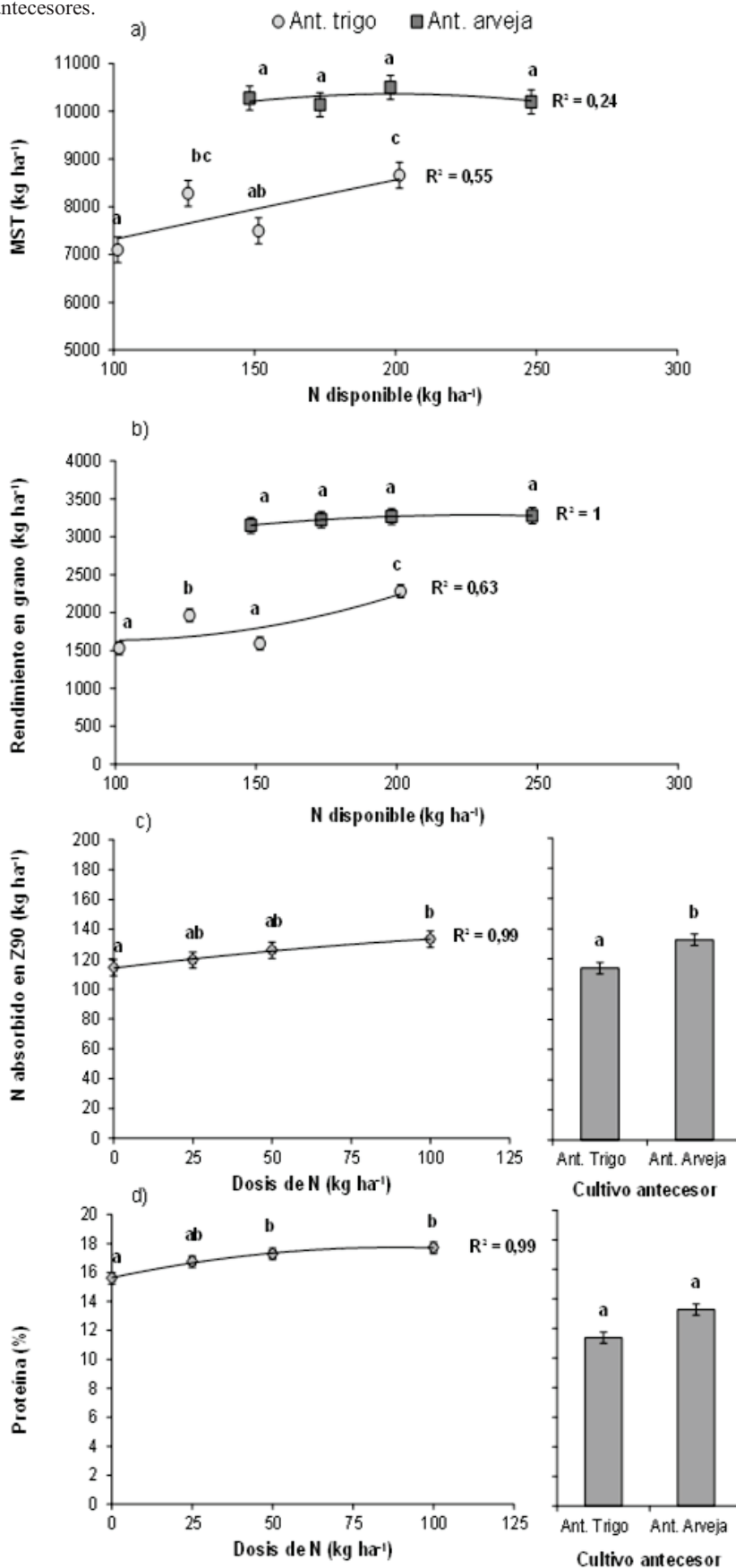
Con respecto a la proteína, se hallaron diferencias entre dosis con valores que oscilaron entre 15,6 y 17,7%, siendo según tratamiento  $0 \leq 25 \leq 50 = 100 \text{ kg N ha}^{-1}$ . El escaso efecto de las dosis de N sobre la MST y rendimiento en grano, sumado a la respuesta significativa sobre el N absorbido y la proteína del grano estuvo dado por las condiciones climáticas, especialmente la disponibilidad de agua. Esto se debió a que estas condiciones limitantes se generaron durante el periodo crítico del cultivo en este ambiente,

lo cual ya ha sido reportado por otros autores (Landriscini *et al.*, 2015; Martínez *et al.*, 2015 a,b).

