

DESCOMPOSICIÓN DE RASTROJO DE CULTIVOS EN SIEMBRA SIN LABOREO: TRIGO, MAÍZ, SOJA Y TRIGO DESPUÉS DE MAÍZ O DE SOJA

Ernst, O.¹; Bentancur, O.¹ ; Borges, R.¹

Recibido: 30/04/01 Aceptado: 08/10/01

RESUMEN

Se estudió la tasa de descomposición de tallos de maíz, trigo y soja ubicados sobre la superficie del suelo y su posible modificación a través de la secuencia de cultivos (soja-trigo y maíz-trigo). Se determinó la evolución del peso seco y proporción de N de cada rastrojo durante 248 días en condiciones de campo. La tasa de descomposición del rastrojo de soja fue 2,5 veces mayor que la de maíz y 25% superior a la de trigo ($p < 0,05$). La proporción de N en el rastrojo aumentó con el tiempo en los rastrojo de maíz y trigo como consecuencia de un aumento en la cantidad de N inmovilizado. En soja la proporción de N y el peso seco se redujeron en forma proporcional por lo que la cantidad de N inmovilizado en el rastrojo descendió durante todo el período. La descomposición de trigo sobre rastrojo de soja fue más rápida que sobre rastrojo de maíz. No existió diferencia en la cantidad de N inmovilizada sobre rastrojo de soja o maíz pero el tiempo de inmovilización de N fue significativamente menor sobre soja ($p < 0,05$).

PALABRAS CLAVE: descomposición de rastrojo, nitrógeno, secuencia de cultivos, siembra directa

SUMMARY

DESCOMPOSITION OF CROP RESIDUES UNDER NO-TILL MANAGEMENT: WHEAT, CORN, SOYBEANS AND WHEAT AFTER CORN OR SOYBEANS

The rate of decomposition of corn, wheat and soybean residues located on the soil surface and its modification through the crop sequence (soybean-wheat and corn-wheat) was studied. Dry weight and N concentration during 248 days was determined. The rate of decomposition of the soybean stubble was significantly higher than corn and wheat stubble ($p < 0,05$). As a result of an increase in the amount of N immobilized the N concentration increased with time in corn and wheat. In soybean the N concentration and the dry weight were proportionally reduced and the amount of immobilized N in the stubble descended throughout the period. The wheat straw decomposition on soybean stubble was faster than on corn stubble. Difference in the amount of immobilized N did not exist on soybean or maize stubble but the time of N immobilization was significantly lower on soybean residue ($p < 0,05$).

KEY WORDS: residue decomposition, nitrogen, crop sequences, tillage

INTRODUCCIÓN

En Uruguay la siembra sin laboreo ha tenido un crecimiento importante en la última década, siendo utilizada en forma total o parcial por el 40% de los productores agrícolas del litoral (Scarlato *et al.*, 2001). Se desarrolló como

alternativa para el control de la erosión y la pérdida de fertilidad del suelo e implica la permanencia en el tiempo de una capa de rastrojo sobre la superficie del suelo.

Los residuos de cosecha de los cultivos dejados sobre la superficie del suelo normalmente persisten por más tiempo que los incorporados (Creus *et al.*, 1998) lo que genera una disponibilidad diferencial de nutrientes, en especial la de

¹Facultad de Agronomía. Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni. Paysandú. República Oriental del Uruguay. CP 60000. Correo electrónico: oernst@fagro.edu.uy

nitrógeno (N) (Schomberg *et al.*, 1994; Quemada y Cabrera, 1995) y funciona como fuente de inóculo para algunas enfermedades causadas por hongos saprofitos, como los causantes de manchas foliares en trigo y cebada (Stroo, 1986; Gamba, 1989). Por lo tanto, la velocidad de descomposición de los rastrojos sobre el suelo condiciona la secuencia de cultivos y la disponibilidad de nutrientes para éstos.

