

NUTRICION NITROGENADA DEL TRIGO BAJO SIEMBRA DIRECTA Y LABRANZA CONVENCIONAL

J L FALOTICO, G A STUDDERT, H E ECHEVERRÍA.

Unidad Integrada FCA-INTA Balcarce, CC 276 (7620) Balcarce, Buenos Aires, Argentina

SPRING WHEAT NITROGEN NUTRITION UNDER CONVENTIONAL AND NO TILLAGE

No-till (SD) spring wheat (*Triticum aestivum* L) in the southeastern Buenos Aires Province has become very important in the last years. This tillage system cause different soil-plant-environment relationships than those associated to conventional tillage (LC). Our objective was to evaluate the behavior of spring wheat under SD and LC at Balcarce, Argentina (37° 45' S; 58° 18' W) on a soil that had been under continuous cropping for 20 yr and under SD for only 3 yr. The experiment was carried out during the 1996/97 growing season with a randomized complete block experimental design and a split-plot treatment arrangement. Tillage system (SD and LC) was assigned to the main plots and nitrogen rate (0, 60, 120, and 180 kg N ha⁻¹) was assigned to the sub-plots. There were no statistical differences in NO₃-N and soil water contents between tillage systems, although NO₃-N was higher under LC and water content, was higher under SD. Mechanical impedance was also higher under SD and could have affected initial crop growth. Light interception, aboveground biomass and total nitrogen accumulated were higher under LC, but differences were reduced when nitrogen fertilizer was applied. Stem NO₃-N and leaf chlorophyll contents indicated greater nitrogen deficiency under SD. Grain yield was relatively low for both tillage systems and the yield obtained under SD was 92% of that under LC. Besides, grain protein content was also higher under LC. These results were attributed to the lower soil nitrogen supply ability under SD confirmed by a lower estimated mineralized nitrogen along the crop growing season. Nitrogen fertilization diminished differences in crop growing and yield between tillage systems.

Key words: wheat, nitrogen nutrition, conventional tillage, no tillage, continuous cropping.

INTRODUCCION

En los últimos años, los suelos dedicados a la agricultura del sudeste de la provincia de Buenos Aires han sufrido el incremento de los procesos de erosión y de degradación de sus propiedades físicas y químicas. Las razones causantes de este fenómeno pueden haber sido, entre otras, la intensificación de su uso agrícola, la realización de labranzas más agresivas, las pendientes que caracterizan al relieve de la región y la escasa reposición de nutrientes (Elverdín *et al.* 1993). Una de las alternativas disponibles para reducir o evitar los efectos negativos sobre las propiedades del suelo es la adopción de sistemas de labranza conservacionista como la siembra directa (SD) o la labranza mínima. Estos sistemas de labranza tienden a restituir las buenas condiciones estructurales del suelo (Larney, Kladvik 1989).

La falta de laboreo y la cobertura con rastrojos del cultivo antecesor bajo SD provoca

relaciones suelo-planta-ambiente distintas a las que se generan bajo labranza convencional (LC), lo que trae aparejada la necesidad de un ajuste del manejo de los cultivos (Allmaras *et al.* 1985). Bajo SD se pueden observar incrementos en el contenido de agua (Dao 1993) y disminuciones de la temperatura (Johnson, Lowery 1985) del suelo, como así también incrementos en la resistencia mecánica a la penetración (RM) que ofrece el suelo en la zona de las raíces (Chagas *et al.* 1994). En el Sudeste Bonaerense se han encontrado diferencias en la RM de suelos sometidos a agricultura continua con LC y SD, siendo más elevados bajo este último sistema de labranza (Ferrerías 1996). Sin embargo, la principal característica que se observa en los primeros años de implementada la SD, es la reducción de la disponibilidad de nitrógeno inorgánico (Lamb *et al.* 1985) provocada por la menor temperatura y por la presencia de una mayor fuente de carbono en la superficie del mismo, que causarían menores tasas de

mineralización y una intensa inmovilización, respectivamente (Fox, Bandel 1986). Asimismo, la SD se asocia con mayores potenciales de desnitrificación (Rice *et al.* 1986) y de lavado (Fox, Bandel 1986) de nitrógeno.

Los cultivos bajo SD requieren frecuentemente mayores dosis de nitrógeno para alcanzar los máximos rendimientos (Knowles *et al.* 1993). Por otro lado, en la localidad de Balcarce, Argentina, y sobre suelos con una prolongada historia de agricultura muy intensiva, Bergh (1997) observó menor acumulación de materia seca y absorción de nitrógeno en trigo bajo SD, lo que se asoció con una menor intercepción de la radiación incidente. Este comportamiento fue atribuido principalmente a una menor disponibilidad de nitrógeno mineral bajo SD y también una mayor RM (Ferrerías 1996). Sin embargo, Bergh (1997) destacó que las diferencias observadas entre sistemas de labranza disminuyeron durante el ciclo del cultivo. Por otra parte, la fertilización nitrogenada permitió reducir las diferencias en crecimiento y rendimiento entre sistemas de labranza, poniendo en evidencia que la disponibilidad de nitrógeno es el factor limitante más importante en cultivos de trigo bajo SD, a pesar de la aparente degradación física del suelo (Bergh 1997).

La importancia del cultivo de trigo, el deterioro de las propiedades bioquímicas de los suelos asociado a la intensificación de la agricultura y la creciente adopción de la SD en el sudeste de la Provincia de Buenos Aires, hacen necesario ahondar en el estudio del comportamiento de aquel cultivo, bajo distintos sistemas de labranza, luego de un uso agrícola prolongado del suelo. Para suelos de Balcarce bajo tales condiciones de manejo, se plantean como hipótesis que el crecimiento y desarrollo del cultivo de trigo bajo SD está condicionado principalmente por la limitación en el suministro de nitrógeno por el suelo. Los objetivos fueron caracterizar la nutrición nitrogenada y la disponibilidad de nitrógeno del suelo, la disponibilidad hídrica y parámetros físicos de suelo para un cultivo de trigo bajo SD y LC, con diferentes dosis de fertilización nitrogenada.

MATERIALES Y METODOS

La experiencia se desarrolló durante la campaña agrícola 1996/1997 en la EEA INTA Balcarce (37° 45' S; 58° 18' W) en un ensayo iniciado en 1976. El suelo es un complejo de Argiudol Típico fino, mixto, térmico y Paleudol Petrocálcico, fino, ilítico, térmico con 2% de pendiente, textura superficial franca y contenido de materia orgánica al inicio del ensayo de aproximadamente 7%.

Se utilizó un diseño experimental en bloques completos aleatorizados con arreglo de tratamientos en parcelas divididas con tres repeticiones. Los factores de tratamiento evaluados fueron sistema de labranza (SD y LC) (asignado a las parcelas principales, 700 m²) y dosis de N: 0, 60, 120 y 180 kg N ha⁻¹ (0N, 60N, 120N y 180N, respectivamente) (asignado a las subparcelas, 175 m²). Las parcelas principales habían estado bajo agricultura continuada con LC desde 1976 y hasta la campaña 1993/1994. A partir de la campaña 1994/1995 se pasó a la SD una de las dos parcelas principales, mientras que la otra siguió bajo LC. Los cultivos realizados en 1994/1995 y 1995/1996 fueron maíz y soja, respectivamente.