*Predicción de los parámetros evaluados en madurez fisiológica mediante el índice de verdor en antesis*

Las relaciones halladas entre el IV en Z60 con la MST, rendimiento en grano y N absorbido en Z90 no fueron significativas ( $p > 0,05$ ) con el antecesor trigo (Tabla 2). Sin embargo, se hallaron asociaciones lineales y positivas significativas entre el IV y el contenido de proteína ( $R^2 = 0,67$ ). Considerando al antecesor arveja, se hallaron relaciones significativas del IV con rendimiento en grano, N absorbido en Z90 y proteína ( $p < 0,05$ ), mientras que no se hallaron asociaciones significativas con MST ( $p = 0,0640$ ) (Tabla 2). Sin embargo, los coeficientes de determinación -exceptuando al N absorbido en Z90- fueron bajos. Además, la relación hallada entre el rendimiento en grano y el IV, carece de utilidad práctica, debido que en Z60 es un estadio del cultivo

**Figura 3.** Producción de a) MST, b) rendimiento en grano, c) N absorbido y d) proteína en madurez fisiológica (Z90) según N disponible, dosis y antecesores.



Letras diferentes indican diferencias significativas entre dosis con  $p < 0,05$ .

avanzado para fertilizar (López-Bellido *et al.*, 2004). Estos resultados sugieren que independientemente del cultivo antecesor, el clorofilómetro en Z60 permite predecir de manera correcta el contenido de proteína, con mayores coeficientes de determinación bajo antecesor arveja. Este resultado coincide a lo hallado por Echeverría & Studdert (2001), quienes demostraron que el IV en estadios avanzados, sería un estimador promisorio de la nutrición nitrogenada del cultivo de trigo y del contenido de proteína. Además, en este estudio se pudo comprobar que bajo antecesor arveja, el clorofilómetro permite predecir de manera certera el N absorbido en Z90. Por su parte, Martínez *et al.* (2015a) el clorofilómetro en estadios reproductivos del cultivo, permite estimar el N absorbido en Z90 del trigo en condiciones de buena disponibilidad hídrica. En este estudio, a pesar de los déficits hídricos ocurridos durante el ciclo del cultivo, la mejor provisión de agua al momento de la siembra del trigo bajo el antecesor arveja, podría explicar esta relación estrecha entre IV y N absorbido en Z90, que se diferencia de la hallada con antecesor trigo.

A pesar de estas relaciones halladas en la Tabla 2, el uso del clorofilómetro no permite conocer si resulta efectivo su uso para mejorar la calidad del grano mediante fertilización foliar. Para esto se procedió a realizar una calibración gráfica para evaluar la fertilización foliar sobre aquellos tratamientos en Z60 en los cuales habría una alta probabilidad de respuesta a la fertilización.

*Calibración del diagnóstico de fertilidad nitrogenada con clorofilómetro*

Usando los valores de RR de la MST en Z60 y el método de calibración de Cate & Nelson (1965), se detectaron valores críticos de 42 y 46,8 US (Figura 4) por debajo de los cuales habría una alta probabilidad de respuesta a la aplicación de fertilizante nitrogenado con antecesor trigo y arveja, respectivamente. Además, estos resultados muestran valores críticos superiores para más del 11% de los datos con el antecesor arveja, demostrando una mejor nutrición nitrogenada

en Z60 (Figura 4). Para ambos antecesores, los tratamientos que se hallaron por debajo del umbral fueron los de las dosis de 0, 25 y algunos de 50 kg N ha<sup>-1</sup>, independientemente del N inorgánico inicial, que fue diferente según el antecesor (Tabla 1). Las relaciones halladas entre RR MST y US fueron bajas (R<sup>2</sup>= 0,27-0,30). Esto se contraponen con lo reportado por Sainz Rosas & Echeverría (1998), quienes encontraron relaciones estrechas entre el RR de maíz (*Zea mays* L.) y las US en diferentes estadios del cultivo.