El proceso de descomposición de los residuos de cosecha depende de factores del ambiente edáfico como temperatura, humedad y disponibilidad de nutrientes (Hubbard y Jordan, 1996); factores inherentes al rastrojo como su concentración de N o relación C/N, contenido de lignina y carbohidratos solubles, y factores de manejo como la cantidad de rastrojo, el tamaño de partícula y el lugar de descomposición sobre o dentro del suelo (Brown y Dickey, 1970; Parr y Papendick, 1978).

En los rastrojos que se descomponen sobre el suelo, la calidad de los mismos definida por su concentración de N y lignina o relación C/N, es determinante de su tasa de descomposición (Mc Calla y Duley, 1943; Christensen, 1986; Vigil y Kiessel, 1991). La descomposición de rastrojos con más de 1,2% de N es producida fundamentalmente por bacterias, adquiriendo mayor relevancia la descomposición por hongos cuando los rastrojos tienen menos de 0,8% de N y alta proporción de lignina en sus tejidos (Griffin, 1972; Broder y Wagner, 1986; Collins *et al.*, 1990).

Douglas y Rickman (1992) dividieron el proceso de descomposición de rastrojos enterrados en dos fases. Durante la FASE I desaparecen las fracciones solubles en agua como azúcares, almidón, ácidos orgánicos, pectinas, taninos y una variedad de compuestos nitrogenados que están rápidamente disponibles para los microorganismos. En la FASE II la tasa de descomposición se reduce y existe poca diferencia entre rastrojos que inicialmente tuvieron concentraciones de N muy diferentes. Cuando los rastrojos se descomponen sobre el suelo no disponen de N adicional desde el suelo por lo que la FASE I es menos marcada y más dependiente de la constitución química del rastrojo. Esto determina una descomposición más lineal en el tiempo y similar a la FASE II de los rastrojos enterrados. Como consecuencia, los rastrojos con alta concentración de N se descomponen a una tasa similar independientemente de su ubicación en el suelo y los rastrojos con alta relación C/N son inmovilizadores de N por períodos más prolongados (Schomberg y Streiner, 1999).

La mezcla de rastrojos de constitución química contrastantes ha sido propuesta como una alternativa para mejorar la velocidad de descomposición de los rastrojos en superficie (Collins *et al.*, 1990). El desarrollo de hifas de hongos a través de las sustancias de distinta calidad permite la utilización de substratos de residuos adyacentes,

estimulando la descomposición de los compuestos de la mezcla que tienen menor calidad (Griffin, 1972).

El objetivo del trabajo es cuantificar la tasa de descomposición de rastrojos con constitución química inicial diferencial cuando son dejados sobre el suelo en sistemas de siembra sin laboreo y su posible modificación a través de la mezcla de rastrojos con diferente calidad dados por la rotación de cultivos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni (EEMAC) durante el período julio de 1999-marzo del 2000 en tres de las secuencias de cultivos evaluadas en un experimento mantenido sin laboreo desde 1993.

- * Soja sembrada sin laboreo sobre barbecho de invierno en tratamientos con agricultura continua desde 1993,
- * Soja sembrada sin laboreo sobre pradera de 3 años en tratamientos con rotación cultivo/pastura,
- * Maíz sembrado sin laboreo sobre barbecho de invierno en tratamientos con agricultura continua desde 1993.

Los rastrojos evaluados fueron tallos de trigo, soja y maíz obtenidos al momento de la cosecha de estos cultivos en diciembre de 1998 (trigo), marzo de 1999 (maíz), y mayo de 1999 (soja). Los mismos fueron conservados secos hasta el momento de colocarlos sobre la superficie del suelo, el 22 de julio de 1999.

Los rastrojos fueron colocados en bolsas de tul de 20cm*20cm, de color blanco con malla de 1mm con la cantidad de rastrojo equivalente a una producción de grano de 3000 kg/ha de trigo y soja y 8000 kg/ha de maíz, lo cual correspondió a 27g de soja, 11g de trigo y 32g de maíz. Esto permitió una cobertura de 100% de la superficie ocupada por cada bolsa (400 cm²).