La cosecha del cultivo antecesor (soja) se efectuó el 14/5/96. El barbecho de las parcelas bajo LC se inició el 27/5/96 mediante la utilización de arado de rejas, rastra de discos y vibrocultivador. En las parcelas bajo SD se inició el barbecho químico el 24/5/96 mediante la aplicación de glifosato más metsulfurón metil y dicamba. Antes de la siembra, en las parcelas de SD se realizó otra aplicación de glifosato más 2,4-D y dicamba. Para la siembra (18/7/96) se utilizó una sembradora Semeato (15,6 cm entre surcos). La variedad utilizada fue PROINTA Oasis, a una densidad de 360 semillas m⁻². Se aplicaron 20 kg P ha⁻¹ como superfosfato triple de calcio. Al momento de la siembra también se aplicó urea al voleo, a razón de 60 kg N ha⁻¹ en las subparcelas 120N y 180N. El resto del nitrógeno en las subparcelas 120N y 180N, y la totalidad del nitrógeno en la subparcela 60N, se aplicaron al voleo al estadio de espiguilla terminal (ET) (estadio 30, según Zadoks *et al.* 1974).

En ET se determinó la concentración de nitratos en seudotallos por colorimetría (Keeney, Nelson 1982). Cada muestra estuvo compuesta por no menos de 40 seudotallos tomados al azar. Los muestreos se efectuaron antes de las 10 de la mañana, eliminando en el campo las láminas y raíces. Las muestras se secaron en estufa a 60 °C y se molieron hasta pasar por malla de 0,84 mm.

En el estadio pre-antesis (PRA) (estadio 49, Zadoks *et al.* 1974) se midió el porcentaje de la radiación interceptada por el cultivo con un sensor de radiación en línea Li-Cor 191 SB (LICOR,

EEUU) conectado a un radiómetro Li-Cor 188 B. Se midió la radiación incidente por encima del cultivo (I_0) (una por subparcela) e inmediatamente la radiación al nivel del suelo (I) (cinco por subparcela). Cuando se observó senescencia foliar, el sensor se ubicó por encima de las hojas muertas. El porcentaje de la radiación interceptada se calculó en forma relativa a la I_0 .

Se efectuaron mediciones del índice de verdor en hojas con un medidor MINOLTA® SPAD 502 (Minolta, Japón). Los momentos de lectura fueron: PRA, anthesis (A) y pos-anthesis (POA) (estadio 73, Zadoks *et al.* 1974). El índice resultó del promedio de 30 lecturas por subparcela. Se calculó el índice de suficiencia de nitrógeno (ISN, relación porcentual entre el índice de verdor del cultivo problema y el correspondiente a un cultivo sin deficiencia de N) (Varvel *et al.* 1997), considerando como no deficiente en nitrógeno al tratamiento de 180N bajo LC.

Durante el ciclo del cultivo se llevaron a cabo muestreos de plantas en los momentos ET, PRA, A, POA y madurez fisiológica (MF) (estadio 90, Zadoks *et al.* 1974). Se cortó la biomasa aérea a nivel del suelo de tres surcos al azar, de 1 m de longitud (0,468 m²), se secó en estufa y una fracción se molió hasta pasar por malla de 0,84 mm. Se determinó el nitrógeno total en planta y en granos a cosecha por el método Micro Kjeldahl (Bremner, Mulvaney 1982).

En el estadio de MF se efectuaron cinco recuentos al azar de 1 m lineal por subparcela, para determinar el número de espigas por m². Las espigas de las muestras de plantas colectadas en ese estadio se trillaron y ventearon cuidadosamente para calcular el número de granos por espiga y el peso de los 1000 granos. El rendimiento fue determinado mediante cosecha mecánica (30 de diciembre) de dos franjas de entre 27,4 y 32,7 m² por subparcela. Se determinó el contenido de humedad en cada muestra de grano cosechado y se ajustó el rendimiento a 14% de humedad.

Se determinó el contenido de N-NO₃ del suelo al momento de la siembra y de la cosecha, por colorimetría (Keeney, Nelson 1982). Los muestreos se realizaron recolectando al azar 15 submuestras para las profundidades 0-5, 5-20 y 20-40 cm y 3 submuestras para las profundidades 40-70 y 70-100 cm por subparcela. La densidad aparente se midió hasta los 20 cm de profundidad (método del anillo modificado) y se estimó para el resto de las profundidades (E. Suero, comunicación personal).

Se determinó el contenido de agua del suelo a intervalos de 10 días sólo en las subparcelas 0N y 180N, en las capas de 0-5 y 5-20 cm, por el método gravimétrico, y en las capas 20-40, 40-60, 60-80 y 80-100 cm por el método de atenuación de

neutrones, utilizando una sonda Troxler 4302 (Troxler Electronics Laboratories, Inc, EEUU). Se realizaron también mediciones de RM luego de la siembra y de la cosecha, cada 20 cm horizontales a 0, 5, 10, 15, 20, 30 y 40 cm de profundidad, a lo largo de dos transversales a las líneas de siembra de 2 m de largo por parcela (total, 22 determinaciones por parcela para cada profundidad). Se utilizó un penetrómetro de cono (cono de 30°, A.S.A.E. Standard S313) con elemento sensible de anillo (Soiltest, EEUU).

Con los datos de nitrógeno disponible a la siembra hasta 100 cm de profundidad (NI), el nitrógeno total absorbido por el cultivo en la parte aérea en MF (NPL), el nitrógeno aplicado (NFER) y el nitrógeno disponible hasta 100 cm de profundidad a la cosecha del cultivo (NF), se estimó un balance con el objetivo de interpretar la dinámica de este nutriente durante el ciclo del cultivo. El balance de nitrógeno se calculó a partir de la siguiente fórmula (Meisinger 1984)

$$NF + NPL - NI - NFER = NMIN - NPE \quad (1)$$

donde NMIN es el nitrógeno mineralizado y NPE es el nitrógeno perdido, durante el ciclo del cultivo. Todas las fracciones se expresaron como kg N ha⁻¹. Se asumió que las pérdidas de nitrógeno en los tratamientos 0N fueron pequeñas (Videla 1994, Picone, Videla, 1998) y, por lo tanto, la diferencia en el balance es debida al NMIN (Rice, Havlin 1994). El valor fue asumido como el NMIN para los otros tratamientos de fertilización y, por despeje, se estimó el NPE para cada uno de ellos.

Se realizaron análisis de varianza y de correlación. Para comparar la media de los tratamientos se utilizó el método de la diferencia mínima significativa sólo cuando el análisis de varianza indicó diferencias significativas.

