

RELACIÓN ENTRE EL CULTIVO ANTECESOR Y LA DISPONIBILIDAD DE NITRÓGENO PARA EL TRIGO EN LA ROTACIÓN

GUILLERMO ALBERTO STUDDERT* & HERNÁN EDUARDO ECHEVERRÍA

Unidad Integrada Facultad Ciencias Agrarias (UNMP) - EEA INTA Balcarce, C.C. 276, (7620) Balcarce, Argentina.

*Correo electrónico: gstuddert@balcarce.inta.gov.ar

Recibido: 00/00/00

Aceptado: 00/00/00

RESUMEN

El efecto de las características de los residuos de los antecesores sobre la disponibilidad de N para el trigo (*Triticum aestivum* L.) puede enmascarar los cambios en la capacidad del suelo para proveerlo debidas al manejo y debería ser tenido en cuenta para el diagnóstico de la fertilidad nitrogenada. Los objetivos de este trabajo fueron evaluar: i) la evolución en el tiempo de los rendimientos en grano (RR) y de la acumulación de materia seca (MSR) y de N (NR) en la biomasa aérea relativos al máximo rendimiento o acumulación, respectivamente, de cada experimento y año, del trigo sobre distintos antecesores, y ii) la relación entre la variación de RR, MSR y NR y la del contenido de materia orgánica del suelo. En dos ensayos de rotaciones de larga duración en Balcarce se analizó la variación de los RR, MSR y NR a lo largo de los años de agricultura con labranza convencional sobre papa (*Solanum tuberosum* L.), soja (*Glycine max* L. Merr.), trigo, girasol (*Helianthus annuus* L.) y maíz (*Zea mays* L.). Las tres variables mostraron una reducción con los años de agricultura hasta niveles diferentes según cuál hubiera sido el antecesor. Las características de los residuos y/o la forma en que éstos fueron manejados hicieron que los RR, MSR y NR sobre soja, papa y trigo, fueran los más elevados y sobre maíz, los más bajos. Tal variación en las tres variables no se asoció, en general, con los cambios en la materia orgánica del suelo debidos al manejo. El efecto de corto plazo de los residuos y su manejo sobre el ciclo inmovilización-mineralización de N determinó la disponibilidad de N para el trigo, independientemente de cómo la rotación afectó la capacidad del suelo para proveerlo.

Palabras clave. *Triticum aestivum*; antecesores; nutrición nitrogenada, materia orgánica; rotaciones.

RELATIONSHIP BETWEEN THE PRECEDING CROP AND NITROGEN AVAILABILITY FOR WHEAT IN THE ROTATION

ABSTRACT

The effect of preceding crop residue characteristics on N availability for wheat (*Triticum aestivum* L.) may mask the changes in soil capability to provide N due to management. Preceding crop effects should be taken into account to diagnose N fertility. The aims of this work were to evaluate i) wheat relative (to the maximum obtained in the corresponding experiment and year) yields (RR) and aboveground dry matter (MSR) and N accumulation (NR) in time after different preceding crops, and ii) the relationship between RR, MSR and NR variation and soil organic matter content changes. In two long term crop rotation experiments at Balcarce (on a complex of Typic Argiudoll and Petrocalcic Paleudoll) the variation of RR, MSR and VR along years under cropping with conventional tillage, was analyzed. The preceding crops were potato (*Solanum tuberosum* L.), soybean (*Glycine max* L. Merr.), wheat, sunflower (*Helianthus annuus* L.) and maize (*Zea mays* L.). All three variables showed a decrease along cropping years, but up to different levels according to which had been the preceding crop. Residue characteristics and/or the way they had been managed before wheat seeding made that RR, MSR and NR after soybean, potato and wheat were higher. On the other hand, wheat RR, MSR, NR after maize were the lowest. These effects were associated with the role of residues on N mineralization-immobilization cycle. In general, the variation in wheat RR, MSR and NR along cropping years was not associated with changes in soil organic matter due to soil management under cropping. The short term effect of preceding crop residues and of its management on N dynamics defined the amount and timing of the availability of N for wheat. This was independently of the effect of the rotation on the capability of the soil to mineralize N due to how the residues intervene on the cycle mineralization-immobilization.

Key words. *Triticum aestivum*; preceding crops; nitrogen nutrition; organic matter; crop rotations.

INTRODUCCIÓN

El éxito, la eficiencia y la seguridad ambiental de la fertilización nitrogenada son altamente dependientes de la predicción que pueda hacerse de la cantidad de nitrógeno (N) que aporte el suelo y de la sincronía entre éste y los requerimientos de los cultivos (Willson *et al.*, 2001).

Sin embargo, las recomendaciones de fertilización son hechas a menudo sobre la base de información insuficiente acerca del suministro de N a partir de distintas fuentes (tejidos vegetales, materia orgánica) en el suelo (Meisinger, 1984). La evaluación de la disponibilidad de N para los cultivos, además de tener en cuenta el N mineral dis-

ponible a la siembra, debería cuantificar la capacidad del suelo de ir proveyéndolo a lo largo de su estación de crecimiento (Echeverría *et al.*, 1994; Walley *et al.*, 2002) en concordancia con la demanda del cultivo.