El rastrojo de soja se colocó sobre los tratamientos que tuvieron cultivo de soja en 1999/2000, el de maíz sobre los que tuvieron maíz y el de trigo sobre ambos cultivos de verano.

En el Cuadro 1 se muestra la proporción de fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA) (Georing y Van Soest, 1970) y de N total de los rastrojos colocados en el campo el 22 de julio de 1999. La concentración de hemicelulosa fue estimada como la diferencia FDN – FDA.

El ensayo se realizó sobre un suelo Brunosol éutrico típico de la Unidad San Manuel cuyo contenido de materia orgánica en los primeros 5cm del perfil es de 4,8%.

A los 41, 69, 98, 132, 185 y 248 días post inicio del experimento se retiraron del campo dos bolsas al azar de cada rastrojo dentro de cada manejo anterior (secuencia de cultivo) y se cuantificó:

- * Peso seco a estufa hasta peso constante y
- * Nitrógeno total (Kjeldhal).

Cuadro 1. Composición química de los rastrojos de trigo, soja y maíz al inicio del experimento.

Rastrojo	Constitución química (%)			
	FDN [†]	FDA ^{††}	Hemicelulosa ^{†††}	N
Maíz	96.6	56	40.0	0.38
Trigo	84.9	59	25.5	0.52
Soja	79.6	62	17.6	1.57

[†] = Fibra Detergente Neutro.

^{††} = Fibra Detergente Ácida.

^{†††} = FDN-FDA.

En las mismas fechas se determinó nitrógeno en forma de nitratos ($N-NO_3^-$) en el suelo tomando una muestra compuesta por 3 sub-muestras de los primeros 5cm del perfil en el lugar ocupado por cada bolsa retirada.

Para cada rastrojo y manejo anterior se determinaron curvas de descomposición de rastrojos y cambio de la composición química en función del tiempo, tomando como variable dependiente la pérdida de peso seco, la concentración de N (%) y la cantidad de nitrógeno (g) en el rastrojo en términos absolutos y relativo al inicial.

Para cada variable se realizó la comparación de los coeficientes estimados (intercepto y pendiente).

Cuando no existió una relación lineal con el tiempo de descomposición, los datos fueron analizados como medidas sucesivas en el tiempo utilizando el procedimiento Mixed del sistema Statistical Analysis Systems (Ver. 6.11 1996; SAS Institute Inc., SAS Campus Drive, Cary, North Carolina U.S.A.).

Cuadro 2. Temperatura media (°C) y precipitaciones (mm) durante el período experimental (agosto de 1999 a mayo de 2000) y valor medio de la serie histórica para Paysandú (1938-1998).

Meses	Temperatura media (°C)			Precipitaciones (mm)		
	Media 1999/2000	Serie histórica	Diferencia	Media 1999/2000	Serie histórica	Diferencia
Agosto	13,0	14,0	-1,0	17,2	67	-49,8
Setiembre	14,5	15,8	-1,3	21,1	86	-64,9
Octubre	17,0	18,4	-1,4	63,3	118	-54,7
Noviembre	20,5	20,2	0,3	16,2	103	-86,8
Diciembre	23,0	24,4	-1,4	29,4	112	-82,6
Enero	25,0	27,3	-2,3	12	113	-101
Febrero	23,5	19,8	3,7	212	118	94
Marzo	22,0	21,5	0,5	90,3	140	-49,7

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones climáticas

Las condiciones climáticas durante el período experimental resultaron más secas y cálidas que el promedio histórico durante los primeros 195 días, situación que se revirtió en los últimos 53 días (Cuadro 2).

Entre el 1° de agosto de 1999 y el 11 de febrero del 2000 se acumularon 470mm de déficit en relación a las precipitaciones registradas en la serie histórica de referencia, lo que puede estar determinando una subestimación de la velocidad de descomposición de rastrojos ubicados sobre la superficie del suelo.