RESULTADOS Y DISCUSION

Las precipitaciones registradas durante el período considerado superaron al promedio histórico en 19%. Las mayores diferencias se produjeron en los meses de agosto, octubre y noviembre. La campaña bajo estudio se caracterizó también por una baja radiación incidente durante el período entre encañazón y A (octubre) y durante la etapa de llenado de granos (diciembre), respecto a los valores históricos (1,7 MJ m² d⁻¹ y 1,9 MJ m² d⁻¹ menos, respectivamente). La temperatura media observada entre julio y diciembre fue 0,95 °C superior al promedio histórico. Las mayores diferencias se observaron en los meses de agosto, octubre y noviembre.

No se registraron diferencias (P>0,05) entre tratamientos en el contenido de agua del

suelo en las capas 0-5, 5-20 y 20-40 cm, durante todo el ciclo del cultivo, posiblemente debido a que las precipitaciones registradas antes y durante el mismo fueron abundantes. A pesar de esto, el contenido de agua hasta 100 cm de profundidad bajo SD fue aproximadamente 10% mayor que bajo LC durante todo el ciclo. Según Dao (1993), la SD incrementa la disponibilidad de agua para los cultivos, aunque la diferencia no siempre sea significativa.

No se detectaron diferencias ($P > 0,05$) entre tratamientos, antes de la siembra, en el contenido de $N-NO_3^-$ del suelo hasta 100 cm de profundidad. No obstante, las parcelas bajo LC presentaron un mayor contenido ($66,1 \text{ kg ha}^{-1}$ y $53,8 \text{ kg ha}^{-1}$ para LC y SD, respectivamente), siendo la diferencia más pronunciada en los primeros 40 cm. El menor contenido bajo SD puede ser atribuido a una menor mineralización neta durante el barbecho (Rice *et al.* 1987).

En la Figura 1 se presentan los perfiles de RM luego de la siembra y de la cosecha del cultivo de trigo. La RM fue más alta ($P < 0,05$) en las capas de 0-5, 5-10, 10-15 y 15-20 cm a la siembra, y de 0-5, 5-10 y 10-15 cm a la

cosecha. En ambos momentos evaluados, y para ambos sistemas de labranza, el contenido de agua del suelo fue cercano a capacidad de campo (datos no mostrados). Esto permite suponer que las diferencias de RM observadas entre los dos sistemas de labranza y entre los momentos analizados fueron causadas por aquéllos. Resultados similares fueron reportados por Ferreras (1996).

En la Figura 2 se presenta la acumulación de materia seca en la biomasa aérea a lo largo del ciclo del cultivo. El crecimiento bajo LC superó al registrado bajo SD durante todo el período, pero las diferencias sólo fueron significativas ($P < 0,05$) en los muestreos de ET, PRA, MF (Figura 2a), y en A a las dosis 0N, 60N y 180N (resultados no mostrados). Las mayores diferencias se observaron en el muestreo de ET donde el crecimiento bajo SD representó el 59% del registrado bajo LC. El menor crecimiento inicial podría estar asociado a la mayor RM bajo SD a la siembra (Figura 1a) tal y como reportaron Cornish y Limbery (1987). Se han informado valores medios de entre 0,9 y 1,3 MPa de máxima presión que pueden ejercer las raíces de plántulas de un amplio rango de

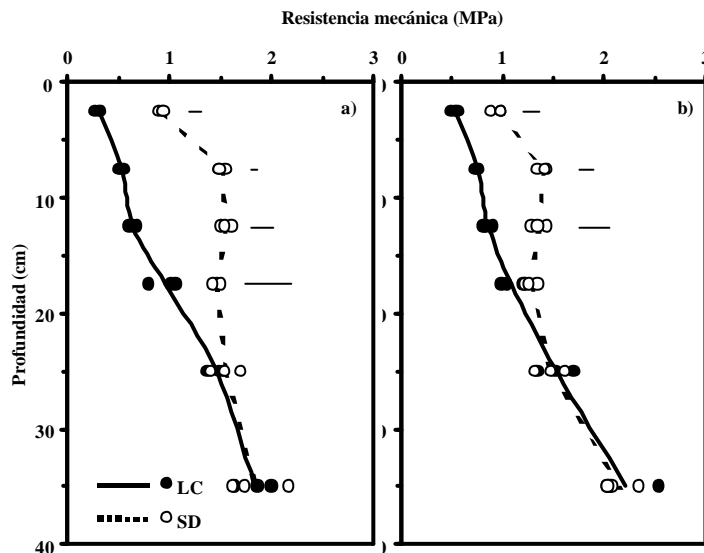


Figura 1. Resistencia mecánica a la penetración medida hasta los 40 cm de profundidad a la siembra (a) y a la cosecha (b) del cultivo de trigo bajo siembra directa (SD) y labranza convencional (LC). Las barras horizontales representan la diferencia mínima significativa ($P < 0,05$).

Figure 1. Soil mechanical impedance up to 40 cm depth at drilling (a) and at harvest (b) under no-tillage (SD) and conventional tillage (LC). Horizontal bars represent the least significance difference ($P < 0.05$).

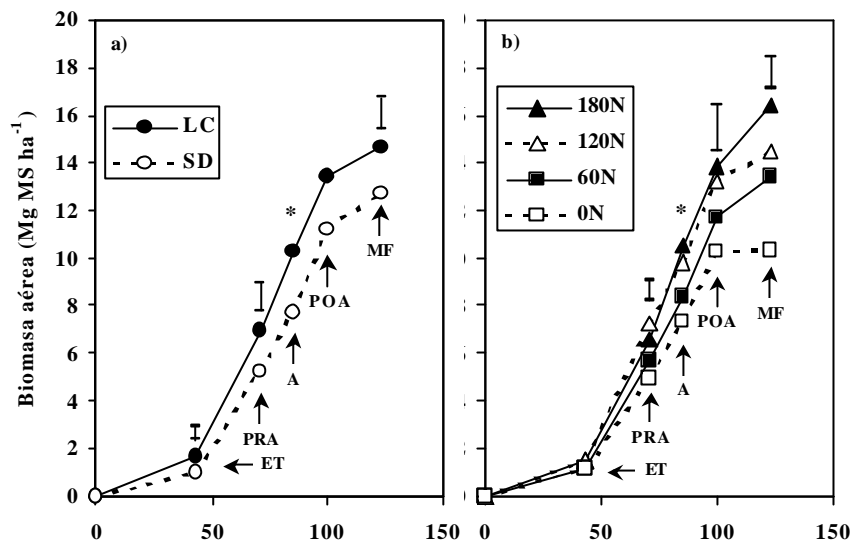


Figura 2. Acumulación de materia seca en la biomasa aérea del cultivo de trigo para dos sistemas de labranza (a) (LC: labranza convencional; SD: siembra directa) y cuatro dosis de N (b) (0N: 0 kg N ha⁻¹; 60N: 60 kg N ha⁻¹; 120N: 120 kg N ha⁻¹; 180N: 180 kg N ha⁻¹). ET: espiguilla terminal; PRA: pre-anthesis; A: antesis; POA: post-anthesis; MF: madurez fisiológica. Las barras representan la diferencia mínima significativa ($P < 0,05$) y el asterisco indica la existencia de interacción significativa ($P < 0,05$) entre dosis de N y sistema de labranza.