*Comparación de la fertilización foliar en tratamientos con alta probabilidad de respuesta a la aplicación de fertilizantes*

Se analizó el efecto de la fertilización foliar según el cultivo antecesor considerando los tratamientos con alta probabilidad de respuesta (tratamientos por debajo del umbral crítico). Para ambos antecesores, no se observaron diferencias significativas (p>0,05) entre la aplicación del fertilizante nitrogenado por vía foliar (CF) y la no aplicación del mismo (SF) para los parámetros MST y rendimiento de grano (Figura 5a y b). Este comportamiento era esperable en base al déficit hídrico que se produjo en el período crítico del cultivo, y además, a la gran influencia que posee el agua sobre el proceso de removilización de fotosimilados hacia el grano (Barbottin *et al.*, 2005).

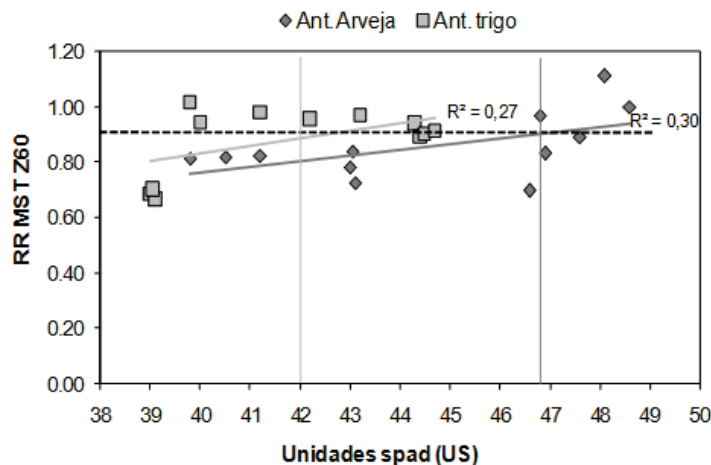
En cambio, para la proteína se hallaron efectos diferenciales y significativos (p<0,05) entre los tratamientos CF y SF (Figura 5d), independientemente del cultivo antecesor. Estos resultados confirman la hipótesis planteada, sin embargo, el efecto de la fertilización foliar sobre la calidad del grano se obtuvo sobre ambos cultivos antecesores. Estos resultados coinciden con los reportados por Landriscini *et al.* (2015), quienes demostraron el efecto de la fertilización foliar complementaria sobre la calidad del grano en varios sitios del SOB. Por su parte, Gooding *et al.* (2007) atribuyeron este efecto a la mayor velocidad de absorción del fertilizante foliar en estadios avanzados. Otros autores (Echeverría & Studdert, 2001; Gandrup *et al.*, 2004) han infor-

**Tabla 2.** Regresiones lineales entre el IV en Z60 y la materia seca total (MST), grano, N absorbido y contenido de proteína en Z90 según cultivo antecesor.

Antecesor	MST	R <sup>2</sup>	rendimiento	R <sup>2</sup>	Nabsorbido en Z90	R <sup>2</sup>	proteína	R <sup>2</sup>
Trigo	724+161,4x	0,30	-1160+77,9x	0,22	-55+3,4x	0,31	-7,6+0,5x	<b>0,67</b>
	0,064		0,1285		0,0583		<b>0,0011</b>	
Arveja	6539+91,3x	0,14	455+64,3x	<b>0,39</b>	-205+7,6x	<b>0,89</b>	-4,9+0,5x	<b>0,74</b>
	0,229		<b>0,0304</b>		<b>0,0001</b>		<b>0,003</b>	

Ecuaciones: Parámetro estimado= ax± b, siendo x= US en Z60. En negrita y cursiva se observan los coeficientes de explicación (R<sup>2</sup>) y los p-valor significativos de las regresiones lineales con p<0,05.