Tanto la disponibilidad inicial como el aporte posterior de N responden a complejas relaciones entre los factores que afectan la mineralización del N orgánico y la inmovilización del N mineral (Walley *et al.*, 2002). El sentido, la magnitud y el resultado final de tales relaciones son determinados por las condiciones ambientales y son definitivamente definidos por la influencia de las decisiones de manejo tales como, entre otras, las labranzas, la cantidad y la calidad de los residuos devueltos al suelo y la duración de los períodos de barbecho (Echeverría *et al.*, 1992; Berardo, 1994; Studdert & Rizzalli, 1994; Studdert & Echeverría, 2000; Studdert *et al.*, 2000).

Los suelos presentan distinta capacidad potencial de proveer N a las plantas a partir de la mineralización de su materia orgánica y ésta puede ser caracterizada por el N potencialmente mineralizable (N_p) (Echeverría *et al.*, 1994). El N_p de un suelo expresa la mineralización neta potencial (Walley *et al.*, 2002) y refleja el efecto de las prácticas de manejo sobre su capacidad relativa para suministrar nitrógeno y puede ser utilizado para predecir el N que será mineralizado para los cultivos a través de modelos sencillos (Echeverría *et al.*, 1994). Sin embargo, tales modelos pueden no cumplir plenamente con su objetivo si no tienen en cuenta otras variables que influyen sobre la dinámica del N en el suelo, tales como las características de los residuos de los cultivos antecesores (Studdert *et al.*, 2000). La calidad, la cantidad y la forma física de los residuos vegetales devueltos al suelo afectan la dinámica del N a través de su incidencia sobre los procesos de inmovilización y mineralización (Sánchez *et al.*, 1998).

El trigo (*Triticum aestivum* L.) es uno de los cultivos más sensibles a los cambios producidos por las prácticas de manejo sobre la dinámica del N en el suelo (Echeverría *et al.*, 1992; Berardo, 1994; Lázaro, 1996). Studdert & Rizzalli (1994) demostraron que los rendimientos relativos de trigo disminuyeron con los años de agricultura con labranza convencional luego de una pastura, asociando tal disminución con la caída de materia orgánica del suelo que ello provocaba (Studdert *et al.*, 1997). No obstante, se ha identificado al cultivo antecesor como uno de los factores que condiciona los rendimientos del trigo en la Región Pampeana argentina (Álvarez, 2004). El antecesor influencia el momento y la cantidad de mineralización del N, como así también la cantidad y el momento de absorción del nutriente por el trigo siguiente (Debaeke *et al.*, 1996). Echeverría *et al.* (1992) y Lázaro (1996) concluyeron que en Balcarce la mayor parte del efecto de los antecesores sobre el rendimiento y el cre-

cimiento del cultivo, se debió a cambios en la disponibilidad de N provocados por las características de sus residuos. Echeverría *et al.* (1992) comprobaron, además, que para suelos del sudeste bonaerense tal efecto era sólo del antecesor inmediato ya que los previos a éste no tuvieron efecto sobre el rendimiento del trigo. Studdert *et al.* (2000) demostraron que el efecto de los residuos de los cultivos antecesores al trigo sobre la disponibilidad de N hizo que el N_p resultante de distintas rotaciones no se reflejara en la nutrición del cultivo. Se pone así de manifiesto que el N disponible para los cultivos puede estar determinado por las reacciones de corto plazo provocadas por las características de los residuos de los antecesores, pudiendo enmascarar los cambios en la capacidad para proveer N a que esté sometido el suelo como consecuencia del manejo.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la evolución de los rendimientos y de la acumulación de MS y de N en la biomasa aérea del cultivo de trigo sobre distintos antecesores a lo largo de rotaciones agrícolas. Se analizará además la relación de aquellas variables con la evolución del contenido de materia orgánica en la capa arable del suelo.

MÉTODOS

Se evaluó la variación de los rendimientos y de la acumulación de materia seca (MS) y de N en la biomasa aérea de trigo en función de diferentes antecesores durante dos experimentos de larga duración en condiciones de secano. Estos experimentos fueron conducidos en Balcarce, (37° 45' S, 58° 18' W, 130 m sobre el nivel del mar) sobre un complejo de Argiudol Típico fino, mixto, térmico y de Paleudol Petrocálcico fino, íltico, térmico (el horizonte petrocálcico estuvo por debajo de los 0,7 m) con 2% de pendiente (sin erosión). El horizonte superficial del complejo tiene textura franca y al comienzo de los experimentos presentaba pH (1:2,5 en agua), capacidad de intercambio catiónico, contenidos de P Bray y Kurtz y de carbono orgánico del suelo (COS) de 6, 33,1 cmol kg⁻¹, 5,0 mg kg⁻¹ y 37,7 g kg⁻¹, respectivamente.

Experimento 1: Rotación cultivos-pastura

Este experimento comenzó en 1976 y ha sido descrito en Studdert *et al.* (1997). Brevemente, el experimento fue conducido con un diseño experimental en bloques completos aleatorizados con un arreglo de tratamientos en parcelas divididas, tres repeticiones y unidades experimentales de 10x35 m. Los tratamientos asignados a las parcelas principales fueron las rotaciones que comprendían agricultura continua y distintas combinaciones de períodos bajo agricultura y de períodos bajo pastura. A las subparcelas se asignaron niveles de fertilización nitrogenada (0 y 90 kg N ha⁻¹). Las rotaciones cultivo-pastura incluían combinaciones de aproximadamente 50%-50% y 75%-25% del tiempo bajo agricultura y pastura, respectivamente. Los cultivos agrícolas incluidos fueron trigo, papa (*Solanum tuberosum* L.), maíz

(*Zea mays* L.), girasol (*Helianthus annuus* L.), y avena (*Avena sativa* L.) o avena + vicia (*Vicia sativa* L.) como abono verde. Las pasturas incluían gramíneas y leguminosas normalmente utilizadas en la zona (*Dactylis glomerata* L., *Phalaris tuberosa* L., *Festuca arundinacea* Schreb., *Lolium perenne* L., *Trifolium repens* L., *Trifolium pratense* L., *Medicago sativa* L.) a las densidades recomendadas y con predominancia de gramíneas. Las pasturas no fueron pastoreadas pero, a manera de simulación de pastoreo, fueron periódicamente cortadas y el material fue retirado de las parcelas. De este ensayo sólo fueron analizadas los rendimientos y la acumulación de materia seca (MS) y de N en la biomasa aérea del trigo entre 1983 y 1993 cuyo cultivo fue papa.