Aulakh *et al.*, (1991) mencionan que el régimen de humedad es importante al inicio del proceso de descomposición y mas aún en aquellos rastrojos de baja relación C/N.

Stoot *et al.*, (1989) mencionan que la humedad influye de una forma importante sobre la descomposición de los compuestos fácilmente degradables y que, luego de la desaparición de éstos, pierde importancia.

Descomposición de rastrojo de maíz, trigo y soja sobre el suelo

Existió una relación lineal significativa ($p < 0,05$) entre el peso seco de los tres rastrojos considerados y el tiempo de descomposición sobre el suelo (Cuadro 3).

La tasa de pérdida de peso seco del rastrojo de maíz fue 2,1 y 2,5 veces menor que la de trigo y soja respectivamente ($p < 0,05$), mientras que para el rastrojo de trigo sólo se detectó una tendencia con relación al de soja ($p < 0,11$).

Cuadro 3. Coeficientes de regresión (b) para los cambios de peso y de contenido de nitrógeno de los rastrojos de maíz, soja y trigo ubicados sobre el suelo, en función del tiempo de descomposición.

Fuente de variación	Tasa de cambio diaria como proporción de la cantidad al inicio del experimento	
	Peso Seco	Nitrógeno
Rastrojo	b	b
Maíz (b ₁)	-0,058 †	0,287 ††
Soja (b ₂)	-0,153 ††	-0,131 ††
Trigo (b ₃)	-0,122 ††	-0,010 ns
b ₁ -b ₂	0,0998 ††	0,418 ††
b ₁ -b ₃	0,064 †	0,298 ††
b ₂ -b ₃	-0,031 +	-0,120 †

† = p£0,01.

†† = p£0,05.

+ = tendencia p£0,11

ns= no significativo

Coincidiendo con resultados obtenidos por Douglas y Rickman (1992) y Sanches *et al.*, (1996) para rastrojos en superficie, la pérdida de peso de los tres rastrojos evaluados fue lineal con el tiempo y proporcional a la concentración de N inicial de los rastrojos, no detectándose la fase inicial rápida (FASE I) de descomposición.

La cantidad de N inmovilizada en el rastrojo de maíz aumentó en forma lineal con el tiempo y se redujo en el de soja (Cuadro 3). En el rastrojo de trigo el comportamiento fue no lineal. Como consecuencia del balance entre pérdida de peso y cantidad de N inmovilizado, la concentración de N aumentó con el tiempo en los rastrojos de maíz y trigo y permaneció constante en el de soja (Figura 1).

El incremento en la concentración de N en el rastrojo de maíz está explicado por un aumento en la concentración del nutriente provocada por la pérdida de peso y la inmovilización adicional desde el suelo. A los 41 días, el rastrojo de maíz presentó un 33% más de N respecto a la cantidad inicial. Este valor continuó aumentando hasta el quinto muestreo (185 días) y a los 248 días aún estaba inmovilizado un 57% más de N que al inicio del experimento.

En el rastrojo de trigo existió una fase de aumento en la cantidad de N inmovilizado sólo durante los primeros 100 días de descomposición, por lo que el aumento en la concentración de N durante este período se explica por la pérdida de peso e inmovilización adicional de N.