Figure 2. Aboveground wheat dry matter accumulation under two tillage systems (a) (LC: conventional tillage, SD: no-tillage) and four N rates (b) (0N: 0 kg N ha⁻¹, 60N: 60 kg N ha⁻¹, 120N: 120 kg N ha⁻¹, 180N: 180 kg N ha⁻¹). ET: terminal spikelet, PRA: pre-anthesis, A: anthesis, POA: post-anthesis, MF: physiological maturity. The bars represent the least significant difference ($P < 0,05$) and the asterisk indicates significant interaction ($P < 0,05$) between tillage system and N rate.

especies vegetales en crecimiento (Eavis *et al.* citados por Whiteley *et al.* 1981). Valores cercanos y también superiores a este umbral se observaron a la siembra en el tratamiento SD, para los primeros 20 cm de profundidad. En el tratamiento de LC la RM sólo fue superior a aquellos umbrales, a partir de los 20 cm de profundidad, aproximadamente.

No hubo diferencias ($P > 0,05$) entre sistemas de labranza en la tasa de crecimiento del cultivo entre ET y POA, aunque aquella fue menor bajo SD (205 y 179 kg MS ha⁻¹ d⁻¹), y las diferencias en acumulación de materia seca en la biomasa aérea en estadios más avanzados fueron menores, alcanzando la SD el 87% del crecimiento observado bajo LC en MF (Figura 2a). El crecimiento en longitud de las raíces de un cultivo ya desarrollado puede verse seriamente afectado cuando la presión que deben ejercer las raíces para vencer la dureza del suelo es superior a 2,0-2,5 MPa (Grant, Lafond 1993). En la Figura 1 se puede observar que la RM alcanzó un

valor cercano a 2,0 MPa a aproximadamente 35 cm de profundidad, y estuvo por debajo de aquellos valores hasta aproximadamente los 30 cm de profundidad, en ambos sistemas de labranza. Esto indicaría que la RM no habría provocado diferencias entre sistemas de labranza en el crecimiento en longitud de las raíces, por encima de los 30 cm de suelo. Sin embargo, por debajo de la profundidad de laboreo en LC y en todo el perfil bajo SD, la estructura de biocanales se mantiene sin modificaciones, lo que permitiría el crecimiento de las raíces sin limitaciones, independientemente de los valores de RM (Martino, Shaykewich 1994).

Las tasas de crecimiento del cultivo variaron ($P < 0,05$) en función del agregado de nitrógeno (160; 185; 206 y 217 kg MS ha⁻¹ d⁻¹ para 0N, 60N, 120N y 180N, respectivamente), lo que se reflejó en diferencias ($P < 0,05$) en la acumulación de materia seca en estadios avanzados del ciclo del cultivo (Figura 2b). No obstante, a pesar

de que no hubo interacción ($P > 0,05$) entre sistema de labranza y dosis de N, las diferencias entre LC y SD en tasa de crecimiento y en materia seca acumulada a favor de LC fueron inversamente proporcionales a las dosis de nitrógeno (58,3; 25,9; 10,7 y 9,6 kg MS ha⁻¹ d⁻¹ y 4,2; 2,3; 1,1 y 1,1 Mg MS ha⁻¹ en POA para 0N, 60N, 120N y 180N, respectivamente). Estas tendencias se manifestaron en una interacción ($P < 0,05$) entre los dos factores de tratamiento en el porcentaje de intercepción de la I_0 al comienzo (PRA) del período crítico del cultivo. Si el cultivo no logra interceptar el 95% de la I_0 durante esa etapa, se deben esperar rendimientos menores que el potencial (Abbate *et al.* 1994). En PRA el porcentaje de intercepción de la radiación fue menor bajo

SD para todos los niveles de fertilización, excepto con 180N, aunque la diferencia fue significativa ($P < 0,05$) sólo en los testigos (63,1 y 80,5% de intercepción para SD y LC, respectivamente). Solamente los tratamientos con 120N bajo LC, y 180N bajo LC y SD lograron interceptar un porcentaje cercano al 95% de la I_0 en el estadio de PRA (92,2-92,9%). En el resto de los tratamientos la intercepción de I_0 en PRA fue menor que el 90%.

Echeverría y Studdert (1996) definieron una concentración de $N-NO_3^-$ en los seudotallos en ET de 1,41 g kg⁻¹ como umbral de suficiencia de nitrógeno. Para las dos situaciones de fertilización nitrogenada a la siembra, la concentración de $N-NO_3^-$ en los seudotallos de trigo en ET fue mayor ($P < 0,05$)

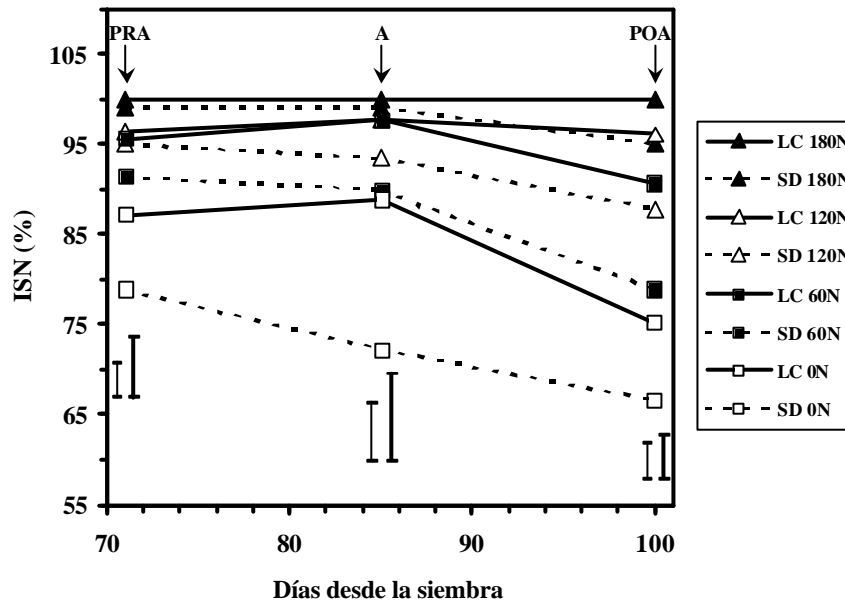


Figura 3. Variación del índice de suficiencia de N (ISN) del cultivo de trigo durante el período crítico (PRA: pre-anthesis; A: anthesis; POA: post-anthesis) para dos sistemas de labranza y cuatro dosis de N (LC: labranza convencional; SD: siembra directa; 0N: 0 kg N ha⁻¹; 60N: 60 kg N ha⁻¹; 120N: 120 kg N ha⁻¹; 180N: 180 kg N ha⁻¹). La barra fina es la diferencia mínima significativa ($P < 0,05$ para PRA y A y $P < 0,10$ para POA) para las comparaciones entre dosis de N para cada sistema de labranza y la barra gruesa es la diferencia mínima significativa ($P < 0,05$ para PRA y A y $P < 0,10$ para POA) para las comparaciones entre sistemas de labranza para cada dosis de N y para las comparaciones cruzadas.