Experimento 2: Rotación de cultivos agrícolas

Este experimento fue iniciado en 1984 y concluido en 1995 y ha sido descrito en Studdert & Echeverría (2000). Brevemente, el diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con un arreglo de tratamientos en bloques divididos (split-block) (Little & Hills, 1978) y cuatro repeticiones. El experimento se inició en un lote que había estado bajo pastura por al menos 4 años. Trigo, soja (*Glycine max* L. Merr.), girasol y maíz fueron sembrados en franjas de 25x100 m durante el primer año de un ciclo de tres. En el segundo año los mismos cultivos fueron sembrados en franjas de 25x100 m perpendiculares a las del primer año. Esto definió 16 secuencias de cultivos diferentes en parcelas de 25x25 m. Durante el tercer año del ciclo, todo el experimento fue sembrado con trigo. Este ciclo de rotación de tres años fue repetido cuatro veces (hasta 1995). Por lo tanto, el trigo fue sembrado luego de cuatro cultivos antecesores diferentes: trigo, soja, girasol y maíz. Asimismo, el antecesor del trigo sembrado en 1984 fue la pastura previa al inicio del ensayo. Las parcelas definidas fueron divididas en dos unidades experimentales (UE) de 12,5x25 m y siempre que correspondiera sembrar trigo en la parcela, una de las UE fue fertilizada con N (60 kg N ha⁻¹ en 1984 y 1985, 90 kg N ha⁻¹ en 1986 y 1987, y 120 kg N ha⁻¹ hasta el fin del experimento).

Manejo general de los experimentos

El suelo fue laboreado convencionalmente (arado de rejas, rastra de discos, rastra de dientes o vibrocultivador y labores culturales en los cultivos de escarda). Las operaciones de laboreo para la preparación de la cama de siembra se iniciaron no menos de tres meses antes de la fecha de siembra de los cultivos de escarda o las pasturas. Para el trigo, los laboreos comenzaron inmediatamente después de la cosecha del cultivo antecesor. En todos los casos, la oportunidad y la intensidad de laboreo fueron las necesarias para lograr una cama de siembra libre de malezas y no excesivamente refinada. Todos los cultivos fueron fertilizados con superfosfato triple de calcio en bandas a la siembra los cultivos agrícolas y al voleo las re-fertilizaciones de las pasturas, con dosis de acuerdo con el análisis de suelo. Las malezas fueron controladas tanto mecánicamente como químicamente según lo recomendado para la zona. La fertilización nitrogenada del trigo se hizo con urea al voleo o a la siembra o al macollaje. Las variedades de trigo utilizadas fueron de ciclo intermedio a corto: San Agustín INTA (entre 1983 y 1987 y en 1989), Pionero INTA (en 1987 y 1988), Pro INTA Azul (entre 1990 y 1991), Pro INTA Federal (en 1992 y 1993) y Pro INTA Oasis (en 1994 y 1995).

En algunos años y no en todas las unidades experimentales se cortó la parte aérea de plantas de trigo de tres sectores de 1 m lineal de surco al estadio de madurez fisiológica del trigo. Las muestras fueron pesadas, secadas en estufa o cámara de secado con

circulación forzada de aire hasta peso constante para determinación de acumulación de MS y molidas para la determinación del contenido de N total por micro Kjeldahl (Bremner & Mulvaney, 1982). Para la estimación de los rendimientos de trigo se cosechó una parte de cada UE con una cosechadora automotriz de parcelas y los rendimientos fueron ajustados a 14% de humedad. Los rendimientos en grano y la acumulación de MS y de N total en la biomasa aérea fueron estandarizados dividiéndolos por el máximo rendimiento o acumulación de MS o de N, respectivamente, obtenidos en el correspondiente experimento y año (Dahnke & Olson, 1990) y fueron referidos como rendimiento relativo (RR), MS relativa (MSR) y N total relativo (NR), respectivamente. Los datos del año 1989 no fueron incluidos en los análisis debido a las pérdidas de rendimiento ocasionadas por una severa sequía durante la estación de crecimiento del cultivo.