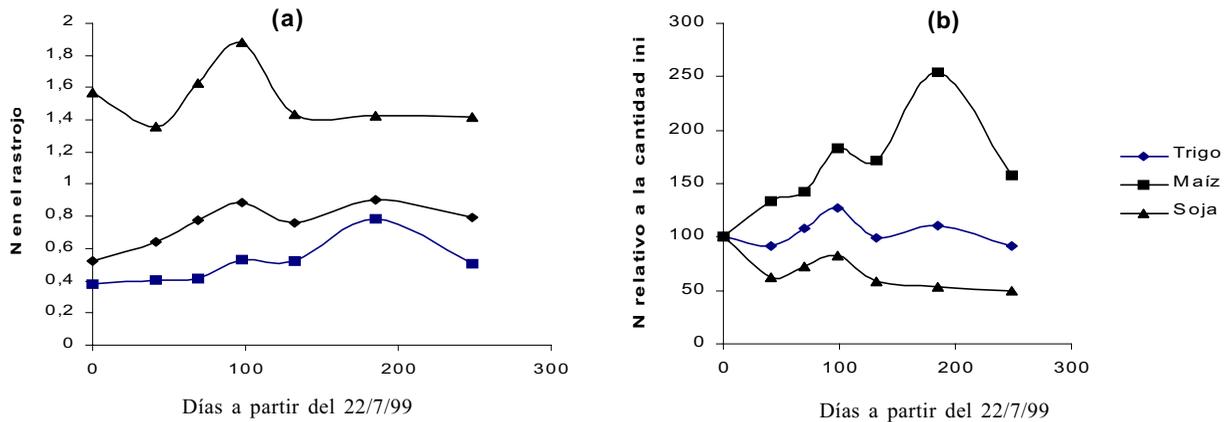


Figura 1. Evolución de la concentración de N (%) en rastrojo de trigo, maíz y soja descomponiéndose sobre el suelo (a) y de la cantidad inmovilizada en cada rastrojo expresada como un porcentaje de la cantidad al inicio del experimento (b).

En el rastrojo de soja la concentración de N no se modificó con el tiempo por lo que existió una pérdida neta de N a una tasa equivalente a la pérdida de peso seco.

Los resultados son coincidentes con los obtenidos por Creus *et al.*, (1998) y Sanches *et al.*, (1996), quienes también cuantificaron aumentos en la concentración de N de rastrojo de maíz descomponiéndose sobre el suelo, generando una inmovilización temporaria adicional de N. A su vez, en rastrojos con alta relación C/N, durante su descomposición, el N es liberado más lentamente que el carbono lo que produce un aumento en la concentración de N del residuo a medida que avanza el proceso (Wilson y Raymer, 1992; Schomberg *et al.*, 1994).

El comportamiento del rastrojo de soja se explica por su alta concentración de N inicial (1,6%), lo que sería suficiente para mantener la actividad de los microorganismos encargados de la descomposición. La mineralización de N desde el rastrojo en superficie es fuertemente afectada por el contenido inicial de los mismos (Frankenberger y Abdemagid, 1985; Christensen, 1986; Vanlauwe *et al.*, 1994), existiendo una correlación positiva entre tasa de descomposición y la pérdida de N inicial (Vigil y Kissel, 1991).

Si bien el déficit hídrico registrado durante el período experimental podría estar sobrestimando la cantidad de rastrojo residual en condiciones climáticas promedio, a los 180 días de descomposición, período que normalmente separa la cosecha de un cultivo de la siembra del mismo cultivo en la zafra siguiente, aún estaría presente el 90% del rastrojo de maíz, el 82% del de trigo y el 73% del de soja, por lo que en ningún caso existiría un problema de

cobertura de suelo. Sin embargo, la cantidad y la duración del período de inmovilización serían diferentes según el tipo de rastrojo presente. Debe considerarse que la cantidad de N inmovilizada depende de la concentración de N en el rastrojo y de la cantidad de rastrojo presente. Para el caso en estudio, a los 180 días de descomposición quedaban 7200 kg/ha de tallos de maíz con un 0,79% de N lo que significan 56 kg/ha de N inmovilizados, de los cuales sólo 30 kg/ha lo estaban al inicio del experimento. En el caso de trigo quedaban 2255 kg/ha de rastrojo inmovilizando 20 kg/ha de N, de los cuales 14 kg/ha ya estaban al inicio del experimento. En el rastrojo de soja, de los 106 kg/ha de N presente en el rastrojo inicial, a los 180 días sólo quedaban 70 kg/ha.