**Figura 4.** Relación entre los rendimientos relativos (RR) de MST y lecturas del clorofilómetro (US) en Z60 según cultivo antecesor.

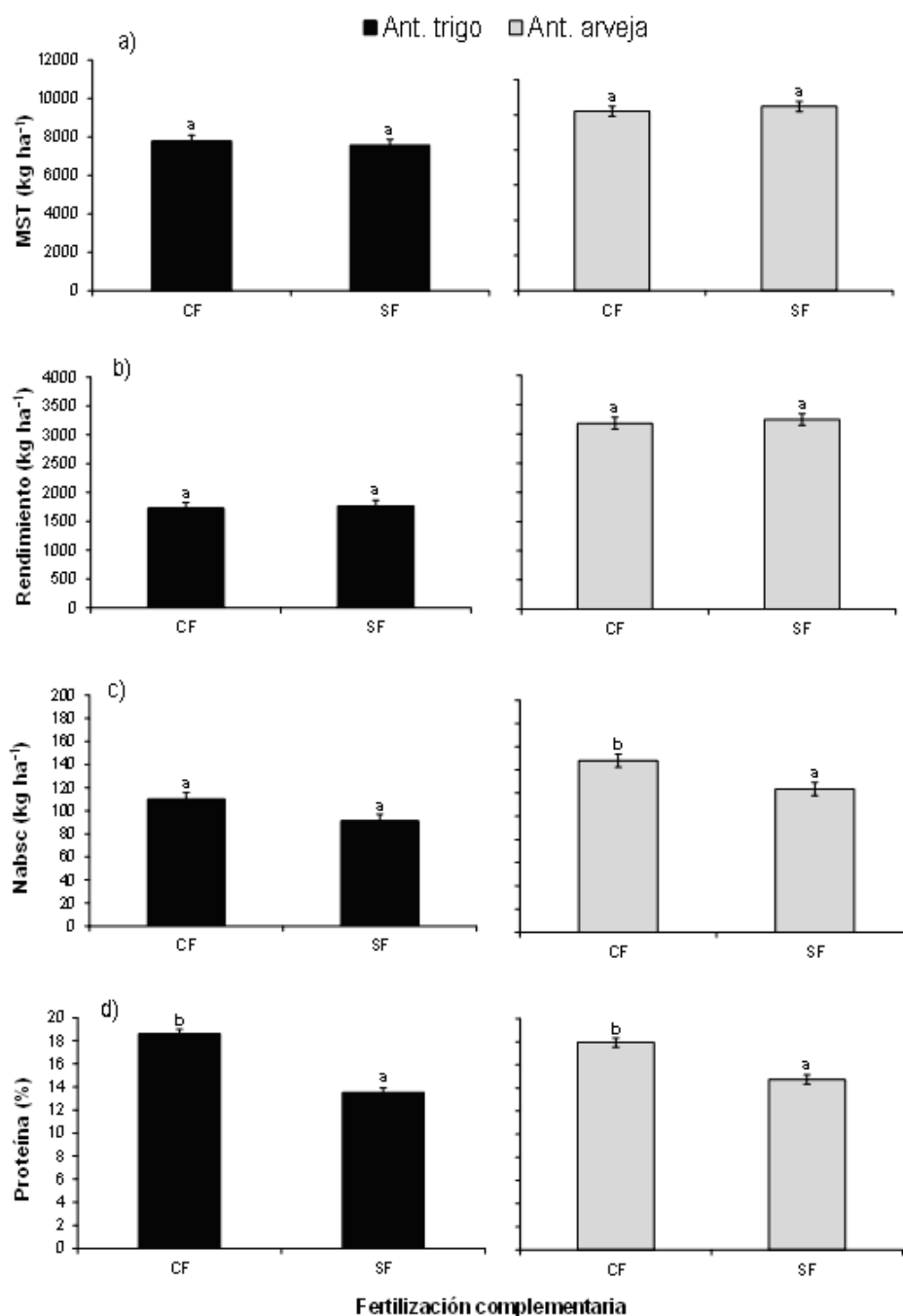


mado respuestas importantes en el contenido proteico del trigo con aplicaciones de N entre Z40 y Z60, aunque estos estudios fueron realizados en ambientes sin déficits hídricos.

Con respecto al N absorbido en Z90 se hallaron efectos significativos ( $p < 0,05$ ) de la aplicación foliar cuando el cultivo antecesor fue arveja (Figura 5c). Esto podría deberse al mejor estado nutricional del cultivo, verificado cuando se realizó la calibración gráfica (Figura 4) y a la mayor producción de biomasa aérea.

Estos resultados demuestran que el uso del clorofilómetro en Z60 permitiría mejorar el diagnóstico de la necesidad de fertilizante nitrogenado complementario para incrementar la calidad del grano, independientemente del cultivo antecesor. En coincidencia, Falotico *et al.* (1999) han reportado que el uso del clorofilómetro en estadios avanzados sería un estimador promisorio de la nutrición nitrogenada. Sin embargo, solamente con el antecesor arveja permitiría mejorar la predicción del N absorbido en Z90, demostrando un mejor estado nutricional del cultivo bajo este antecesor (Figura 4), que favoreció una mayor producción de biomasa aérea.

**Figura 5.** Efecto de la fertilización foliar sobre a) la MST, b) rendimiento en grano, c) N absorbido y d) contenido de proteína en Z90 en los tratamientos con alta probabilidad de respuesta.



CF: con fertilización foliar; SF: sin fertilización foliar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre dosis con  $p < 0,05$ .

