

EFFECTO DEL LABOREO SUB-SUPERFICIAL Y MANEJO DEL BARBECHO QUÍMICO SOBRE LA DISPONIBILIDAD DE N-NO₃⁻ EN EL SUELO Y RENDIMIENTO DE MAÍZ EN SIEMBRA DIRECTA DESPUÉS DE AVENA PASTOREADA

Ernst, O.¹, Bentancur, O.²

Recibido: 11/12/03 Aceptado: 29/09/04

RESUMEN

La siembra directa (SD) de maíz en Uruguay ocupa solo el 12% de la superficie sembrada, contrastando con otros cultivos de verano como soja y girasol. En predios lecheros el cultivo se ubica frecuentemente luego de verdeos de invierno pastoreados; menores rendimientos en grano con SD, comparado al manejo tradicional con laboreo, ha sido atribuido a fallas en la implantación debidas a la compactación del suelo. Se evaluó el efecto residual del uso o no de paraplow como laboreo sub-superficial en la primavera anterior a la siembra directa de maíz (P-SD vs. SD) y su interacción con una combinación de días de rebrote de la avena post-pastoreo y días entre aplicación de herbicida y siembra de maíz dejando el rastrojo en superficie (15+50, 33+32 y 10+12). El tratamiento 33+32 también fue evaluado retirando el rastrojo (33+32-R). El uso de paraplow no redujo la resistencia a la penetración del suelo hasta 0,1m, pero si lo hizo a mayor profundidad hasta 0,4m. La concentración de N-NO₃⁻ a la siembra fue incrementada por los días de barbecho químico sin interacción con uso de paraplow. Con 15+50 hubieron 13 mg kg⁻¹ de N-NO₃⁻ en los primeros 0,2m del suelo y 5 mg kg⁻¹ de N-NO₃⁻ con 10+12. El paraplow generó mayor número de plantas (45549 contra 52292 pl.ha⁻¹ para SD y P-SD, respectivamente) determinando mayor rendimiento en grano (5015 contra 6192 kg.ha⁻¹). El mejor rendimiento en grano se logró con 33+32, un incremento del 15% con relación a 10+12 en SD y 25% en P-SD.

PALABRAS CLAVE: paraplow, descompactación, no laboreo.

SUMMARY

EFFECT OF SUB-SURFACE TILLAGE AND CHEMICAL FALLOW MANAGEMENT ON SOIL N-NO₃⁻ DISPONIBILITY AND YIELD OF NO-TILL CORN PLANTED ON GRAZED OATS

Only 12% of the total corn area in Uruguay is planted under no tillage (NT) systems, unlike other summer crops like sunflower or soybean. In dairy production farms, corn is frequently planted after winter-grazed oats. Lower corn grain yields with NT have been attributed to implantation failures due to surface soil compaction.

We studied the residual effect of paraplowing to 0,4m depth (P-NT) vs. regular NT as sub-superficial tillage during the spring previous to the corn crop, and its interaction with a combination of days of oat regrowth and days between total herbicide application and corn planting, leaving the oat-stubble on the soil surface (15+50, 33+32, and 10+12). Treatment 33+32 also was evaluated removing the stubble (33+32-R). P-NT reduced soil strength between 0,1 and 0,4m depth, but not in the upper 0,1m. Soil N-NO₃⁻ concentration was increased

¹Estación Experimental "Dr. Mario A. Cassinoni". Departamento de Producción Vegetal. Facultad de Agronomía. Paysandú. República Oriental del Uruguay. CP 60000.

Correo electrónico: oenrst@fagro.edu.uy

²Estación Experimental "Dr. Mario A. Cassinoni". Departamento de Biometría, Estadística y Computación. Facultad de Agronomía. Paysandú. República Oriental del Uruguay. CP 60000.

($P=0,05$) by the length of the chemical fallowing, showing no significant interaction with paraplowing. The amount of $N-NO_3^-$ in the first 0,2m of soil profile was $13mg\ kg^{-1}$ with 15+50, and $5mg\ kg^{-1}$ with 10+12. NT without paraplowing determined a lower number of corn plants (45549 vs. $52292\ pl.ha^{-1}$, respectively, for NT and P-NT), which resulted in lower grain yield (5015 vs. $6192\ kg\ ha^{-1}$). The best corn grain yield was obtained with 33+32, being 15% and 25% greater than 10+12 with NT and P-NT, respectively.

KEY WORDS: paraplow, descompactation, no tillage

INTRODUCCIÓN

En Uruguay la siembra sin laboreo de cultivos de maíz es realizada solo por el 26% de los productores agrícolas que los siembran, lo que representa el 12% de la superficie. Esto contrasta con lo registrado en girasol y soja, cultivos en los que más del 70% de los productores lo siembran sin laboreo (Scarlatto *et al.*, 2001). En predios lecheros solo el 20% de los productores que ya adoptaron la siembra sin laboreo siembran maíz, mientras que el sorgo forrajero lo siembran más del 40% y los verdes de invierno más del 90% (Ernst *et al.*, 2001). Para ambos grupos de productores las fallas en la implantación del cultivo son una de las principales limitantes para la adopción de la técnica (Scarlatto *et al.*, 2001; Ernst *et al.*, 2001).

Ernst (1999) resumió resultados experimentales obtenidos en cultivos de verano en Uruguay entre 1981 y 1994. Concluyó que los menores rendimientos de los cultivos de verano sembrados sin laboreo, con relación a los sembrados con laboreo, responden al menor número de plantas obtenidas y en algunos casos, menor rendimiento por planta y que esto se asocia a cultivos sembrados al inicio de la estación de crecimiento sobre praderas viejas o verdes de invierno.