Efecto del cultivo anterior sobre la descomposición de rastrojo de trigo sobre el suelo

La tasa diaria de pérdida de peso del rastrojo de trigo sobre rastrojo de soja tendió a ser mayor que sobre rastrojo de maíz (0,13% contra 0,092% respectivamente, $p < 0,019$), lo que determinó diferencias significativas en el peso seco residual en etapas avanzadas de la descomposición (Figura 2).

Tampoco se detectó una fase inicial de descomposición diferencial según el cultivo anterior, pero a los 248 días el rastrojo de trigo sobre rastrojo de soja perdió 47% de su peso inicial y sobre rastrojo de maíz el 38% ($p < 0,05$). La existencia de tasas de descomposición diferencial se asocia a una constitución química inicial diferente o a niveles

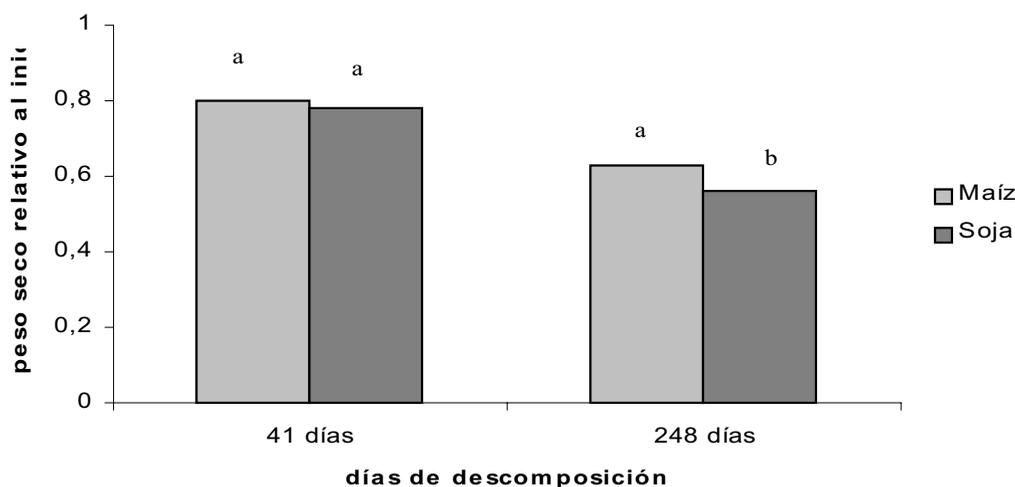


Figura 2. Pérdida de peso seco de rastrojo de trigo descomponiéndose sobre rastrojo de soja o maíz a los 41 y 248 días de descomposición. Valores con la misma letra dentro de fechas no difieren entre sí $p \leq 0,05$.

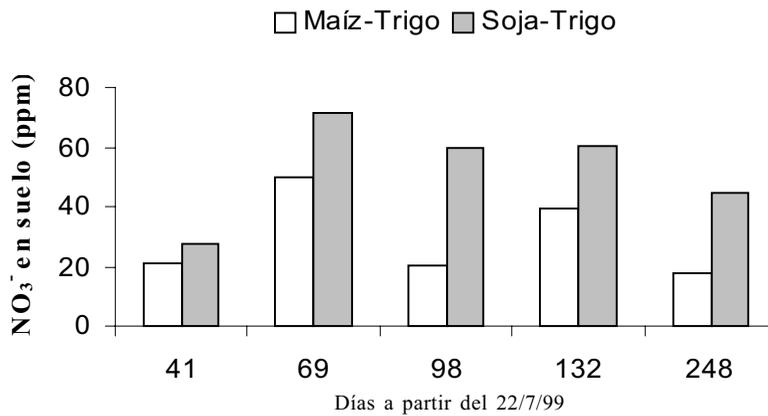


Figura 3. disponibilidad de NO₃⁻ en el suelo (0-5 cm) en los tratamientos maíz-trigo y soja-trigo.

de disponibilidad de N en el suelo contrastantes. Como se muestra en la Figura 3, la disponibilidad de N- NO₃⁻ en los primeros 5cm del perfil fue superior a 20ppm durante todo el período.