## Conclusiones

El antecesor arveja produjo efectos diferenciales con respecto al trigo sobre la MST, el rendimiento de grano y el N absorbido del cultivo de trigo en un año con déficits hídricos marcados. Sin embargo, no se detectó el mismo efecto sobre el contenido de proteína en grano. La identificación de los tratamientos con alta probabilidad de respuesta resultó una estrategia adecuada para incrementar la efectividad de la fertilización foliar a pesar del año con déficits hídricos. Por su parte, el clorofilómetro demostró ser una herramienta útil que puede utilizarse en estadios avanzados del cultivo de trigo a fines de mejorar el diagnóstico de la necesidad de N para incrementar la calidad del grano en el ambiente semiárido bajo estudio.

Los resultados obtenidos demuestran el efecto positivo de la fertilización foliar con N sobre el contenido de proteína del grano, por lo cual podría ser una práctica de manejo a considerar para obtener trigos de alta calidad. Sin embargo, sería necesario repetir las experiencias para comprobar la eficacia de la fertilización complementaria en este mismo sitio y en otros donde la oferta hídrica en la mayoría de los años limita la expresión de la respuesta a la aplicación de N.

## Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a Profertil S.A. y a los productores de la Regional Bahía Blanca de AAPRESID, en particular a J. Irastorza en cuyo establecimiento fue realizado el ensayo.