Análisis de los datos

La relación entre RR, MSR y NR y los años bajo agricultura fue descrita a través del siguiente modelo matemático:

$$VR_t = VR_e + (1 - VR_e) \exp(-k t) \quad [1]$$

donde VR_t es el valor de RR, MSR o NR al tiempo t ; VR_e es el valor de R, MSR o NR al equilibrio; k es la tasa exponencial de variación (año⁻¹) y t son los años bajo agricultura (año). El tiempo requerido para que se produzca la mitad de la variación total descrita por el modelo (vida media, $t_{1/2}$) se calculó según:

$$t_{1/2} = 0,693 / k \quad [2]$$

El modelo descrito en la ecuación [1] fue ajustado a RR, MSR y NR mediante regresión no lineal (Steel & Torrie, 1980). Se realizaron también análisis de regresión y correlación (Steel & Torrie, 1980).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presentan los parámetros estimados por regresión no lineal para ajustar la ecuación [1] a los RR, MSR y NR del trigo observados en las unidades experimentales sin fertilización nitrogenada. Tanto los RR como MSR y NR del trigo sin N mostraron reducciones ($P < 0,01$) a lo largo de los años bajo agricultura (Figuras 1, 2 y 3, respectivamente). Esto es coincidente con lo informado por Studdert & Rizzalli (1994) para los RR de trigo en el Experimento 1 sin distinguir entre antecesores y por Berardo (1994) para los rendimientos de trigo en distintas zonas agroecológicas. No obstante, en las Figuras 1, 2 y 3 se puede ver que las reducciones de RR, MSR y NR fueron diferentes según cuál hubiera sido el antecesor del trigo. En todos los casos, el antecesor maíz se asoció a las mayores reducciones, mientras que el antecesor soja generó las menores reducciones en las tres variables. Por otro

Tabla 1. Resultados del ajuste no lineal a la Ecuación [1] de los rendimientos (RR) y de la acumulación de materia seca (MSR) y de nitrógeno total (NR) en la biomasa aérea relativos de trigo no fertilizado con N sobre varios antecesores.

Table 1. Results of non linear fitting of Equation [1] to relative yields (RR) and aboveground dry matter (MSR) and nitrogen (NR) accumulation of non N-fertilized wheat after several preceding crops.

Antecesor	RR				MSR				NR			
	RR _e *	k*	R ²	P	MSR _e *	k*	R ²	P	NR _e *	k*	R ²	P
	año ⁻¹				año ⁻¹				año ⁻¹			
Papa	0,74	0,41	0,70	<0,01	0,67	0,50	0,80	0,02	0,53	0,55	0,81	0,02
Trigo	0,69	0,66	0,49	<0,01	0,75	0,58	0,20	0,24	0,54	0,81	0,42	0,03
Soja	0,78	1,24	0,26	0,08	0,74	0,92	0,34	0,16	0,58	0,47	0,83	<0,01
Girasol	0,61	0,57	0,77	<0,01	0,70	0,58	0,51	0,08	0,45	0,41	0,80	<0,01
Maíz	0,45	0,97	0,86	<0,01	0,55	1,11	0,34	0,20	0,37	0,82	0,82	<0,01

* RR_e, MSR_e, NR_e: RR, MSR y NR al equilibrio, respectivamente; k: tasa exponencial de variación.

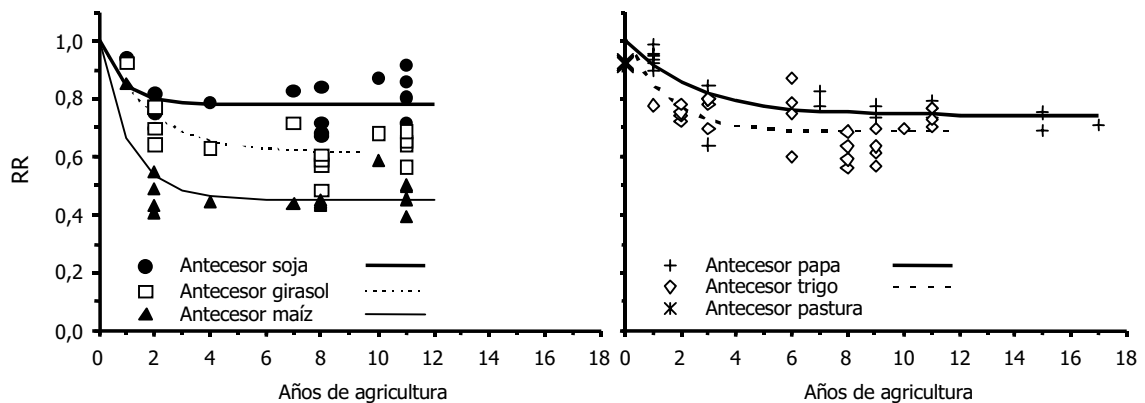


Figura 1. Rendimientos relativos (RR) de trigo no fertilizado con N sobre varios antecesores en función de los años de agricultura. Las curvas representan el resultado del ajuste de la Ecuación [1] (parámetros en la Tabla 1).

Figure 1. Relative yields (RR) of non N-fertilized wheat after several preceding crops as a function of years under cropping. The curves represent Equation [1] fitting (parameters in Table 1).

lado, el trigo sobre papa y sobre trigo mostró comportamientos similares a los observados con el antecesor soja. Los RR de trigo sin agricultura previa (antecesor pastura) promediaron 0,93 (Figura 1).

La calidad de los residuos (C:N) es un factor de suma importancia en la regulación de la disponibilidad de N para el cultivo de trigo (Echeverría *et al.*, 1992; Debaeke *et al.*, 1996; Lázaro, 1996; Studdert *et al.*, 2000), dada su intervención en el ciclo entre la inmovilización y la mineralización netas.

