



RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias

ISSN: 0325-8718

Revista.ria@inta.gob.ar

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
Argentina

Santamaría, Soledad M.; Studdert, Guillermo A.; Echeverría, Hernán E.
Sistemas de labranza y fertilización nitrogenada en trigo bajo distintas historias agrícolas
RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias, vol. 33, núm. 3, diciembre, 2004, pp. 55-75
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
Buenos Aires, Argentina

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86433305>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

RIA, 33 (3): 55-75
Diciembre 2004
INTA, Argentina

ISSN edición impresa 0325-8718
ISSN edición en línea 1669-2314

SISTEMAS DE LABRANZA Y FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN TRIGO BAJO DISTINTAS HISTORIAS AGRÍCOLAS

SANTAMARÍA, SOLEDAD M.¹; STUDDERT, GUILLERMO A.¹;
ECHEVERRÍA, HERNÁN E.¹

RESUMEN

En el sudeste bonaerense no hay suficiente información respecto al comportamiento del trigo bajo diferentes rotaciones, labranzas y fertilización nitrogenada. Sobre un complejo de Argiudol típico y Paleudol petrocálcico y con un diseño en bloques completos aleatorizados con tratamientos en parcelas divididas y tres repeticiones se evaluó el comportamiento del trigo bajo cuatro sistemas de cultivo (SC): labranza convencional en rotación con pasturas (LC-RP), siembra directa en rotación con pasturas (SD-RP), labranza convencional en agricultura continua (LC-AC) y siembra directa en agricultura continua (SD-AC), y distintas dosis de N (FN) (0 (0N), 60 (60N), 120 (120N) y 180 (180N) kg ha⁻¹). Las hipótesis fueron: 1) la SD y la AC reducen la oferta de N por parte del suelo; 2) las diferencias en rendimiento entre SC pueden ser eliminadas con FN. No hubo diferencias en el número de plantas emergidas, aunque sí en la tasa de emergencia. El contenido de N-NO₃⁻ a la siembra y a la cosecha fue mayor bajo LC y con N, y tendió a serlo bajo RP. Asimismo, bajo LC y con N se determinó mayor concentración de N-NO₃⁻ en seudotallos y en el

¹ Unidad Integrada Facultad Ciencias Agrarias (UNMP) - EEA INTA Balcarce, C.C. 276, (7620) Balcarce, Argentina. gstuddert@balcarce.inta.gov.ar

índice de suficiencia de N (ISN). La materia seca (MS) y el N total (Nt) acumulados fueron mayores bajo LC y RP. El contenido de N-NO_3^- en planta, la MS, el Nt, el ISN y la relación Nt-MS mostraron el orden $0\text{N} < 60\text{N} < 120\text{N} < 180\text{N}$. La interacción SC-FN afectó el rendimiento de grano. El mayor crecimiento bajo LC, no se reflejó en los rendimientos, posiblemente debido al déficit de agua durante el período crítico, lo que puso en ventaja a los tratamientos bajo SD. La deficiencia hídrica no permitió la expresión del rendimiento potencial ni mantener las diferencias observadas en otras variables, motivo por el cual no se rechazó la primera hipótesis y sí se rechazó parcialmente la tercera.

Palabras clave: *rotaciones, sistemas labranza, Triticum aestivum, respuesta fertilización*

SUMMARY

In the southeastern Buenos Aires Province there is not enough information respect to how wheat responds to the combination of different crop rotations, tillage systems and N rates. On a Typic argiudoll-Petrocalcic paleudoll complex and with a completely randomized block design and split-plot design with three replications it has been assessed the behavior of wheat under four cropping systems (SC): conventional tillage under rotation with pastures (LC-RP), no-tillage under rotation with pastures (SD-RP), conventional tillage under continuous cropping (LC-AC) and no-tillage under continuous cropping (SD-AC); and four N rates (FN) (0 (0N), 60 (60N), 120 (120N) y 180 (180N) kg ha^{-1}). The hypothesis were: 1) no-tillage and continuous cropping reduce soil N supply; 2) wheat grain yield differences among SC can be eliminated with FN. There were not differences in the number of plants emerged, but there were differences in emergence rate. Nitrate-N at sowing and at harvest was greater under LC and with N, and tended to be greater under RP. Wheat stem NO_3^- -N concentration and N sufficiency index (ISN) were greater under LC and with N. Accumulated aboveground dry matter (MS) and total N (Nt) were greater under LC and RP. Wheat stem NO_3^- -N content, MS, Nt, ISN and the relationship Nt-MS showed the order $0\text{N} < 60\text{N} < 120\text{N} < 180\text{N}$. The effect of the interaction between SC and FN affected wheat grain yield. The greater growth of wheat under LC and especially with RP, was not shown in wheat grain yield probably due to a water stress during the critical period. This was not observed under SD. Water stress did not allow neither the

expression of crop yield potential nor to express in grain yield the differences observed in other variables. Therefore, there was not enough evidence to reject the first hypothesis but there was enough evidence to reject partially the third one.

Keywords: *crop rotations, tillage systems, Triticum aestivum, fertilization response*

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la actividad agrícola fue más rentable que la ganadera y, como consecuencia, en las explotaciones mixtas de la Región Pampeana se ha tendido hacia un aumento de la superficie destinada a la agricultura (Rearte, 1996). En el sudeste bonaerense, la mayor proporción de suelos bajo agricultura, la utilización de sistemas agresivos de labranza (labranza convencional, LC) que entierran la totalidad de los rastrojos, la escasa reposición de nutrientes y las secuencias de cultivos que no contemplan la aptitud de los suelos, han sido condiciones predisponentes para un incremento de la erosión (Darwich, 1991) y el deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos (Echeverría y Ferrari, 1993). Esto puede llevar a una disminución de los rendimientos aunque, en algunos casos, no se visualiza debido a las mejoras genéticas y tecnológicas y al uso de agroquímicos, que han aumentado los rendimientos esperados (Calviño y Sadras, 2002).

Entre las alternativas de manejo para disminuir la degradación del suelo pueden mencionarse la rotación de cultivos con pasturas (Studdert, Echeverría y Casanovas, 1997) y la utilización de labranzas conservacionistas (cobertura con rastrojos de, por lo menos, 30% de la superficie del suelo) como la siembra directa (SD) (Studdert y Echeverría, 2000). La ausencia de laboreo y la cobertura de rastrojos del cultivo antecesor, hace que las relaciones suelo-planta-ambiente bajo SD sean distintas de las que se generan bajo LC, motivo por el cual surge la necesidad de un ajuste al

manejo de los cultivos (Allmaras, Unger y Wilkins, 1985).