## Bibliografía

1. **AZAM F; MALIK KA, SAJJAD MI** (1986) Uptake by wheat plant and turnover within soil fractions of residual N from leguminous plant material and inorganic fertilizer. *Plant and Soil*, 95: 97-108.
2. **BARBIERI PA, ECHEVERRÍA HE, SAINZ ROZAS HR** (2009) Nitratos en el suelo a la siembra o al macollaje como diagnóstico de la nutrición nitrogenada en trigo en el Sudeste Bonaerense. *Ciencia del Suelo*, 27:41-47.
3. **BARBOTTIN A, LECOMTE C, BOUCHARD C, JEUFFROY MH** (2005) Nitrogen remobilization during grain filling in wheat: genotypic and environmental. *Crop Science*, 45: 1141-1150.
4. **BERGH R, ZAMORA M, SEGHEZZO ML, MOLFESE E** (2003) Fertilización nitrogenada foliar en trigo en el centro-sur de la provincia de Buenos Aires. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur-IPNI*, 19: 15-21.
5. **BREMNER JM** (1996) Nitrogen- Total. En: Sparks, DL (Ed.) *Methods of soil analysis*. Part 3. Chemical Methods. Wisconsin USA. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America y Crop Science Society of America. p. 1085-1121.
6. **CATE RB, NELSON LA** (1965) A rapid method for correlation of soil test analysis with plant response data. *North Carolina State Univ. Soil Testing Series Tech*.
7. **CORONATO ML, MINOLDO G, GALANTINI JA, LANDRISCINI MR, IGLESIAS JO** (2014) Efecto del cultivo de arveja sobre algunas propiedades edáficas y la productividad del trigo. *Actas XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo y II Reunión de Materia Orgánica y Sustancias Húmicas*. Bahía Blanca, Argentina.
8. **DÍAZ-ZORITA M, FERNÁNDEZ CANIGIA V, GROSSO GA** (2001) Applications of foliar fertilizers containing glycinebetaine improve wheat yields. *Journal of Agronomy and Crop Sciences*, 186: 209-215.
9. **DI RIENZO JA, CASANOVES F, BALZARINI MG, GONZALEZ L, TABLADA M, ROBLEDO CW** (2013) *InfoStat versión 2013*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
10. **ECHEVERRÍA HE, STUDDERT GA** (2001) Predicción del contenido de N en grano de trigo (*Triticum aestivum*) mediante el índice de verdor de la hoja bandera. *Ciencia del Suelo*, 19: 67-74.
11. **FALÓTICO J, STUDDERT GA, ECHEVERRÍA HE** (1999) Nutrición nitrogenada del trigo bajo siembra directa y labranza convencional en condiciones de agricultura continua. *Ciencia del Suelo*, 17: 9-20.
12. **GALANTINI JA, IGLESIAS JO, ROSELL RA, GLAVE A** (1992) Rotación y fertilización en sistemas de producción de la región semiárida argentina I. Productividad (calidad y rendimiento) del trigo. *Revista Facultad de Agronomía (UBA)*, 13 (1): 67-75.
13. **GALANTINI JA, ROSELL RA, BRUNETTI G, SENESI N** (2002). Dinámica y calidad de las fracciones orgánicas de un Haplustol durante la rotación trigo-leguminosas. *Ciencia del Suelo*, 20: 17-26.
14. **GANDRUP ME, GARCÍA FO, FABRIZZI KP, ECHEVERRÍA HE** (2004) Evolución de un índice de verdor en hoja para evaluar el status nitrogenado en trigo. *Revista de Investigación Agropecuaria (RIA)*, 33: 105-121.
15. **GARRIDO-LESTACHE E, LÓPEZ-BELLIDO RJ, LÓPEZ-BELLIDO L** (2004). Effect of N rate, timing and splitting and N type on bread-making quality in hard red spring wheat under rainfed Mediterranean conditions. *Field Crops Research*, 85(2): 213-236.
16. **GOODING MJ, GREGORY P, FORD K, RUSKE R** (2007) Recovery of nitrogen from different sources following applications to winter wheat at and after anthesis. *Field Crops Research*, 100: 143-154.
17. **JEMINSON JM, LITTLE DE** (1996) Field evaluation of two nitrogen testing methods in Maine. *Journal of Production and Agriculture*, 9: 108-113.
18. **LANDRISCINI MR, GALANTINI JA, MARTÍNEZ JM** (2014) Estrategias de fertilización con nitrógeno en trigo en la región pampeana. Pp 39- 45. En: JA Galantini (ed). *Ciencia y experiencia para una siembra directa sustentable en los ambientes frágiles del S y SO Bonaerense*. Rev. Técnica AAPRESID. 96 pp.
19. **LANDRISCINI MR, MARTÍNEZ JM, GALANTINI JA** (2015) Fertilización foliar con nitrógeno en trigo en el sudoeste bonaerense. *Ciencia del Suelo*, 33: 186-193.
20. **LÓPEZ-BELLIDO RJ, SHEPHERD CE, BARRACLOUGH PB** (2004) Predicting post anthesis N requirements of bread wheat with a Minolta SPAD meter. *European Journal of Agronomy*, 20: 313-320.
21. **MARTÍNEZ JM, GALANTINI JA, LANDRISCINI MR** (2015a) Diagnóstico de fertilidad nitrogenada en el sudoeste bonaerense mediante el uso de un clorofilómetro en trigo. *Ciencia del Suelo*, 33 (1): 31-43.
22. **MARTÍNEZ JM, GALANTINI JA, LANDRISCINI MR** (2015b) Eficiencia en el uso del nitrógeno del trigo en la región semiárida de Buenos Aires (Argentina): efectos de la dosis y momento de aplicación. *Agriscientia*, 32: 15-28.
23. **MARTÍNEZ JM, GALANTINI JA, DUVAL ME, LÓPEZ FM** (2016) Indicadores edáficos de la calidad de suelos con trigo bajo siembra directa en el sudoeste bonaerense. *Revista de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias-UNR*, 26: 23-31.