El rastreo de soja presenta una relación C:N de entre 20 y 30 (Andrade *et al.*, 1996) lo que provoca que el proceso de descomposición sea rápido, especialmente cuando es incorporado al suelo, y que, por lo tanto, se produzca mineralización neta en poco tiempo (Sánchez *et al.*, 1998). Esto permite lograr una correcta sincronización entre la oferta de N y la demanda del cultivo (Echeverría *et al.*, 1992; Lázaro 1996; Studdert *et al.*, 2000) debido a la mineralización del N en el residuo junto con el mineralizado a partir de la materia orgánica del suelo. Algo similar puede haber sucedi-

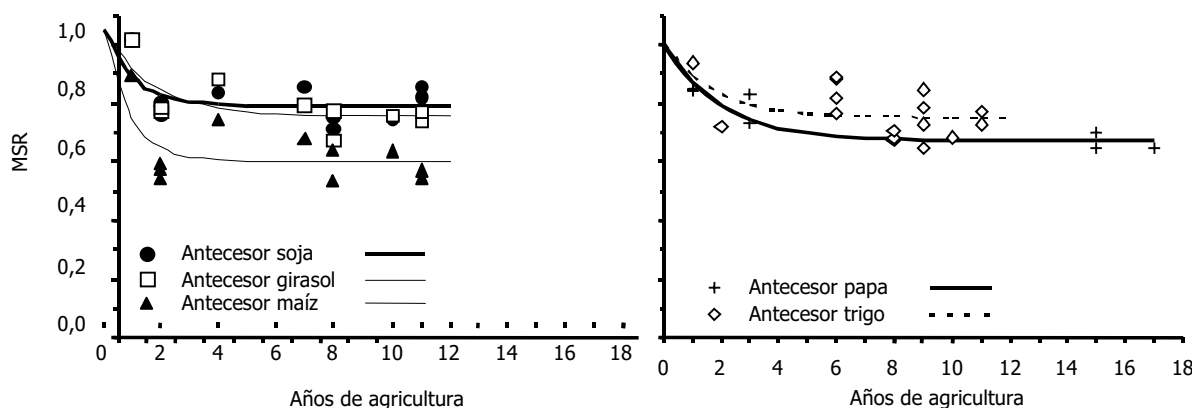


Figura 2. Acumulación de materia seca en la biomasa aérea relativa (MSR) de trigo no fertilizado con N sobre varios antecesores en función de los años de agricultura. Las curvas representan el resultado del ajuste de la Ecuación [1] (parámetros en la Tabla 1).
 Figure 2. Relative aboveground dry matter accumulation (MSR) of non N-fertilized wheat after several preceding crops as a function of years under cropping. The curves represent Equation [1] fitting (parameters in Table 1).

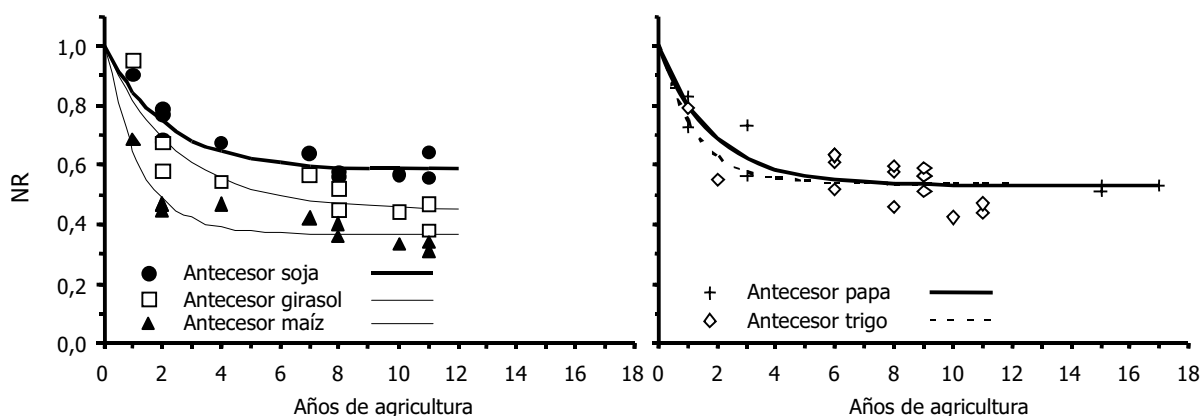


Figura 3. Acumulación de nitrógeno total en la biomasa aérea relativa (NR) de trigo no fertilizado con N sobre varios antecesores en función de los años de agricultura. Las curvas representan el resultado del ajuste de la Ecuación [1] (parámetros en la Tabla 1).
 Figure 3. Relative aboveground nitrogen accumulation (NR) of non N-fertilized wheat after several preceding crops as a function of years under cropping. The curves represent Equation [1] fitting (parameters in Table 1).

do con el antecesor papa cuyos residuos tienen una relación C:N de entre 10 y 15 (Haverkort & MacKerron, 2000). Por otro lado, el material dejado por el maíz presenta una relación C:N de entre 60 y 80 (Andrade *et al.*, 1996) lo que genera una fuerte inmovilización de N mineral por un período prolongado (Sánchez *et al.*, 1998) haciendo que el nutriente no esté disponible en cantidad suficiente en los momentos de mayor demanda del trigo (Abbate *et al.*, 1994). Las reacciones descritas son magnificadas por la diferencia de volumen (Andrade *et al.*, 1996) y de forma

física del material devuelto al suelo por cada uno de los cultivos, ya que mayores volúmenes y formas del material menos accesibles para los microorganismos, como los que presentan los rastrojos de maíz, retardan aún más la descomposición (Echeverría *et al.*, 1992; Sánchez *et al.*, 1998). Coincidiendo con Echeverría *et al.* (1992), Lázaro (1996) y Studdert *et al.* (2000) el comportamiento del trigo sobre girasol, cuyos residuos presentan C:N de entre 40 y 50 y relativamente bajos volúmenes (Andrade *et al.*, 1996), fue intermedio.