El trigo (*Triticum aestivum* L.) es el cultivo más importante del sudeste bonaerense. La producción de trigo bajo SD es una práctica que se ha difundido ampliamente en la zona en los últimos años (Calviño, Echeverría y Redolatti, 2002). Es una alternativa para tender a una efectiva conservación del suelo tratando de estabilizar los rendimientos (Studdert y Echeverría, 2000). Sin embargo, no se cuenta con información respecto al efecto combinado de los sistemas de labranza y la historia de uso sobre el comportamiento del trigo.

Dado el efecto de las labranzas y las rotaciones sobre el tipo, volumen y posición de los residuos de cosecha, la temperatura y el contenido de agua, la dinámica del N y su disponibilidad, todo lo cual afecta la producción del cultivo e influye sobre la preservación del suelo, se plantearon las siguientes hipótesis: 1) La SD y, independientemente del sistema de labranza utilizado, los ciclos agrícolas prolongados reducen la oferta de N por parte del suelo para el trigo; 2) las diferencias provocadas por los sistemas de cultivo en los rendimientos de trigo pueden ser eliminadas con fertilización nitrogenada. Los objetivos del presente trabajo fueron evaluar: a) la capacidad de suministro de N del suelo bajo distintos sistemas de cultivo, determinando el contenido de N-NO_3^- en el suelo antes de la siembra y después de la cosecha y en los seudotallos durante el macollaje, y el índice de verdor y la cantidad de N absorbido por las plantas durante el ciclo del cultivo de trigo y b) la acumulación de MS y el rendimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se llevó a cabo en 1999 en la Unidad Integrada Balcarce (UIB) (37° 45' S; 58° 18' W) sobre cuatro tratamientos de un ensayo de larga duración conducido desde 1976. El suelo es un complejo de Argiudol típico fino, mixto, térmico y de Paleudol petrocálcico, fino, lítico, térmico con 2% de pendiente, textura superficial franca y contenido de materia orgánica al inicio del

ensayo de aproximadamente 7,0%. Entre 1976 y la campaña 1993/1994 el ensayo contempló rotaciones con alternancia de ciclos de agricultura y de pasturas (rotación con pasturas, RP) de distinta duración, y otras con agricultura continuada (AC), en todos los casos bajo LC. A partir del año 1994, se incorporó la SD como variable, quedando un tratamiento de AC y uno de RP, bajo SD y uno de cada uno bajo LC.

Se utilizó un diseño experimental en bloques completos aleatorizados con arreglo de tratamientos en parcelas divididas con 3 repeticiones. Los factores de tratamiento fueron sistemas de cultivo (SC) combinando el sistema de labranza (LC y SD) con la historia previa (AC y RP), asignados a las parcelas principales, y dosis de N (FN): 0, 60, 120, 180 kg. N ha⁻¹ (0N, 60N, 120N, 180N, respectivamente), asignado a las subparcelas. Cada unidad experimental tuvo una superficie de 175 m². La secuencia de cultivos durante las etapas bajo agricultura fue maíz (*Zea mays* L.)-soja (*Glycine max* L. Merr.)-trigo. En la Tabla 1 se presenta el esquema de la historia agrícola desde 1994 hasta 1999 para los 4 sistemas de cultivo estudiados.

El trigo (cv. PROINTA Cinco Cerros) fue sembrado el 27/7/99 a 19,1 cm de distancia entre líneas con una densidad de 370 sem m⁻². El fertilizante nitrogenado fue aplicado bajo la forma de urea al voleo en cobertura total. En las subparcelas 120N y 180N, 60kg N ha⁻¹ fueron aplicados el 4/8/99. El resto del fertilizante para estas subparcelas, junto con los 60 kg N ha⁻¹ de las subparcelas 60N, se aplicó el 30/9/99. No se aplicó fertilizante fosfatado a la siembra porque el suelo presentaba un elevado contenido de P (> 25 mg kg⁻¹).

La información meteorológica fue suministrada por el Grupo de Agrometeorología de la UIB. En las parcelas bajo SD, se determinó la cobertura con rastros por el método de la línea transecta (Sarlangue, 1993) a razón de cinco determinaciones por unidad experimental. Se midió la temperatura de suelo a 5 cm de profundidad con termistores y se registró con *data loggers* a intervalos de 1 h desde la siembra hasta la plena emergencia del trigo. La emergencia de plántulas se determinó con 12 recuentos por par-

Tabla 1. Historias agrícola para los distintos sistemas de cultivo.

Sistema de cultivo ¹	Cultivo ²					
	Año					
	1994	1995	1996	1997	1998	1999
SD-RP		P		M	S	T
LC-RP		P		M	S	T
SD-AC	M	S	T	M	S	T
LC-AC	M	S	T	M	S	T

¹ SD: siembra directa, LC: labranza convencional, RP: rotación con pasturas, AC: agricultura continua.

² P: pastura; M: maíz, S: soja; T: trigo

cela en sectores de surco de 1 m lineal previamente determinados. El primer recuento se efectuó a los 12 días y el último, 31 días después de la siembra. Se determinó el contenido de N-NO_3^- (Keeney y Nelson, 1982) hasta 1 m de profundidad antes de la siembra y luego de la cosecha en las subparcelas 0N y 180N. Antes de la antesis del cultivo (26/10/99) se determinó el contenido de agua del suelo por el método de atenuación de neutrones utilizando una sonda Troxler 4302 (Troxler Electronics Laboratories, Inc, EEUU), en las capas de 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 cm. El contenido de agua del suelo en la capa de 0-20 cm fue determinado por el método gravimétrico. En ambos casos el contenido de agua se expresó en lámina. No se pudieron hacer en otros momentos por problemas con el equipo.