Stroo y Elliot (1989) estudiaron la posibilidad de que la fertilidad del suelo modificara la tasa de descomposición de residuos en superficie. Trabajando con diferentes cantidades de rastrojo de trigo sobre el suelo, no encontraron diferencias significativas entre las tasas de descomposición con contenidos de materia orgánica de entre 1,3% a 3,6%. Blackmer y Green (1995) trabajando con ¹⁵N demostraron que la descomposición de rastrojos se entelrece cuando el N del suelo+fertilizante es limitante, pero que por encima de determinado nivel, esto deja de tener efecto, por lo que la fertilidad del suelo representa una limitante para la descomposición de rastrojos en superficie sólo a

niveles muy bajos. Dado el nivel de materia orgánica del suelo sobre el que se realizó el estudio (4,8%) y la disponibilidad de N- NO₃⁻ en el suelo a lo largo del período evaluado, las diferencias en la velocidad de descomposición cuantificadas deben asignarse a la modificación de la constitución química inicial del rastrojo a descomponer, en este caso, trigo-soja o trigo-maíz.

La concentración de N en el rastrojo de trigo se incrementó con el tiempo sobre ambos rastrojos pero a tasas diferenciales. Sobre soja el incremento fue más rápido, alcanzando una concentración cercana al 1% a los 100 días de descomposición, mientras que sobre maíz lo logró a los 185 días (p<0,05) (Figura 4).

Sobre ambos rastrojos la concentración de N aumentó como consecuencia de la inmovilización de una cantidad adicional de N similar (aproximadamente 6 kg/ha), pero el

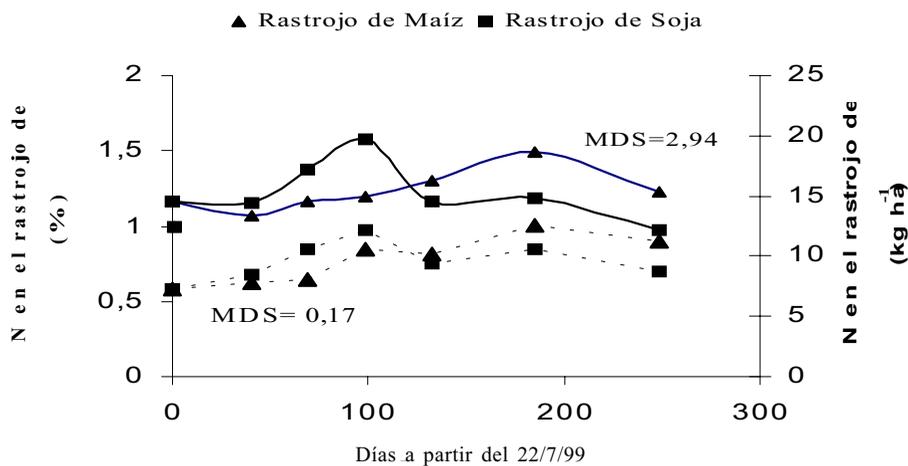


Figura 4. Evolución de la concentración de N (----) y cantidad de N (—) inmovilizados en el rastrojo de trigo descomponiéndose sobre rastrojo de maíz soja.

proceso fue más rápido sobre soja que sobre maíz. Como lo demuestran Griffin (1972) y Collins *et al.*, (1990), la mezcla de rastrojos con distinta calidad permite el desarrollo de hifas de hongos a través de los mismos mejorando la descomposición del residuo de menor calidad. Es probable que el rastrojo de trigo sobre soja comenzara una pérdida neta de N a partir de los 100 días de descomposición producto de una mayor disponibilidad de N para los microorganismos en el complejo trigo-soja que en trigo-maíz. En el primer caso, el trigo es el único rastrojo que requiere N adicional el que, a su vez, está disponible en el rastrojo de soja. En el complejo trigo-maíz, ambos rastrojos requieren N adicional durante la descomposición, lo que enlentece el proceso.