Figure 3. Nitrogen sufficiency index (ISN) changes along the critical period (PRA: pre-anthesis; A: anthesis; POA: post-anthesis) of a wheat crop under two tillage systems (LC: conventional tillage, SD: no-tillage) and four N rates (0N: 0 kg N ha⁻¹, 60N: 60 kg N ha⁻¹, 120N: 120 kg N ha⁻¹, 180N: 180 kg N ha⁻¹). The thin bar is the least significant difference ($P < 0,05$ for PRA and A, and $P < 0,10$ for POA) for the comparisons among N rates within each tillage system. The gross bar is the least significant difference ($P < 0,05$ for PRA and A, and $P < 0,10$ for POA) for the comparisons between tillage systems within each N rate and for the crossed comparisons.

bajo LC (4,10 y 1,73 g kg⁻¹ para 60N y 0N, respectivamente) que bajo SD (1,45 y 0,73 g kg⁻¹ para 60N y 0N, respectivamente). Este último valor se ubica por debajo de aquél definido por Echeverría y Studdert (1996) para lograr el 75% del rendimiento máximo (0,84 g kg⁻¹). La menor concentración de N-NO₃ en seudotallos bajo SD sugiere una probable mayor respuesta en rendimiento al agregado de nitrógeno.

Varvel *et al.* (1997), trabajando con maíz, determinaron que valores de ISN menores que 95%, indicarían una deficiencia de N en el cultivo. Así, las deficiencias más severas se observaron en las subparcelas sin agregado de nitrógeno bajo LC y SD, siendo los ISN menores ($P < 0,05$ para PRA y A, y $P < 0,10$ para POA) bajo SD en los tres momentos de medición (Figura 3). Bajo LC, el agregado de 60 kg N ha⁻¹ permitió corregir las deficiencias de nitrógeno. Esto no fue así bajo SD, en que se necesitó del agregado de 120 kg N ha⁻¹ para que el ISN no indicara deficiencias de este nutriente, aunque las diferencias en PRA y A entre sistemas de labranza para 60N y entre 60N y 120N para SD no fueron significativas ($P < 0,05$) (Figura 3).

La curva de dilución de nitrógeno representa la concentración crítica de nitrógeno para permitir la máxima tasa de crecimiento (Justes *et al.* 1994) y los puntos que se encuentren por debajo de la misma representan situaciones de deficiencia de N. Bajo LC, sólo los puntos correspondientes al testigo se presentan levemente por debajo de la curva de dilución (Figura 4a), mientras que bajo SD, los puntos correspondientes a 0N se encuentran muy por debajo de aquélla (Figura 4b). Cabe destacar que los tratamientos que recibieron 60 kg N ha⁻¹ a la siembra (120N y 180N) bajo LC presentaron valores de concentración coincidentes con la crítica en los primeros estadios de crecimiento (Figura 4a). La fertilización nitrogenada con 60N a la siembra bajo SD, no fue suficiente para lograr la concentración crítica de nitrógeno (puntos correspondientes a ET en Figura 4b), lo que concuerda con que la concentración de N-NO₃ en seudotallos no llegó a igualar a la del tratamiento LC sin fertilización. Esto sugiere que la mayor RM a la siembra (Figura 1a),

habría afectado también la capacidad de cultivo para absorber nitrógeno bajo SD. Por otro lado, el agregado de 60 kg N ha⁻¹ en ET mejoró la nutrición nitrogenada del cultivo bajo SD, pero no alcanzó la concentración crítica de nitrógeno en los tejidos del trigo (puntos correspondientes a PRA y A en Figura 4b). Esto coincide con los resultados de ISN obtenidos a través de la medición del índice de verdor (Figura 3).

Las diferencias en acumulación de materia seca (Figura 2) y en concentración de nitrógeno total (Figura 4), se tradujeron en acumulaciones totales de nitrógeno diferenciales entre sistemas de labranza y fertilización nitrogenada (Figura 5). No se detectó interacción ($P > 0,05$) entre factores de tratamiento, en ninguno de los momentos de muestreo. Sí se observaron diferencias ($P < 0,10$ en PRA y $P < 0,05$ para el resto de los momentos) debidas al sistema de labranza, ya que la LC presentó mayores niveles de nitrógeno acumulado (Figura 5a). Las mayores diferencias se produjeron en ET, momento en que el cultivo bajo SD había acumulado el 55% del nitrógeno total acumulado bajo LC. Esta diferencia se redujo a medida que avanzó el ciclo del cultivo, habiendo alcanzado el cultivo bajo SD un 75% del nitrógeno acumulado bajo LC en MF. El nitrógeno total acumulado se incrementó ($P < 0,05$) en todos los momentos de muestreo, en función del aumento de las dosis de nitrógeno (Figura 5b).

En general, los rendimientos fueron bajos a pesar de que la disponibilidad hídrica no haya sido un factor limitante (Tabla 1). Este comportamiento se debería, a la baja radiación fotosintéticamente activa incidente durante los períodos de encañazón y de llenado de granos y a la mayor temperatura media durante este último período. Una menor radiación incidente durante el crecimiento de las espigas se puede asociar con menores tasas de crecimiento de las mismas y las altas temperaturas reducen, en mayor medida, la duración del período de llenado de granos y, por lo tanto, el peso final de los mismos (Abbate *et al.* 1994).

Los sistemas de labranza no generaron diferencias ($P > 0,05$) en rendimiento, independientemente de la dosis de nitrógeno (Tabla 1), aunque los mayores rendimientos