En espiguilla terminal (ET) (27/9/99) se tomaron muestras de plantas para determinar la concentración de N-NO_3^- en seudotallos (Strada, Echeverría y Studdert, 2000) que se determinó por colorimetría (Keeney y Nelson, 1982). Durante el ciclo del cultivo se realizaron muestreos de la parte aérea del cultivo en todas las unidades experimentales para determinar la acumulación de materia seca (MS) y de N total (Nt) (por Micro Kjeldahl, Bremner y Mulvaney, 1982) a razón de tres surcos al azar de 1 m de longitud ($0,573 \text{ m}^2$) en los estadios ET, preantesis (PreA), antesis (A), posantesis (PosA) y madurez fisiológica (MF). En los estadios PreA, A y PosA se determinó el índice de verdor con el medidor

MINOLTA® SPAD 502 (MINOLTA, Kyoto, Japón) y se calculó el índice de suficiencia de N (ISN) como el cociente entre el valor del índice de verdor de cada unidad experimental y el máximo obtenido en el ensayo en cada uno de los momentos de medición (Falotico, Studdert y Echeverría, 1999). El rendimiento fue determinado con una cosechadora/trilladora de parcelas, realizando dos cortes de 1,15 m de ancho por 15,0 m de largo por subparcela y corrigiendo a 14% de humedad.

El análisis de los resultados se realizó mediante análisis de varianza. Para comparar las medias de los tratamientos se utilizó el método de la diferencia mínima significativa sólo cuando el análisis de varianza indicó diferencias significativas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las lluvias ocurridas durante el ciclo del trigo (541 mm) no difirieron de la mediana histórica para igual período (539,7 mm). No obstante, la distribución fue diferente, ya que en el período crítico del cultivo y el de llenado de los granos (meses de noviembre y diciembre) las precipitaciones fueron escasas (aproximadamente el 65% de la mediana histórica) y desuniformes (concentradas en los tres primeros días de noviembre y la segunda quincena de diciembre). No hubo diferencias en la temperatura del aire y en la radiación incidente (datos no mostrados) entre la campaña bajo estudio y las medianas históricas. El contenido de agua del suelo hasta 100 cm antes de la antesis fue de $287,9 \pm 5,0$ mm en promedio para todos los tratamientos lo que significa que el agua disponible representaba aproximadamente el 70% del agua útil (Travasso y Suero, 1994) sin diferencia entre ellos.

La cobertura con rastrojos de las parcelas bajo SD fue algo mayor en las provenientes de RP ($84,2 \pm 3,9\%$) que en las provenientes de AC ($83,0 \pm 2,2\%$). No obstante, en todos los casos la cobertura con rastrojos bajo SD estuvo por encima del 82%. Como consecuencia (Johnson y Lowery, 1985), las temperaturas máximas observadas bajo LC fueron superiores a las registradas bajo

cobertura (SD) durante la mayor parte del período considerado, con valores medios de 13,7 °C y 12,9 °C para LC y SD, respectivamente. Por otro lado, las temperaturas mínimas bajo SD fueron mayores durante los 30 días posteriores a la siembra en 1,1 °C (6,0 °C vs 4,9 °C para SD y LC, respectivamente). No obstante, a pesar de esas diferencias, las temperaturas medias del suelo en el período analizado prácticamente no difirieron (8,6 °C vs 9,0 °C para SD y LC, respectivamente) y se mantuvieron siempre por encima de la temperatura mínima de germinación del trigo (4 °C) (Peterson, 1965). Cabe aclarar que debido a las lluvias ocurridas en pre y postsiembra (datos no mostrados), no hubo diferencias en el contenido de agua del suelo y, por lo tanto, la diferente energía calórica absorbida por el suelo asociada con cada situación de cobertura, sería el único factor causante de las diferencias en temperatura.

Se pudo apreciar una mayor velocidad de emergencia en los tratamientos bajo LC (Figura 1), no habiendo diferencias entre ellos y alcanzando el 28,9% de emergencia a los 12 días desde la siembra (dds) con 80 plántulas m⁻². Por su parte, los tratamientos bajo SD alcanzaron esa misma cantidad de plántulas emergidas entre 2 y 3 d después y tardaron más tiempo en llegar al máximo de plántulas emergidas, particularmente SD-AC. Dado que no se observaron diferencias entre LC y SD en temperatura ni en contenido de agua del suelo, las diferentes tasas de emergencia podrían estar asociadas a causas físicas. En este ensayo, Santamaría (2003, comunicación personal) encontró que SD-RP y SD-AC presentaban mayor resistencia mecánica a la penetración (RM) y que hubo una correlación del 87% entre el número de plántulas emergidas a los 15 dds y la RM a 5 cm de profundidad. Sin embargo, esta limitación no condicionó de manera permanente la emergencia de las plántulas, dado que no hubo diferencias de importancia entre los sistemas de cultivo en el número final de plántulas emergidas (285 y 277 plántulas m⁻² para los tratamientos bajo LC y bajo SD, respectivamente).

No hubo efecto ($P>0,05$) de la interacción entre SC y FN sobre

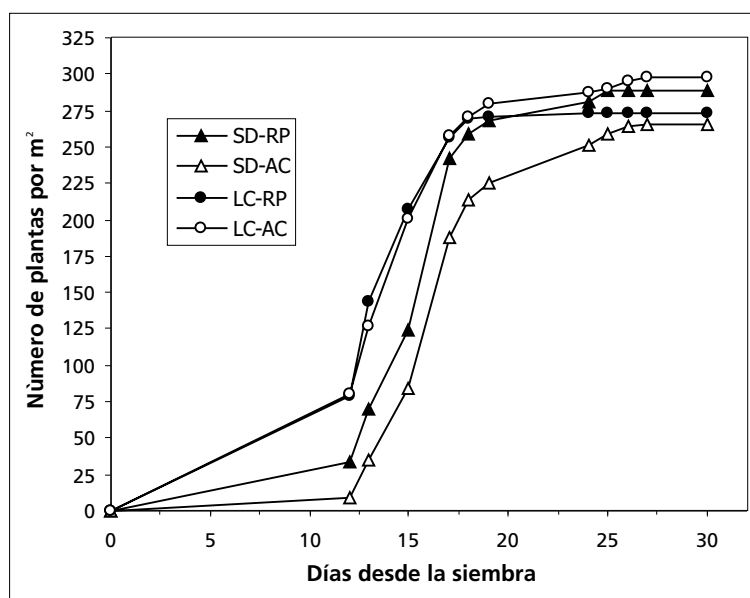


Figura 1. Emergencia del cultivo de trigo bajo labranza convencional con rotación con pasturas (LC-RP), siembra directa con rotación con pasturas (SD-RP), labranza convencional con agricultura continua (LC-AC) y siembra directa con agricultura continua (SD-AC).