A los 248 días de descomposición el rastrojo de trigo perdió el 30% del N inicial, mientras que sobre maíz aún inmovilizaba el 100%. De acuerdo a esta información, la secuencia de cultivos tendría más efecto sobre la magnitud y duración de la inmovilización de N que sobre la tasa de desaparición del rastrojo de trigo.

BIBLIOGRAFÍA

- AULAKH, M.S.; DORAN, J.W.; WALTERS, D.; MOSIER, A.R. and FRANCIS, D.D. 1991. Crop Residue Type and Placement effects on denitrification and mineralization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55:1020-1025.
- BLACKMER, A.M.; GREEN, C.J. 1995. Nitrogen Turnover by Sequential immobilization and mineralization during residue decomposition in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:1052-1058.
- BRODER, M.W.; WAGNER, G.H. 1988. Microbial colonization and decomposition of corn, wheat, and soybean residue. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52:112-117.
- COLLINS, H.P.; ELLIOT, L.F.; RICKMAN, R.W.; BEZDICEK, D.F. and PAPENDICK, R.I. 1990. Decomposition and interactions among wheat residue components. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:780-785.
- CHRISTENSEN, B.T. 1986. Barley straw decomposition under field initial nitrogen content on weight loss and nitrogen dynamics. *Soil Biol. Biochem.* 18:523-529.
- DOUGLAS, C.L., JR.; ALLMARAS, R.R.; RAMIG, P.E.; ROAGER, N.C., JR. 1980. Wheat straw composition and placement effects on decomposition in dryland agriculture of the Pacific Northwest. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:833-837.
- DOUGLAS, C.L., JR.; RICKMAN, R.W. 1992. Estimating crop residue decomposition from air temperature, initial nitrogen content, and residue placement. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 272-278.
- GREGORING; VAN SOEST. 1970. Forage fiber analysis (apparatus, reagents, procedure and some applications). USDA Agriculture Handbook No 379.
- SANCHEZ, S.R.; STUDDERT, G.A. and ECHEVERRIA, H.E. 1996. Descomposición de residuos de cosecha en un argiudol típico. *Ciencia del Suelo.* 14:63-68.
- SANCHEZ, S.R.; STUDDERT, G.A. and ECHEVERRIA, H.E. 1998a. Dinámica de la mineralización del nitrógeno de residuos de cosecha en descomposición en un argiudol típico. *Ciencia del Suelo.* 16:1-6.
- SANCHEZ, S.R.; STUDDERT, G.A. and ECHEVERRIA, H.E. 1998b. Descomposición de residuos de cosecha de maíz y dinámica del nitrógeno en el suelo. *Ciencia del Suelo.* 16: 51-57.
- SCHOMBERG, H.H.; STEINER, J.L. and UNGER, P.W. 1994. Decomposition and nitrogen dynamics of crop residues: residue quality and water effects. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:372-381.
- SCHOMBERG, H.H.; STEINER, J.L. 1999. Nutrient dynamics of crop residues decomposing on a fallow no-till soil surface. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 607-613.
- STROO, H.F.; BRITOW, K.L.; ELLIOT, L.F.; PAPENDICK, R.I. and CAMPBELL, G.S. 1989. Predicting rates of wheat residue decomposition. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:91-99.
- PARR, J.F.; Papendick 1978. Crop residue management systems. U.S.A., ASA, CSSA, SSSA.
- VIGIL, M.F.; KISSEL, D.E.; SMITH, S.J. 1991. Field crop recovery and modeling of nitrogen mineralized from labeled sorghum residues. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55:1031-1037.