Otro factor que influye sobre cómo las características de los residuos de los antecesores inciden sobre la dinámica del N para el trigo, es la duración del período de barbecho (Berardo, 1994). Barbechos más largos permiten un mayor período de descomposición de los residuos, lo que adquiere mayor importancia para los rastros con relación C:N y volumen elevados. En el Experi-

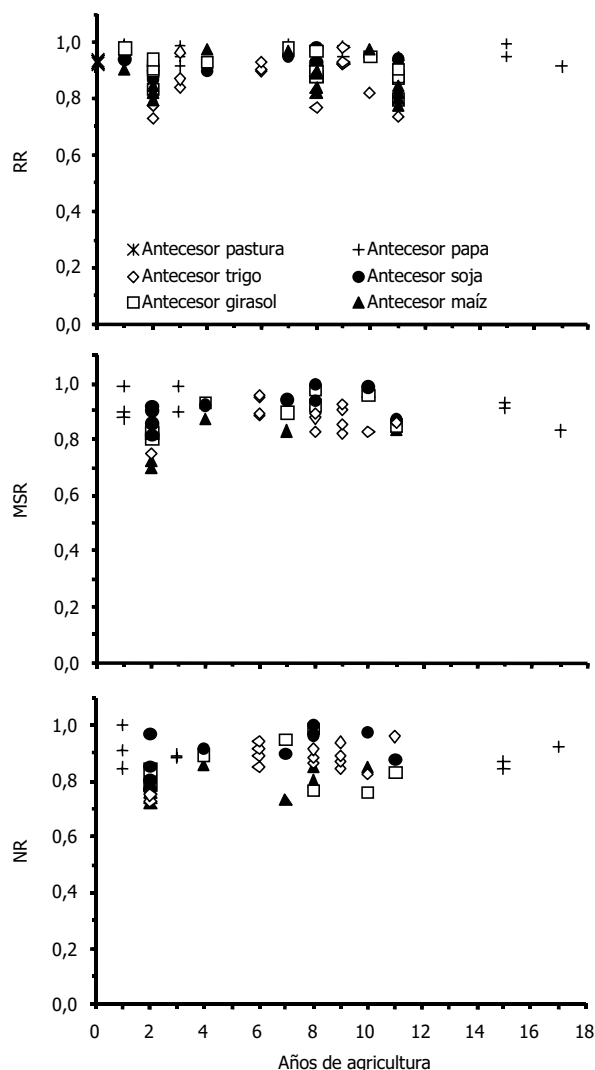


Figura 4. Rendimiento (RR) y acumulación de materia seca (MSR) y de nitrógeno total (NR) en la biomasa aérea relativos de trigo fertilizado con N sobre varios antecesores en función de los años de agricultura.

Figure 4. Relative yield (RR) and aboveground dry matter (MSR) and nitrogen (NR) accumulation of N-fertilized wheat after several preceding crops as a function of years under cropping.

mento 2 el período de barbecho de trigo sobre trigo fue de aproximadamente 180 días. A pesar de que los residuos de trigo presentan una relación C:N de 80 y, por lo general, gran volumen (Echeverría *et al.*, 1992), el largo período de barbecho habría permitido un grado de descomposición de los mismos que hiciera que al momento de mayor requerimiento del cultivo (Abbate *et al.*, 1994) el sistema estuviera en condición de mineralización neta de N a partir del material incorporado y del oportunamente inmovilizado durante las etapas iniciales de la descomposición del residuo. Con ello los niveles de RR, MSR y NR fueron más similares a los logrados luego de soja o de papa que a los obtenidos luego de cultivos con residuos con relación C:N más elevada.

En la Figura 4 se presenta la evolución de RR, MSR y NR en función de los años de agricultura en las unidades experimentales en que el trigo había sido fertilizado con N. El agregado de N produjo una elevación de los valores de RR, MSR y NR lo que confirma que el efecto principal de los antecesores estuvo asociado con la dinámica del N disponible para el cultivo. Las tres variables oscilaron entre 1,00 y 0,72 (RR y NR) y 0,70 (MSR) ($0,90 \pm 0,06$; $0,86 \pm 0,08$ y $0,89 \pm 0,07$, respectivamente), sin mostrar relación con la variación de los años de agricultura ($P > 0,05$), ni globalmente ni por antecesor. Studdert & Rizzalli (1994) habían observado el mismo efecto para los RR con los años luego de pastura. Por otro lado, Echeverría *et al.* (1992) y Lázaro (1996) reportaron que la fertilización nitrogenada tendía a anular el efecto de los antecesores soja, trigo, girasol y maíz sobre los rendimientos y la acumulación de MS y N total en la biomasa aérea de trigo.

La incidencia de las características de los residuos de los antecesores sobre la disponibilidad de N para el trigo fue tan marcada que la mitad de la disminución total ($t_{1/2}$) en los valores relativos de todas las variables analizadas se produjo en 0,56 a 1,70 años de agricultura convencional desde la situación de origen. Luego de un año de agricultura los valores de RR, MSR y NR fueron $0,91 \pm 0,06$; $0,89 \pm 0,06$ y $0,81 \pm 0,09$, respectivamente, mientras que al segundo año se redujeron a $0,68 \pm 0,13$; $0,67 \pm 0,10$ y $0,61 \pm 0,12$, respectivamente (Figuras 1, 2 y 3). Durante el primer año, la elevada disponibilidad de N resultante de las pasturas previas (Echeverría *et al.*, 1994; Studdert *et al.*, 1997) hizo que hubiera suficiente N para satisfacer adecuadamente las demandas del cultivo y de la biomasa microbiana, mientras que en el segundo año y subsiguientes, no fue así. Esto es un indicio de que por el efecto de corto plazo de los residuos sobre el ciclo mineralización-inmovilización del N, la nutrición nitrogenada del trigo habría estado mayormente controlada por los residuos aportados y escasamente relacionada con la capacidad del suelo de proveer el nutriente.