el contenido de N-NO_3^- hasta 1 m de profundidad ni a la siembra ni a la cosecha del trigo. En la Tabla 2 se muestra que el contenido de N-NO_3^- a la siembra del trigo no fue diferente ($P>0,05$) entre LC-RP y LC-AC. Por otro lado, estos dos tratamientos difirieron significativamente ($P<0,05$) de SD-RP y SD-AC, que no difirieron entre sí ($P>0,05$). Esa diferencia podría atribuirse a la menor mineralización neta durante el barbecho bajo SD (Rice, Smith y Blevins, 1986; Studdert, Rizzalli y Berardo, 1994), ocasionada por la menor remoción del suelo. En ambos casos, la RP tendió a acumular un mayor contenido de N-NO_3^- que bajo AC, pero estas diferencias no fueron significativas. Pazos, Videla, Echeverría y Studdert (2000) encontraron que en suelos del sudeste bonaerense la capacidad de mineralización de N era mayor bajo RP que

Tabla 2. Contenido de N-NO_3^- en el suelo a 1 m de profundidad a la siembra y cosecha del cultivo de trigo.

Tratamiento		Contenido de N-NO_3^- ¹	
		Momento	
		Siembra	Cosecha
		----- kg ha ⁻¹ -----	
Promedio Sistema Cultivo ²	SD-RP	92,8 b	73,2 b
	SD-AC	78,8 b	68,7 b
	LC-RP	152,1 a	143,2 a
	LC-AC	134,6 a	160,6 a
Promedio Fertilización N ³	s/N	61,3 b	50,8 b
	c/N	167,8 a	172,1 a
C.V %		21,0	22,6

¹ Los valores seguidos por la misma letra no difieren significativamente según DMS2 0,05

² SD: siembra directa, LC: labranza convencional, RP: rotación con pasturas, AC: agricultura continua.

³ s/N: sin nitrógeno; c/N: para la siembra son las subparcelas fertilizadas con 180 kg N ha⁻¹ en el cultivo antecesor, para la cosecha son las subparcelas que recibieron 180 kg N ha⁻¹

bajo AC, debido a la recuperación del nivel de materia orgánica y con ello de la fuente de N orgánico, que permiten las pasturas en la rotación (Studdert *et al.*, 1997). La fertilización al cultivo previo aumentó significativamente ($P<0,05$) el contenido de N-NO_3^- a la siembra del cultivo de trigo. Luego de la cosecha del trigo (Tabla 2), el contenido de N-NO_3^- no fue diferente ($P>0,05$) entre LC-RP y LC-AC y estos dos tratamientos difirieron ($P<0,05$) de SD-RP y SD-AC, los que no difirieron entre sí ($P>0,05$).

Hubo efecto ($P<0,05$) de la interacción entre SC y FN del cultivo antecesor sobre el contenido de N-NO_3^- en los seudotallos del cultivo (Tabla 3). Bajo LC-RP con 0N se observó mayor ($P<0,05$) contenido de N-NO_3^- en el tejido vegetal (5,2 g kg⁻¹), lo que indica que favoreció una más intensa mineralización del N del suelo respecto SD-RP con 0N (2,5 g kg⁻¹). Asimismo, en los tratamientos testigo (0N) aquéllos bajo SD no difirieron entre sí ($P>0,05$) ni de LC-AC. El N residual del cultivo antecesor incrementó la concen-

Tabla 3. Concentración de N-NO_3^- en seudotallos de trigo en estadio de espiguilla terminal bajo distintos sistemas de cultivo y condiciones de fertilización nitrogenada.

Sistema de cultivo (SC) ¹	Contenido de N-NO_3^- en seudotallos Fertilización nitrogenada (F) (kg N ha^{-1})			
	0	60	120	180
	g kg^{-1}			
SD-RP	2,5	3,1	6,3	7,5
SD-AC	2,6	3,1	5,5	7,6
LC-RP	5,2	8,1	13,6	14,3
LC-AC	3,1	5,0	14,8	15,6
DMS _(0,05) (SC*F) ²	1,8 / 2,4			

¹ SD: siembra directa, LC: labranza convencional, RP: rotación con pasturas, AC: agricultura continua.

² DMS: diferencia mínima significativa. El primer valor se aplica a comparaciones entre dosis para cada sistema de cultivo; el segundo valor se aplica a las comparaciones entre sistemas de cultivo para cada dosis y para las comparaciones entre combinaciones de sistema de cultivo y dosis

tración de nitratos en seudotallos bajo todos los SC, aunque el N remanente de la FN del cultivo antecesor en las subparcelas 120N y 180N no logró igualar la concentración de N-NO_3^- bajo SD a aquella bajo LC. Presumiblemente, además de la menor mineralización durante el barbecho y los primeros estadios del cultivo, la mayor RM bajo SD afectó indirectamente el abastecimiento inicial de N al interferir en el crecimiento temprano del sistema radical. No obstante, la concentración de N-NO_3^- en los seudotallos estuvo, en todos los casos, por encima del umbral determinado por Strada *et al.* (2000) para el estadio de espiguilla terminal para obtener el rendimiento máximo ($2,5 \text{ g kg}^{-1}$).

No hubo efecto ($P>0,05$) de la interacción entre SC y FN sobre la acumulación de MS y Nt en la biomasa aérea, con excepción del muestreo de A para MS. En todos los muestreos, la MS según las dosis de N mostró el orden $0\text{N}<60\text{N}<120\text{N}<180\text{N}$ (Figura 2a). En

los tratamientos bajo LC, la MS acumulada en la biomasa aérea del cultivo fue claramente mayor hasta A respecto de aquéllos que se encontraban bajo SD, sin registrarse diferencias significativas en este último entre AC y RP. El ordenamiento de la acumulación de MS en MF para los diferentes sistemas de cultivo fue LC-RP>LC-AC>SD-RP>SD-AC (Figura 2b). Este ordenamiento fue igual durante todo el ciclo del trigo y se corresponde con el orden de disponibilidad de N a la siembra (Tabla 2). Sin embargo, coincidiendo con otros autores (Falotico *et al.*, 1999), las mayores diferencias entre LC y SD observadas al principio del ciclo se diluyeron, y la acumulación de MS bajo SD en MF no fue diferente ($P>0,05$) que bajo LC.