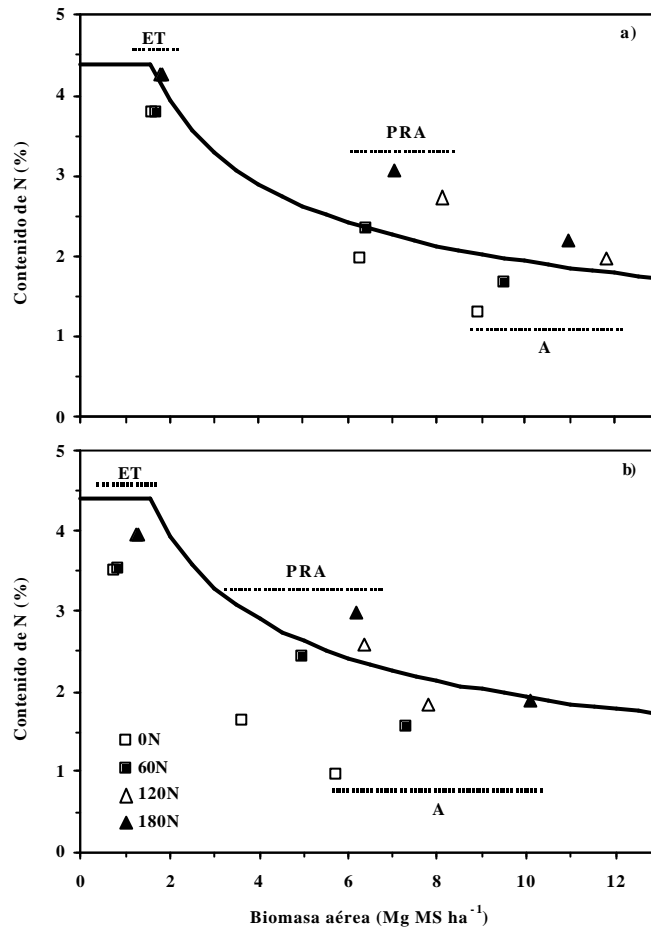


Figura 4. Concentración de N en la biomasa aérea del cultivo de trigo en función de la materia seca acumulada entre los estadios de espiguilla terminal y antesis bajo labranza convencional (a) y siembra directa (b) para cuatro dosis de N (0N: 0 kg N ha⁻¹; 60N: 60 kg N ha⁻¹; 120N: 120 kg N ha⁻¹; 180N: 180 kg N ha⁻¹). La curva de dilución de N es la propuesta por Justes *et al.* (1994) para trigos de invierno (%N = 5,35 * (kg MS ha⁻¹)^{-0,445}). ET: espiguilla terminal; PRA: pre-antesis; A: antesis.

Figure 4. Nitrogen concentration in the wheat aboveground biomass as a function of the accumulated dry matter (DM) at terminal spikelet (ET), pre-anthesis (PRA), and anthesis (A) stages under conventional tillage (a) and no-tillage (b) for four N rates (0N: 0 kg N ha⁻¹, 60N: 60 kg N ha⁻¹, 120N: 120 kg N ha⁻¹, 180N: 180 kg N ha⁻¹). The dilution curve had been proposed by Justes *et al.* (1994) for winter wheat (%N = 5,35 * (kg DM ha⁻¹)^{-0,455}).

se determinaron bajo LC. El rendimiento se asoció más con el número de granos por unidad de superficie ($r=0,55$; $P<0,01$) que con el peso de los mismos ($r=-0,11$; $P>0,05$). Por otra parte, el rendimiento se incrementó significativamente con el agregado de nitrógeno, ya que los tratamientos testigo difirieron de todos los tratamientos fertilizados, independientemente de la cantidad de nitrógeno agregado (Tabla 1).

Similar comportamiento se observó en el número de granos por unidad de superficie, que presentó diferencias ($P<0,05$) entre todas las dosis de nitrógeno (Tabla 1). El peso de mil granos fue afectado negativamente ($P<0,05$) por el agregado de N. El menor peso se detectó en los tratamientos con 180 kg N ha⁻¹, los cuales difirieron de los pesos registrados en los tratamientos testigo y con 120 kg N ha⁻¹ (Tabla 1). Por otra parte, el

número de espigas logradas por unidad de superficie fue afectada ($P < 0,05$) por la interacción entre sistema de labranza y dosis de nitrógeno (Tabla 1). En general, no se observaron diferencias entre sistemas de labranza para cada dosis, excepto con el agregado de 120 kg N ha^{-1} .

Los mayores rendimientos se registraron en las subparcelas con 120 kg N ha^{-1} , independientemente del sistema de labranza. A pesar de que la interacción sistema de labranza por dosis de nitrógeno no fue significativa, las subparcelas fertilizadas bajo SD presentaron una mayor respuesta a la fertilización nitrogenada, aunque esto no permitió alcanzar los rendimientos obtenidos bajo LC. El agregado de 60 kg N ha^{-1} para SD produjo un incremento del rendimiento de 1180 kg ha^{-1} , mientras que para LC el incremento del rendimiento con respecto al testigo, fue de sólo 822 kg ha^{-1} . La aplicación de 120 kg N ha^{-1} incrementó el rendimiento en 1420 y 942 kg ha^{-1} bajo SD y LC, respectivamente. Estos resultados coinciden con lo reportado

por Bergh (1997).

El menor rendimiento registrado en el tratamiento testigo de SD y la disminución de las diferencias en el rendimiento entre SD y LC provocada por la mayor respuesta a la fertilización nitrogenada bajo el primero, sugieren que el principal efecto de los sistemas de labranza sobre el rendimiento operó a través de la disponibilidad de N. Las diferencias en el contenido de N-NO_3^- a la siembra y las evidencias aportadas por el resto de los indicadores de cultivo analizados (concentración de N-NO_3^- en seudotallos, ISN, concentración de nitrógeno total), contribuyen a apoyar esta idea poniendo en evidencia una menor capacidad de suministro de nitrógeno bajo SD, coincidiendo con lo reportado por Power *et al.* (1986).

A diferencia de lo que ocurrió con el rendimiento, el número de granos y el peso de 1000 granos, el contenido de proteína en los granos presentó diferencias significativas ($P < 0,05$) debidas al sistema de labranza, ya que fue, en promedio, $1,2$ puntos porcentuales

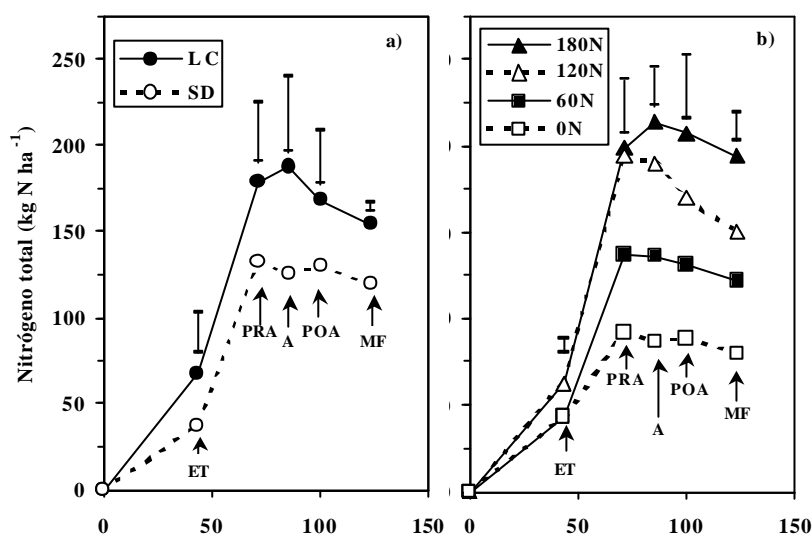


Figura 5. Acumulación de N total en la biomasa aérea del cultivo de trigo para dos sistemas de labranza (a) (LC: labranza convencional; SD: siembra directa) y cuatro dosis de N (b) (0N: 0 kg N ha^{-1} ; 60N: 60 kg N ha^{-1} ; 120N: 120 kg N ha^{-1} ; 180N: 180 kg N ha^{-1}). ET: espiguilla terminal; PRA: pre-antesis; A: antesis; POA: post-antesis; MF: madurez fisiológica. Las barras representan la diferencia mínima significativa ($P < 0,10$ para PRA en a) y $P < 0,05$ para el resto de las situaciones).