Studdert *et al.* (1997) y Studdert & Echeverría (2000) demostraron que en los Experimentos 1 y 2, respectivamente, los contenidos de materia orgánica del suelo disminuyeron en función de los años de agricultura y que había diferencias en las tasas de variación según cuál fuera la secuencia de cultivos implementada (Studdert & Echeverría, 2000). Por su parte, Echeverría *et al.* (1994) y Studdert *et al.* (2000) reportaron que las diferencias en contenido de materia orgánica se traducían en diferencias en N_o , lo que podía reflejarse en la nutrición nitrogenada de los cultivos (Berardo, 1994; Studdert & Rizzalli; Álvarez, 2004). En la Tabla 2 se muestran los resultados de los análisis de regresión entre RR, MSR y NR de las unidades experimentales sin N y el contenido de C orgánico en la capa arable del suelo (Studdert *et al.*, 1997; Studdert & Echeverría, 2000). Sólo los RR y los MSR de trigo luego de papa mostraron una relación significativa ($P < 0,01$ y $P = 0,06$, respectivamente) con el contenido de C orgánico, explicando éste casi el 50% de su variabilidad. El retorno de N al suelo a través de los residuos de papa es muy bajo dado el elevado índice de cosecha del nutriente (Haverkort & MacKerron, 2000). Asimismo, sus características (muy baja C:N y muy escaso volumen) hicieron que su descomposición fuera extremadamente rápida y que, por lo tanto, su influencia directa sobre el ciclo mineralización-inmovilización de N desapareciera mucho antes del inicio del ciclo del trigo, quedando la nutrición del cultivo dependiendo en buena medida de la mineralización del N orgánico del suelo que fue disminuyendo con los años de agricultura (Studdert *et al.*,

1997). Por otro lado, la inexistencia de relación entre los RR y las MSR luego de soja y trigo puede estar asociada a que, por la dinámica de descomposición de sus residuos, el N para el trigo proviniera mayormente de la mineralización de los mismos, y se independizara de los menores contenidos de materia orgánica en el suelo asociados a su alta frecuencia en la secuencia (Studdert & Echeverría, 2000). Luego de maíz y girasol, en cambio, el N para el trigo dependió más de la inmovilización que sus residuos provocaron durante su ciclo, a pesar de que altas frecuencias de aquellos cultivos en la secuencia se asociaron a menores caídas en los contenidos de materia orgánica (Studdert & Echeverría, 2000) y por lo tanto a N_o comparativamente mayores que en otras secuencias (Studdert *et al.*, 2000).

Los valores de NR_e (Tabla 1, Figura 3) fueron, en promedio, un 24 y un 28% más bajos que los correspondientes RR_e y MSR_e (Tabla 1, Figuras 1 y 2). Esto estaría indicando que la concentración de N en el tejido vegetal fue más sensible al efecto de los residuos sobre la disponibilidad del nutriente y que, como consecuencia, la calidad del grano (contenido de proteína) podría haber sufrido la mayor disminución. Ante cambios en la disponibilidad de N, las tasas de variación de los rendimientos y de la concentración de N en el tejido son diferentes, siendo mayores aquéllas a las menores disponibilidades (Echeverría *et al.*, 1992; Abbate *et al.*, 1994). En todos los casos de antecesores hubo relación ($P < 0,05$ o $P < 0,10$) entre los NR y el contenido de C orgánico del suelo de las unidades experimentales sin N (Tabla 2), aunque con

Tabla 2. Resultados de la regresión lineal entre el contenido de carbono orgánico en la capa arable del suelo (Studdert *et al.*, 1997; Studdert & Echeverría, 2000) y los rendimientos (RR) y la acumulación de materia seca (MSR) y de nitrógeno total (NR) en la biomasa aérea relativos de trigo no fertilizado con N sobre varios antecesores.

Table 2. Results of linear regression between organic carbon content in soil arable layer (Studdert *et al.*, 1997; Studdert & Echeverría, 2000) and relative yields (RR) and aboveground dry matter (MSR) and nitrogen (NR) accumulation of non N-fertilized wheat after several preceding crops.

Antecesor	RR		MSR		NR	
	R ²	P	R ²	P	R ²	P
Todos	0,02	0,23	0,001	0,82	0,17	<0,01
Papa	0,49	<0,01	0,48	0,06	0,53	0,04
Trigo	0,07	0,19	0,03	0,55	0,19	0,09
Soja	0,07	0,32	0,01	0,77	0,33	0,05
Girasol	0,08	0,30	0,22	0,17	0,55	0,01
Maíz	0,13	0,17	0,24	0,13	0,67	<0,01

coeficientes de determinación variables entre antecesores. Teniendo en cuenta el elevado grado de variación conjunta entre NR y RR y MSR ($r = 0,76$ y $r = 0,78$, respectivamente) y la falta de relación de estas dos últimas variables con el C del suelo, no se cuenta con elementos que permitan explicar la relación significativa entre dicha variación y los NR.