La FN provocó diferencias ($P<0,05$) en acumulación de Nt en todos los momentos de muestreo (Figura 2c). En ET existieron diferencias ($P<0,05$) entre 0N-60N vs 120N-180N. En PreA, A y PosAs, todas las dosis difirieron entre sí con un ordenamiento igual al observado en acumulación de MS (0N<60N<120N<180N) (Figura 2a), coincidiendo con Falotico *et al.* (1999). En todos los momentos de muestreo se observaron diferencias ($P<0,05$) debidas al SC (Figura 2c). El ordenamiento de la acumulación de Nt para los SC en todos los muestreos fue LC-RP>LC-AC>SD-RP>SD-AC, lo que se corresponde con lo observado en acumulación de MS (Figura 2b). Los tratamientos LC-RP y LC-AC en espiguilla terminal difirieron entre sí y, a su vez, de los tratamientos bajo SD, en concordancia con el contenido de $N-NO_3^-$ en el suelo a la siembra (Tabla 2) y en los pseudotallos (Tabla 3). Al igual que con MS las diferencias entre LC y SD en acumulación de Nt se fueron diluyendo, llegando a madurez fisiológica difiriendo ($P<0,05$) sólo SD-AC del resto de los sistemas.

Las situaciones generadas por el manejo (labranza, rotación y fertilización del antecesor) (Tabla 2) previo al cultivo bajo estudio, no impidieron que éste respondiera al agregado de N, aún a dosis muy elevadas (180N) para todos los SC (Figura 2a y 2c), lo que indica que el N disponible en el suelo no era suficiente para que el cultivo expresara su potencial de acumulación de MS. Por otro

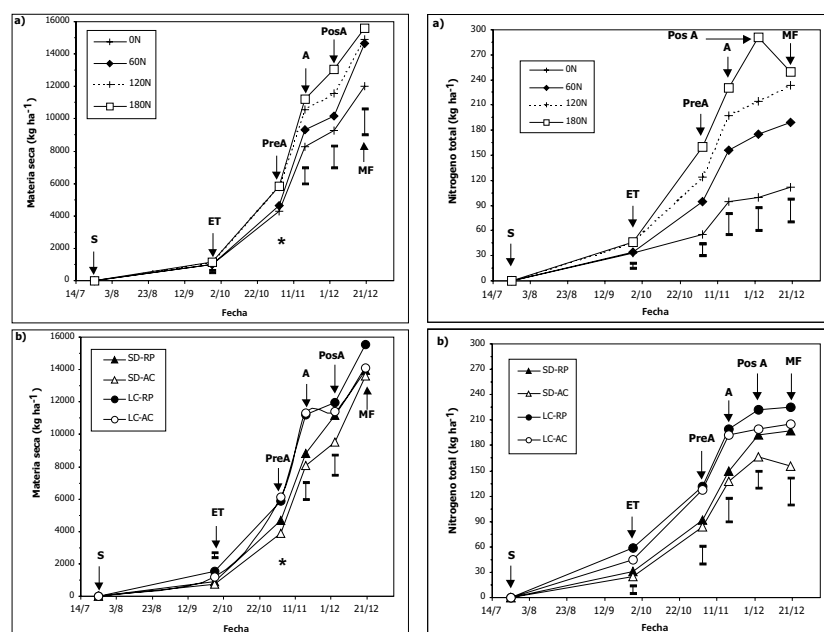


Figura 2. Evolución de la acumulación de materia seca y de N en la biomasa aérea del trigo, a) y c) para dosis de N: 0 (0N), 60 (60N), 120 (120N) y 180 (180N) kg ha^{-1} , y b) y d) para sistemas de cultivo: labranza convencional con rotación con pasturas (LC-RP), siembra directa con rotación con pasturas (SD-RP), labranza convencional con agricultura continua (LC-AC) y siembra directa con agricultura continua (SD-AC). Las barras verticales indican $\text{DMS}_{0,05}$ y el asterisco indica interacción ($P < 0,05$) entre sistema de cultivo y fertilización. S: siembra; ET: espiguilla terminal; PreA: preantesis; A: antesis; PosA: posantesis; MF: madurez fisiológica.

lado, dicha disponibilidad se vio afectada por los sistemas de cultivo (Tabla 2) lo que se tradujo en diferencias en acumulación de MS y de Nt (Figura 2b y 2d). Los sistemas de labranza marcaron las mayores diferencias (Falotico *et al.*, 1999), pero las historias también mostraron su efecto sobre la capacidad del suelo de proveer N al cultivo (Studdert *et al.*, 1997; Pazos *et al.*, 2000).

En la Figura 3 se muestra la relación entre acumulación de MS y la concentración de Nt, comparándola con la relación ideal (curva