Figure 5. Total aboveground N accumulation of wheat under two tillage systems (a) (LC: conventional tillage, SD: no-tillage) and four N rates (b) (0N: 0 kg N ha^{-1} , 60N: 60 kg N ha^{-1} , 120N: 120 kg N ha^{-1} , 180N: 180 kg N ha^{-1}). ET: terminal spikelet, PRA: pre-anthesis, A: anthesis, POA: post-anthesis, MF: physiological maturity. The bars represent the least significant difference ($P < 0,10$ for PRA in (a) and $P < 0,05$ for the rest of the situations).

Tabla 1. Número de espigas, número de granos, peso de 1000 granos, rendimiento y contenido de proteína en grano de trigo en función del sistema de labranza (L) y dosis de N (F). SD= siembra directa; LC= labranza convencional.

Table 1. Head number, seed number, weight of 1000 seeds, yield and protein content in wheat grain as a function of tillage system (L) and N fertilizer rate (F). SD: No tillage, LC: conventional tillage.

Tratamiento		Rendimiento y sus componentes*				
L	F	Número espigas	Número granos	Peso de 1000 granos	Rendimiento	Proteína en grano
	(kg ha ⁻¹)	(espigas m ⁻²)	(granos m ⁻²)	(g)	(kg ha ⁻¹)	(%)
SD	0	381	14100	32,2	3330	8,8
	60	472	18000	29,9	4510	9,8
	120	485	18900	31,7	4750	10,3
	180	581	20700	28,4	4160	12,6
LC	0	402	14600	31,6	3940	9,7
	60	468	17800	31,4	4770	11,2
	120	535	19300	30,8	4880	12,3
	180	550	21600	28,6	4650	13,1
Promedio L	SD	-	17900 a	30,6 a	4190 a	10,4 b
	LC	-	18300 a	30,6 a	4560 a	11,6 a
Promedio F	0	-	14400 d	31,9 a	3640 b	9,2 d
	60	-	17900 c	30,7 ba	4640 a	10,5 c
	120	-	19100 b	31,2 a	4810 a	11,3 b
	180	-	21200 a	28,5 b	4410 a	12,8 a
DMS _{0,05} (L)**		-	NS	NS	NS	1,0
DMS _{0,05} (F)**		-	1030	2,3	487	0,6
DMS _{0,05} (L*F)**		32/45***	NS	NS	NS	NS

* Los valores seguidos por la misma letra no difieren significativamente (P<0,05).

** DMS = diferencia mínima significativa

*** El primer valor se aplica a las comparaciones entre dosis para cada sistema de labranza; el segundo valor se aplica a las comparaciones entre sistemas de labranza para cada dosis y para las comparaciones entre combinaciones de sistema de labranza y dosis.

más elevados bajo LC que bajo SD (Tabla 1). El contenido de proteína en grano también se incrementó (P<0,05) por el agregado de nitrógeno (Tabla 1). Resultados similares (Power *et al.* 1986) fueron atribuidos a una menor disponibilidad y suministro de nitrógeno para el cultivo de trigo de los sistemas de labranza con residuos en superficie, como la SD. Esta menor capacidad de suministro de nitrógeno a lo largo del ciclo del cultivo, puesta de manifiesto a través del índice de verdor en hojas, afectó el contenido de proteínas de los granos y hubo una buena relación (P<0,01) entre ambas variables en todos los momentos de medición: PRA (r=0,82), A (r=0,81) y POA (r=0,87). Por otra parte, el índice de verdor se asoció al rendimiento con una relación algo menor (P<0,01) en los estadíos de PRA (r=0,69), A (r=0,65) y POA (r=0,69).

A la cosecha del cultivo, no hubo diferencias (P>0,05) ni entre sistemas de labranza, ni entre 0N y 60N (40,2 y 40,9 kg N ha⁻¹, respectivamente), ni entre 120N y 180N (53,5 y 58,3 kg N ha⁻¹, respectivamente), en

el contenido de N-NO₃⁻ del suelo hasta 100 cm de profundidad. Sí las hubo (P<0,05) entre las dos dosis más bajas y las dos más altas. No obstante, hubo interacción (P<0,05) entre sistema de labranza y fertilización nitrogenada en el contenido de N-NO₃ hasta los 40 cm de profundidad, siendo las diferencias a favor de LC en las dosis de 120N y 180N (Figura 6).

Los resultados del balance de nitrógeno (Ecuación 1) indican que la mineralización fue de 73,1 y 56,3 kg N ha⁻¹ para LC y SD, respectivamente. Estos resultados no concuerdan con los obtenidos por García y Fabrizzi (1998), quienes no encontraron diferencias en las cantidades de nitrógeno mineralizado bajo SD y bajo LC. Por otro lado, las pérdidas de nitrógeno aplicado estimadas fueron 14,0; 51,8 y 64,8 kg N ha⁻¹ bajo SD (23, 43 y 36 % del nitrógeno aplicado, respectivamente) y 19,5; 36,9 y 47,9 kg N ha⁻¹ bajo LC (33, 31 y 27% del nitrógeno aplicado, respectivamente) para 60N, 120N y 180N, respectivamente. Las mayores pérdidas de nitrógeno bajo SD se pueden atribuir a los mayores potenciales de lavado (Fox, Bandel

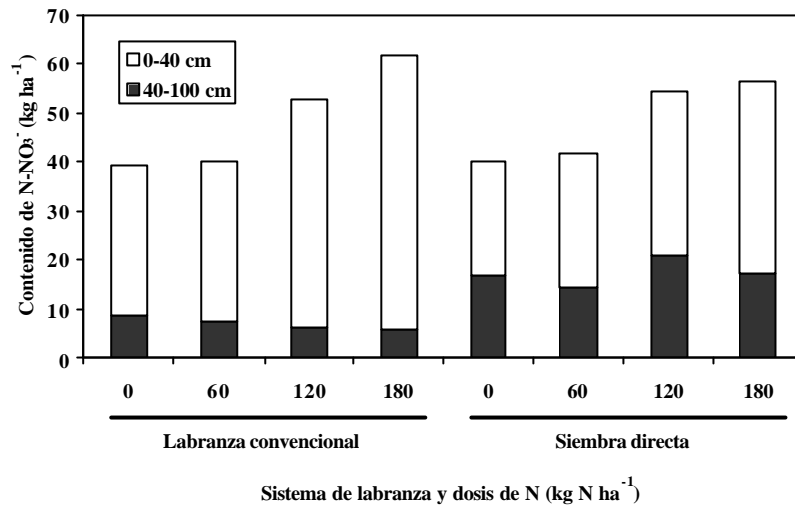


Figura 6. Contenido de N-NO_3^- del suelo luego de la cosecha del cultivo de trigo en las capas de 0-40 y 40-100 cm.