24. **MIGLIERINAAM, IGLESIAS JO, LANDRISCINI MR, GALANTINI JA, ROSELL RA** (2000) The effects of crop rotations and fertilization on wheat productivity in the Pampean semiarid region of Argentina. 1. Soil physical and chemical properties. *Soil and Tillage Research*, 53: 129-135.
25. **MINOLDO G** (2010) Impacto de largo plazo de diferentes secuencias de cultivos del sudoeste bonaerense sobre algunas propiedades químicas del suelo y la productividad del trigo. Tesis de Magister en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Sur. 154 pp.
26. **NOVOA R, LOOMIS RS** (1981) Nitrogen and plant production. *Plant and Soil*, 58: 177-204.
27. **PAOLONI JD, VÁZQUEZ R** (1985) Necesidades teóricas de los cereales de invierno y probabilidad de ocurrencia de las precipitaciones como base para el balance hídrico. *Anales de Edafología y Agrobiología*, XLIV: 1545-1556.
28. **SAINZ ROZAS H, ECHEVERRÍA HE** (1998) Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadios del ciclo del cultivo del maíz y el rendimiento en grano. *Revista de la Facultad de Agronomía de La Plata*, 103: 37-44.
29. **SALVAGIOTTI F, FERRAGUTI F, ENRICO J, PRIETO G** (2014) Respuesta a nitrógeno en maíz de fecha tardía según cultivo antecesor. *Actas XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo y II Reunión de Materia Orgánica y Sustancias Húmicas*. Bahía Blanca, Argentina.
30. **SARANDÓN S, ZULUAGA M, GOLIK S** (2000) Rendimiento, acumulación y partición del N en 2 cultivares de trigo según el momento de aplicación y tipo de fertilizante utilizado. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina.
31. **SOIL SURVEY STAFF** (2010) *Keys to Soil Taxonomy*, 11th Edición. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington DC. 374 pp.
32. **WASKOM RM, WESTFALL DG, SPELLMAN DE, SOLTANPOUR PN** (1996) Monitoring nitrogen status of corn with a portable chlorophyll meter. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 27: 545-560.
33. **WORTMANN CS, MCINTYRE BD, KAIZZI CK** (2000) Annual soil improving legumes: agronomic effectiveness, nutrient uptake, nitrogen fixation and water use. *Field Crops Research*, 68: 75-83.
34. **ZADOKS JC, CHANG TT, KONZAK CF** (1974) A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14:415-421.