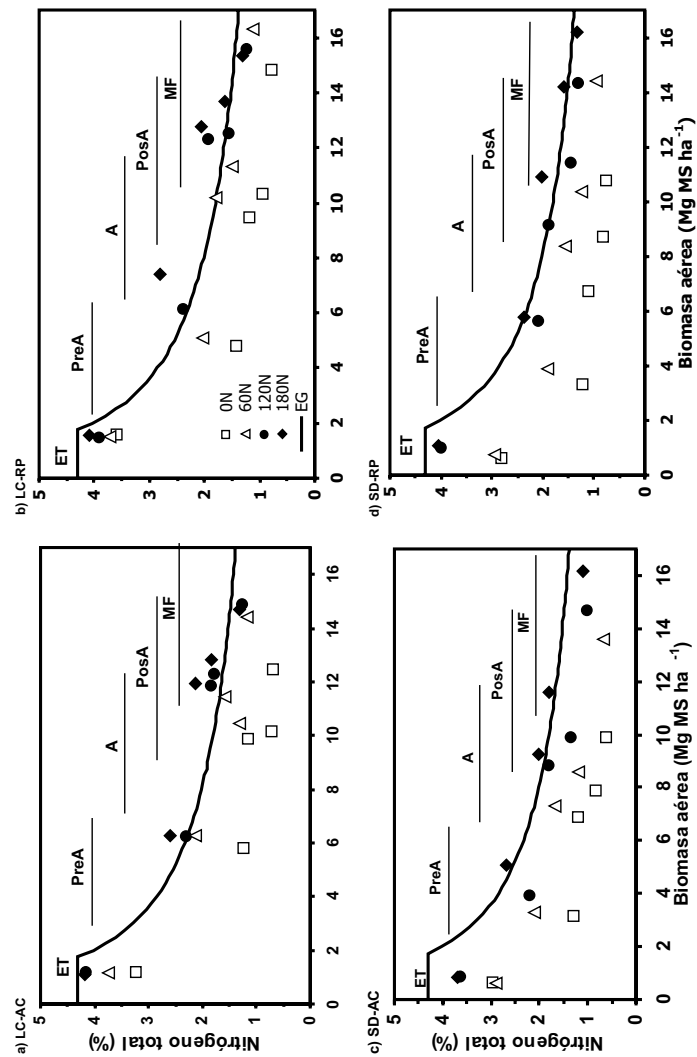


Figura 3. Concentración de N en biomasa aérea en función de la materia seca aérea acumulada entre los estadios de espiguilla terminal y madurez fisiológica del trigo para los sistemas de cultivo a) labranza convencional con agricultura continua (LC-AC), b) labranza convencional con rotación con pasturas (LC-RP), c) siembra directa con agricultura continua (SD-AC) y d) siembra directa con rotación con pasturas (SD-RP) y cuatro dosis de N: 0 (0N), 60 (60N), 120 (120N) y 180 (180N) kg ha⁻¹. La línea representa la ecuación de Greenwood *et al.*, (1990) (EG). ET= espiguilla terminal; PreA= preantesis; A= antesis; PosA= posantesis; MF= madurez fisiológica

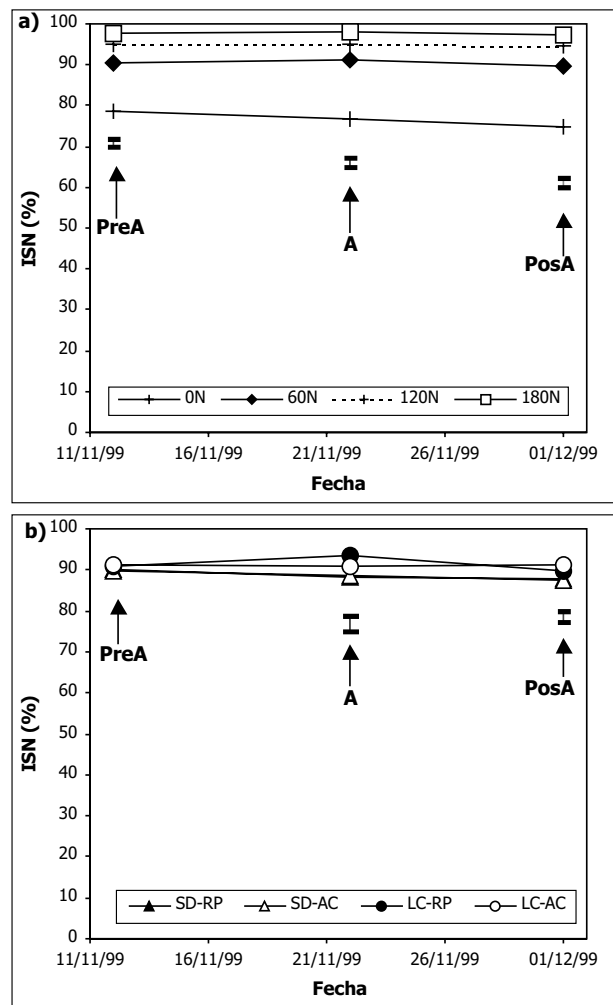


Figura 4. Evolución del índice de suficiencia de N (ISN) del trigo: a) para dosis de N: 0 (0N), 60 (60N), 120 (120N) y 180 (180N) kg ha⁻¹ y b) para sistemas de cultivo: labranza convencional con agricultura continua (LC-AC), b) labranza convencional con rotación con pasturas (LC-RP), c) siembra directa con agricultura continua (SD-AC) y d) siembra directa con rotación con pasturas (SD-RP). Las barras verticales indican DMS_{0,05}. PreA: pre-antesis; A: antesis; PosA: posantesis.

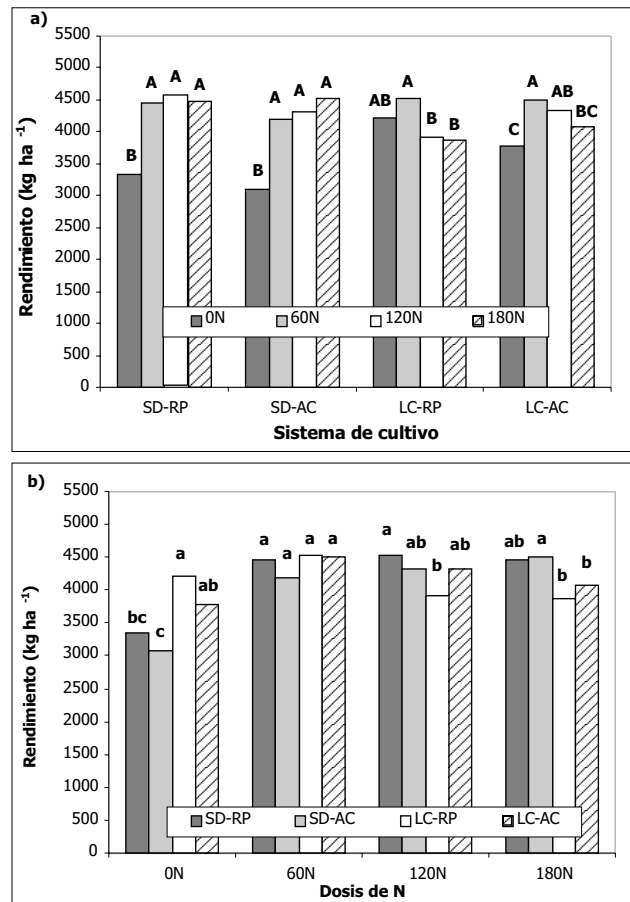


Figura 5. Rendimiento del trigo para: a) dosis de N (0 (0N), 60 (60N), 120 (120N) y 180 (180N) kg ha⁻¹) para cada sistema de cultivo (labranza convencional con agricultura continua (LC-AC), labranza convencional con rotación con pasturas (LC-RP), siembra directa con agricultura continua (SD-AC) y siembra directa con rotación con pasturas (SD-RP)); b) sistemas de cultivo para cada dosis de N. Las barras acompañadas por distintas letras mayúsculas (a) indican diferencias ($P < 0,05$) entre dosis dentro de cada sistema de cultivo ($DMS_{0,05} = 376,2 \text{ kg ha}^{-1}$). Las barras acompañadas por distintas letras minúsculas (b) indican diferencias ($P < 0,05$) entre sistemas de cultivo dentro de cada dosis de N ($DMS_{0,05} = 435,8 \text{ kg ha}^{-1}$).