Figure 6. Soil NO_3^- -N content after wheat harvest in the 0-40 and 40-100 cm layers.

1986), de desnitrificación (Rice *et al.* 1986), y de volatilización de NH_3 . Los menores contenidos de N-NO_3^- en la capa de 0-40 cm y los mayores en la de 40-100 cm bajo SD (Figura 6), sugieren que el proceso que habría originado las mayores pérdidas de N bajo ese sistema de labranza, fue el lavado. Habría que descartar pérdidas por desnitrificación o volatilización ya que, determinaciones realizadas en Balcarce indican que, bajo condiciones ambientales similares a las presentes en este estudio, tales procesos no son de importancia (Videla, 1994; Picone, Videla 1998).

CONCLUSIONES

En un suelo con una prolongada historia de agricultura continuada, el cultivo de trigo bajo SD presentó menor acumulación de MS y de N, y rendimiento y contenido de proteína más bajos que aquél realizado bajo LC. El factor determinante de este comportamiento fue el menor suministro de nitrógeno por el suelo puesto de manifiesto por menor contenido de N-NO_3^- en seudotallos, de clorofila en hojas y por la mayor respuesta al agregado de N. La RM en la zona de crecimiento de las raíces pudo haber afectado el crecimiento inicial del cultivo bajo SD, aunque no perjudicó el crecimiento posterior del cultivo.

REFERENCIAS

- Abbate P E, Andrade F, Culot J P. 1994. Determinación del rendimiento en trigo. Boletín Técnico N° 133. EEA INTA Balcarce. Balcarce, Buenos Aires. 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. p. 357-412.
- Bergh, R G. 1997. Dinámica del nitrógeno, crecimiento y rendimiento de trigo bajo siembra directa y labranza convencional. Tesis MSc. Facultad de Ciencia Agrarias, Un. Nac. Mar del Plata. Balcarce, Buenos Aires. 75 p.
- Bremner J M, Mulvaney C. 1982. Nitrogen total. En Page A L *et al.* (Eds.) Methods of soil analysis. Part 2 Agron. Monog 9 Am. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, EEUU. p. 595-624.
- Chagas C Y, Marelli H J, Santanatoglia O J. 1994. Propiedades físicas y contenido hídrico de un Argiudol Típico bajo tres sistemas de labranza. Ciencia del Suelo 12:11-16.
- Cornish P S, Limbery J R. 1987. Reduced early growth of direct drilled wheat in southern New South Wales: causes and consequences. Austr. J. Exp. Agric. 27:869-880.
- Dao H. 1993. Tillage and winter wheat residue management effects on water infiltration and storage. Soil Sci. Soc. Am. J. 57:1586-1595.
- Echeverría H E, Studdert, G A. 1996. Determinación de requerimientos de nitrógeno en trigo al macollaje en función del contenido

- de nitratos en los seudotallos. *Visión Rural* 20: 60-61.
- Elverdín J, Sarlangue H, Vicente G. 1993. Bases para el éxito de la siembra directa. *Visión Rural* 7:6-9.
- Ferreras L. 1996. Efecto de los sistemas de labranza sobre las propiedades físicas de un suelo del Sudeste Bonaerense. Tesis MSc. Facultad de Agronomía, Un. Buenos Aires, Buenos Aires. 62 p.
- Fox R H, Bandel V A. 1986. Nitrogen utilization with no-tillage. En Sprage M A, Triplett G B (Eds.) No-tillage and surface-tillage agriculture. The tillage revolution. John Wiley and Sons, New York, New York, EEUU. p. 117-148.
- García F O, Fabrizzi K. 1998. La fertilización en siembra directa: sudeste de Buenos Aires. En Panigatti J L *et al.* (Eds.). Siembra Directa. INTA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. Editorial Hemisferio Sur, Buenos Aires. p. 205-213.
- Grant C A, Lafond G P. 1993. The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on a clay soil in southern Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.* 73:223-232.
- 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.
- Justes E, Mary B, Meynard J M, Machet J M, Thelier-Huche L. 1994. Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter wheat crops. *Ann. Bot.* 74:397-407.
- 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 9 Am. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Agron., Madison, Wisconsin, EEUU. p. 643-698.
- Knowles T C, Hipp B W, Graff P S, Marshall D S. 1993. Nitrogen nutrition of rainfed winter wheat in tilled and no-till sorghum and wheat residues. *Agron. J.* 85:886-893.
- Lamb J A, Peterson G A, Fenster C R. 1985. Fallow nitrate accumulation in a wheat-fallow rotation as affected by tillage system. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:1441-1446.
- Larney F J, Kladviko E J. 1989. Soil strength properties under four tillage systems at three long-term study sites in Indiana. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:1539-1545.
- Martino D L, Shaykewich C F. 1994. Root penetration profiles of wheat and barley as affected by soil penetration resistance in field conditions. *Can. J. Soil Sci.* 74:193-200.
- Meisinger, J J. 1984 Evaluating plant-available nitrogen in soil-crop systems. En Hauck R D (Ed.) Nitrogen in crop production. Am. Soc. Agron., Crop Sci. Soc. Am., Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, EEUU. p.391-416.
- Picone L, Videla C. 1998. Relaciones entre la tasa de desnitrificación y el contenido de nitratos, humedad y carbono orgánico soluble del suelo en un cultivo de trigo. *Ciencia del Suelo* 16:77-82.
- Power J F, Wilhelm W W, Doran J W. 1986. Recovery fertilizer nitrogen by wheat as affected by fallow method. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:1499-1503.
- Rice C W, Grove J, Smith M. 1987. Estimating soil net mineralization as affected by tillage and soil drainage due to topographic position. *Can. J. Soil Sci.* 67:513-520.
- Rice, C W, Havlin J L. 1994. Integrating mineralizable nitrogen indices into fertilized nitrogen recommendations. En Havlin J L *et al.* (Eds.) Soil testing: prospects for improving nutrient recommendations Soil Sci. Soc. Am. Special publication N° 40. Am. Soc. Agron., Inc., Soils Sci. Soc. Agron., Inc., Madison, Wisconsin, EEUU. p.1-13.
- 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.* 50:1206-1210.
- 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.* 61:1233-1239.
- Videla, C. 1994. La volatilización de amonio: una vía de pérdida de nitrógeno en sistemas agropecuarios. Boletín Técnico N° 131. EEA INTA Balcarce. Balcarce, Buenos Aires. 16 p.
- Whiteley G M, Utomo W H, Dexter A R. 1981. A comparison of penetrometer pressures and the pressures exerted by roots. *Plant and Soil.* 61:351-364.
- Zadoks J C, Chang T T, Zonzak C F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14:415-421.