Los resultados mostrados permiten concluir que para las condiciones en que se desarrollaron los ensayos, la prolongación de los ciclos agrícolas produjo una reducción en los RR de trigo y en MSR y NR. Sin embargo, tales reducciones variaron según cuál fuera el antecesor en función de la calidad de sus residuos y de la forma en que se había producido el proceso de su descomposición y sólo en algún caso se asociaron a la variación en la materia orgánica del suelo como consecuencia del manejo. El diagnóstico de la disponibilidad de N para el trigo debería tener en cuenta tales procesos y cómo influyen sobre la dinámica del N para permitir sincronizar la oferta del nutriente con la demanda del cultivo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado parcialmente con fondos de los proyectos de investigación de la Universidad Nacional de Mar del Plata N° 15/A166 y PICTO ANPCyt-UNMdP N° 08-11352.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbate, PE; FH Andrade & JP Culot. 1994. Determinación del rendimiento en trigo. Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce. Boletín Técnico N° 133. 20 pp.
- Álvarez, R. 2004. Análisis del impacto de la fertilidad del suelo y el manejo sobre los rendimientos de trigo y maíz en la Pampa Ondulada. En: Actas de XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos, 23-25 de junio de 2004. En CD.
- Andrade, FH; HE Echeverría; NS González; S Uhart & N Darwich. 1996. Requerimientos de nitrógeno y fósforo de los cultivos de maíz, girasol y soja. Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce. Boletín técnico N° 134. 17 pp.
- Berardo, A. 1994. Aspectos generales de fertilización y manejo de trigo en el área de influencia de la Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce. Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce. Boletín Técnico N° 128. 34 pp.
- Bremner, JM & YC Mulvaney. 1982. Nitrogen total. Pp. 595-624. En: AL Page *et al.*, (eds.) Methods of soil analysis. Part 2. 2nd Ed. Agron. Monog. 9. Am. Soc. Agron. y Soil Sci. Soc. Am Madison, Wisconsin, USA.
- Dahnke, WC & RA Olson. 1990. Soil test correlation, calibration, and recommendation. Pp. 45-71. En: RL Westerman (ed.), Soil Testing and Plant Analysis, 3rd edition. Soil Sci. Soc. Am. Book Series 3, *Soil Sci. Soc. Am.* Madison, Wisconsin, USA.
- Debaeke, Ph; Th Aussenac; JL Fabre; A Hilaire; B Pujol & L Thuries. 1996. Grain nitrogen content of winter bread wheat (*Triticum aestivum* L.) as related to crop management and to the previous crop. *European J. Agron.* 5:273-286.
- Echeverría, HE; CA Navarro & FH Andrade. 1992. Nitrogen nutrition of wheat following different crops. *J. Agric. Sci. Camb.* 118:157-163.
- Echeverría, H; R Bergonzi & J Ferrari. 1994. Un modelo para estimar la mineralización de nitrógeno en suelos del sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Ciencia del Suelo* 12:56-62.
- Haverkort, AJ & DKL MacKerron. 2000. Management of nitrogen and water in potato production. Wageningen Pers, Wageningen, Holanda. 353 pp.
- Lázaro, L. 1996. Determinación del rendimiento de trigo ante cambios en la disponibilidad de nitrógeno generada por distintos antecesores. Tesis Magister Scientiae en Producción Vegetal. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Buenos Aires. 41 pp.
- Little, TM & FJ Hills. 1978. Agricultural experimentation. Design and analysis. John Wiley & Sons, New York, New York, USA. 350 pp.
- Meisinger, JJ. 1984. Evaluating plant available nitrogen in soil-crop systems. Pp. 391-416. En: RD Hauck (ed.) Nitrogen in crop production. Am. Soc. Agron., Crop Sci. Soc. Am., Soil Sci. Soc. Am. Madison, Wisconsin, USA.
- Sánchez, SR; GA Studdert & HE Echeverría. 1998. Dinámica de la mineralización del nitrógeno de residuos de cosecha en descomposición en un Argiudol Típico. *Ciencia del Suelo* 16:1-6.
- Steel, GD & JH Torrie. 1980. Principles and procedures of statistics. A biometrical approach. Second Edition. McGraw-Hill Book Company, New York, New York, USA. 633 pp.
- Studdert, GA & HE Echeverría. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1496-1503.
- Studdert, GA & RH Rizzalli. 1994. Rotaciones mixtas: efecto de los años de agricultura sobre el rendimiento del trigo. Pp 93-94. En: Actas III Congreso Nacional de Trigo y Primer Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño Invernal, Bahía Blanca, 26-28 de octubre de 1994.
- Studdert, GA; HE Echeverría & EM Casanovas. 1997. Crop-pasture rotation for sustaining the quality and productivity of a Typic argiudoll. *Soil Sci Soc. Am. J.* 61:1466-1472.
- Studdert, GA; LS Carabaca & HE Echeverría. 2000. Estimación del nitrógeno mineralizado para un cultivo de trigo en distintas secuencias de cultivos. *Ciencia del Suelo* 18:17-27.
- Walley, F; T Yates; JW van Groenigen & C van Kessel. 2002. Relationship between soil nitrogen availability indices, yield, and nitrogen accumulation of wheat. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:1549-1561.
- Willson, TC; EA Paul & RR Harwood. 2001. Biologically active soil organic matter fractions in sustainable cropping systems. *Applied Soil Ecology* 16:63-76.