de dilución, Greenwood, Lemaire, Gosse, Cruz, Draycott y Neetson, 1990). Bajo LC, el N provisto por el suelo no fue suficiente para que el cultivo pudiera expresar todo su potencial. No obstante, si bien el trigo respondió al agregado de N hasta 180N, con dosis cercanas a 60N hubiera sido suficiente para alcanzar la relación ideal. Por otro lado, bajo SD la necesidad de N externo fue mayor ya que en las subparcelas SD-AC con 120N no se alcanzó la relación ideal entre MS y la concentración de Nt, mientras que bajo SD-RP alcanzó para aproximarse a la curva de dilución. La oferta de N por parte del suelo bajo SD fue marcadamente menor, lo que concuerda con lo observado de contenido de N-NO_3^- en el suelo a la siembra (Tabla 2) y en los seudotallos (Tabla 3).

No hubo efecto ($P>0,05$) de la interacción entre SC y FN sobre el ISN en ninguno de los estadios. Se registraron diferencias ($P<0,05$) entre todos los niveles de FN en los tres estadios con el ordenamiento $0\text{N}<60\text{N}<120\text{N}<180\text{N}$ (Figura 4a). Por otra parte, en PreA, los valores de ISN no fueron diferentes ($P>0,05$) entre los sistemas de cultivo, mientras que en A y PosA los sistemas con LC tuvieron mayor ISN ($P<0,05$) que aquéllos bajo SD (Figura 4b), lo que evidencia la diferente capacidad de proveer N debida a ambos sistemas de labranza. Estos resultados confirman lo analizado respecto a la absorción de N (Figura 2c) y a la relación entre la concentración de Nt y la acumulación de MS (Figura 3). Según Varvel, Schepers y Francis (1997), valores de ISN inferiores al 95% indican deficiencia de N. Tal umbral fue alcanzado en PreA por los tratamientos bajo LC con las dosis de 120N y 180N, mientras que bajo SD recién se alcanzó a partir de A y solamente con la dosis de 180N (datos no mostrados). Esto coincide con Falotico *et al.* (1999) y reafirma el hecho de que bajo SD el suelo tiene una menor capacidad para suministrar N para el trigo, aun cuando la fracción de N orgánico sea más elevada (Domínguez, Studdert, Echeverría y Andrade, 2001).

Hubo efecto ($P<0,05$) de la interacción entre SC y FN sobre el rendimiento (Figura 5). Los rendimientos de los tratamientos con 0N, mostraron la diferente capacidad del suelo de proveer N bajo

los distintos SC. El rendimiento bajo SD representó el 80% de aquél bajo LC (Figura 5b). Asimismo, los sistemas de cultivo con RP mostraron mayor rendimiento que aquéllos bajo AC para cada sistema de labranza, lo que se explicaría por las diferencias en N-NO_3^- en el suelo a la siembra (datos no mostrados) (Calviño *et al.*, 2002) y se reflejó en la concentración de N-NO_3^- en seudotallos (Tabla 3) y en la acumulación de MS y de Nt (Figuras 2b y 2d) (Falotico *et al.*, 1999).

Para las condiciones de este ensayo, una dosis de 60N sumada a la oferta de N del suelo, fue suficiente para alcanzar el máximo rendimiento para todos los SC. En los tratamientos bajo SD solamente 0N difirió ($P<0,05$) de las otras dosis, no existiendo diferencias entre ellas (Figura 5a). Sin embargo, bajo LC, 120N y 180N generaron rendimientos menores ($P<0,05$) que con 60N (Figura 5a). La mayor disponibilidad de N generada por las dosis más altas de N aplicadas al cultivo bajo LC, representadas a través de la mayor acumulación de MS, el mayor contenido de Nt (Figuras 2b y 2d) y el mayor ISN (Figura 4b) para esos tratamientos, no se reflejó en el rendimiento. Esto fue aún más marcado para LC-RP. Dicha depresión en los rendimientos (Figura 5a) podría estar indicando un estrés hídrico durante el período crítico y el de llenado de granos, puesto que el mayor índice de área foliar que habría alcanzado el cultivo con tales dosis de N habría provocado un mayor consumo de agua, agotando las reservas disponibles para el llenado de los granos y, debido a las escasas lluvias, no hubo la adecuada provisión de agua. Esto puede haber afectado la definición del tamaño del destino y mermas aún mayores en los rendimientos debidas a problemas en el llenado. Las limitaciones hídricas durante el llenado del grano aceleran la senescencia foliar y reducen la eficiencia de conversión de la radiación interceptada, afectando más el peso de mil granos cuanto mayor sea el número de granos logrados (Abbate, Andrade y Culot, 1994). Los tratamientos bajo SD con 120N y 180N no mostraron la misma depresión de los rendimientos (Figura 5a) posiblemente debido a

que bajo ese sistema de labranza el déficit de agua desde el período crítico del cultivo no haya sido tan importante.

CONCLUSIONES

No hubo evidencias suficientes para rechazar la primera hipótesis debido a que bajo SD y bajo AC hubo menor oferta de N lo que afectó el comportamiento del trigo. Sin embargo, la ocurrencia de déficit hídrico impidió la expresión plena de la respuesta en rendimiento al agregado de N por encima del agregado de 60N. Esto lleva a rechazar parcialmente la segunda hipótesis, dado que la posibilidad de equiparar rendimientos entre sistemas de cultivo con el agregado de N está fuertemente condicionada por la disponibilidad hídrica y el momento de ocurrencia de los déficit.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento al Sr. Oscar Bastarachea, quien colaboró con las tareas de campo y con el procesamiento de las muestras, y al personal del Laboratorio de Suelos, Plantas y Aguas de la UIB. El presente trabajo fue financiado por la Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMdP) con los subsidios a los proyectos de investigación AGR 169/03 y AGR 163/03 y conjuntamente por la UNMdP y la ANPCyT a través del subsidio al proyecto PICTO 08-11352.

BIBLIOGRAFÍA

- ABBATE, P.E.; ANDRADE, F.; CULOT, J.P. 1994. Determinación del rendimiento en trigo. Boletín Técnico N°133. Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce. 17 p.
- ALLMARAS, R.R.; UNGER, P.W.; WILKINS, D.W. 1985. Conservation tillage and soil productivity. En: Follet, R.F.; Stewart, B.A. (Eds.) Soil Erosion and Crop Productivity, Am. Soc. Agron. Inc., Madison, Wisconsin, EEUU. pp. 357-412.
- BREMNER, J.M.; MULVANEY, C. 1982. Nitrogen total. En: Page, A.L et al. (Eds.)

RIA, 33 (3): 55-75, Diciembre 2004. INTA, Argentina

- Methods of soil analysis. Part 2. Agron. Monog. ASA and SSSA, Madison, Wisconsin, EEUU. pp. 595-624
- CALVIÑO, P., ECHEVERRÍA, H.E.; REDOLATTI, M. 2002. Diagnóstico de nitrógeno en trigo con antecesor soja bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 20, pp 36-42.
- CALVIÑO, P.A.; SADRAS, V.O. 2002. On-farm assessment of constraints to wheat yield in the southeastern Pampas. *Field Crops Research* 74, pp 1-11.
- DARWICH, N. 1991. Estado actual y manejo de los recursos naturales en la Región Pampeana Sur. En: Seminario Juicio a Nuestra Agricultura. Hacia el desarrollo de una agricultura sostenible. Actas Seminario Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires, Argentina. 14-15 de noviembre de 1991. Hemisferio Sur, Buenos Aires, Argentina. pp. 51-62.
- DOMÍNGUEZ, G.F.; STUDDERT, G.A.; ECHEVERRÍA, H.E.; ANDRADE, F.H. 2001. Sistemas de cultivo y nutrición nitrogenada en maíz. *Ciencia del Suelo* 19, pp 67-74.
- ECHEVERRÍA, H.E.; FERRARI, J. 1993. Relevamiento de algunas características de los suelos agrícolas del sudeste bonaerense. *Boletín Técnico* N° 112. EEA INTA Balcarce. Balcarce, Buenos Aires, Argentina. p.18.
- FALOTICO, J.; STUDDERT, G.A.; ECHEVERRÍA, H.E. 1999. Nutrición nitrogenada del trigo bajo siembra directa y labranza convencional. *Ciencia del Suelo* 17, pp 9-20.
- GREENWOOD, D.J.; LEMAIRE, G.; GOSSE, G.; CRUZ, P.; DRAYCOTT, A.; NEETSON, J.J. 1990. Decline in percentage N of C3 and C4 crops with increasing plant mass. *Annals of Botany*. 66:425-436.
- JOHNSON, M.D.; LOWERY, B. 1985. Effect of three conservation tillage practices on soil temperature and thermal properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:1547-1552.
- KEENEY, D.R.; NELSON, D.W. 1982. Nitrogen inorganic forms. En: Page, A.L et al. (Eds.) *Methods of soil analysis. Part 2. Agron. Monog. ASA and SSSA, Madison, Wisconsin, EEUU.* pp. 643-698
- PAZOS, A.; VIDELA, C.; ECHEVERRÍA, H.E.; STUDDERT, G.A. 2000. Effect of tillage systems on gross mineralization rates of a typic argiudoll soil (Argentina). En: *Book of Extended Synopses. International Symposium on Nuclear Techniques in Integrated Plant Nutrient, Water and Soil Management. Vienna, Austria, 16-20 October.* pp. 21-22.
- PETERSON, R.F. 1965. Wheat. *Botany, Cultivation and Utilization*. En: Polunin, N. (Ed.), *World Crops Book*. 422 pp.
- REARTE, D.H. 1996. La integración de la ganadería argentina. SAPyA, INTA. Buenos Aires, Argentina. 48 p.
- RICE, C. W.; SMITH, M. S.; BLEVINS, R. L. 1986. Soil nitrogen availability after long-term continuous no-tillage and conventional tillage corn production. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50, pp 1206-1210.
- SARLANGUE, H. 1993. Los rastrojos y la conservación de los suelos. INTA CERBAS, Proyecto PROAS. Información N° 4.
- STRADA, R.A.; ECHEVERRÍA, H.E.; STUDDERT, G.A. 2000. Diagnóstico de la respues-

RIA, 33 (3): 55-75, Diciembre 2004. INTA, Argentina

- ta a la fertilización nitrogenada por medio de la concentración de nitratos en seudotallos de trigo. *Ciencia del Suelo* 18, pp 64-68.
- STUDDERT, G.A.; ECHEVERRIA, H.E. 2000. Maíz, girasol y soja en los sistemas de cultivo del sudeste bonaerense. En: Andrade, F.H.; Sadras, V. (Eds.) Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. INTA– Fac. Ciencias Agrarias (UNMP). Advanta Semillas SAIC. Balcarce, Buenos Aires, Argentina. pp. 407-437.
- STUDDERT, G.A.; ECHEVERRIA, H.E.; CASANOVAS, E.M. 1997. Crop-pasture rotation for sustaining the quality and productivity of a typic argiudoll. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61, pp 1466-1472.
- STUDDERT, G. A.; RIZZALLI, R. y BERARDO, A. 1994. Labranzas conservacionistas para producción de trigo sobre distintos antecesores en Balcarce. En: Actas II Congreso Nacional de Trigo y I Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño Invernal. Bahía Blanca, Argentina. 26-28 de octubre de 1994. pp. 97-98.
- TRAVASSO, M.I.; SUERO, E.E. 1994. Estimación de la capacidad de almacenaje de agua en suelos del sudeste bonaerense. Boletín técnico N° 125. Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce. 9 p.
- VARVEL, G.E.; SCHEPERS, J.S.; FRANCIS, D.D. 1997. Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll-meters. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61, pp 1233-1239.

Original recibido el 15 de abril de 2004