En estas condiciones, Martino (2001) cuantificó incrementos de más del 40% en el rendimiento de maíz y girasol con siembra directa luego de un laboreo sub-superficial con paraplow, en relación a la siembra directa sin laboreo del subsuelo. Las variaciones de rendimiento estuvieron asociadas a mejoras en implantación, en crecimiento del cultivo y en rendimiento individual de las plantas. Resultados similares obtuvo Díaz-Zorita (2000) trabajando en suelos limo-arenosos degradados de Argentina en una rotación soja-maíz y Touchton *et al.* (1989) en Alabama para una secuencia raigrás (*Lolium multiflorum*) pastoreado-maíz para grano. En los dos últimos casos el uso de un laboreo profundo con paratill o paraplow mejoró significativamente la producción de materia seca de maíz y su rendimiento en grano.

Varsa *et al.* (1997), lograron incrementos de rendimiento de maíz sembrado sin laboreo en respuesta al efecto residual del subsolado en un suelo limoso con suela de arada

a 20 cm de profundidad de entre 900 a 3100 $kg.ha^{-1}$, dependiendo del régimen hídrico del año. Resultados obtenidos por Evans *et al.* (1996) entre 1989 y 1991 en suelos arcillosos de Minnesota, indican que el subsolado del suelo no necesariamente resulta en una mejora de los rendimientos ni disponibilidad de humedad, particularmente si la compactación no es evidente.

Kapusta *et al.* (1996), no registraron diferencias significativas en el rendimiento en grano de maíz sembrado con laboreo convencional, laboreo reducido, laboreo en años alternados y no laboreo, cuando se corrigieron las deficiencias de nutrientes con la aplicación de fertilizante en cobertura.

Varios autores atribuyen el menor rendimiento de maíz sembrado sin laboreo a fallas en la implantación asociadas a menor temperatura de suelo (Fortin, 1993; Hayhoe *et al.*, 1996); y otros a liberación y o producción de fitotoxinas desde los rastrojos dejados sobre la superficie del suelo (Martín *et al.*, 1990).

Kimber, (1973) and Raimbault *et al.* (1991), encontraron que la producción de compuestos fitotóxicos de rastrojos avena, raigrás y trigo entre otros, ocurre mayormente durante los primeros estados de la descomposición, reduciéndose sensiblemente después de los primeros 12 días. Resultados similares obtuvieron Tang y Waiss, (1978) cuantificando ácido acético, butírico y propiónico durante la descomposición de paja de trigo.

El tiempo de desecación es una de las variables determinantes de la calidad del rastrojo que deja el verdeo invernal y de su calidad (Wagger, 1989). Cuanto más temprano se realiza la aplicación de herbicida mayor la calidad del rastrojo, lo que permite una rápida acumulación de $N-NO_3^-$ en el suelo a la siembra del cultivo siguiente. Cuando el tiempo de barbecho se acorta, la disponibilidad del nutriente a la siembra es baja, lo que debe ser corregido por fertilización nitrogenada (Vaughan y Evanylo, 1998; Sainju y Singh, 2001). Por el contrario, si el período de barbecho es excesivo podrían favorecerse pérdidas del nutriente por lavado. En estos casos, los rastrojos con mayor relación C/N resultan una mejor opción, ya que aportan el N más tardíamente. (Mansoer *et al.*, 1997; Müller y Sundman, 1988).

El objetivo de este estudio es evaluar el efecto residual de la descompactación sub-superficial del suelo y el tiempo entre aplicación del herbicida y siembra de maíz sembrado sin laboreo luego de un cultivo de avena con pastoreo directo, sobre la implantación, crecimiento y producción de grano del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se instaló en la Estación Experimental "Dr. Mario A. Cassinoni" de la Facultad de Agronomía (32° S, 56° W), en un Brunosol Eutrítico Típico (Typic Argiudoll) de la Unidad San Manuel (MGAP, 1976) con 3,8% de materia orgánica (Walkey y Blak, 1976) y 12 ppm de fósforo (Bray 1) en los primeros 0,2 m del perfil.

Entre 1996 y 2000 el área experimental fue sembrada sin laboreo con una secuencia de cultivos forrajeros con pastoreo directo con vacas lecheras.

Tratamientos

Se evaluó un factorial de dos manejos de suelo, siembra directa (SD) y siembra directa sobre un laboreo sub-superficial con paraplow en el cultivo de avena previo (P-SD) y cuatro manejos del período de barbecho (Cuadro 1).

El diseño experimental corresponde a parcelas divididas en tres bloques al azar, ubicándose los tratamientos SD

y P-SD en las parcelas mayores (25 x 6 m²) y los de manejos de barbecho en las parcelas menores (5 x 6 m²).

El experimento se instaló en octubre de 1999, sobre un rastrojo de sorgo forrajero. El laboreo sub superficial se realizó con un paraplow a 0.45 m de profundidad. El cultivo de verano no se sembró como consecuencia de la sequía ocurrida entre el Agosto de 1999 y Febrero del 2000 (440 mm de déficit de precipitaciones en el período con respecto a la media histórica). El 4 de abril del 2000 se sembró avena sin laboreo en toda el área experimental, la que fue pastoreada con vacas lecheras en tres fechas (29 de mayo, 30 de junio y 15 de julio) con una producción total de materia seca para el período de 2930 kg.ha⁻¹ y 2525 kg.ha⁻¹ para el promedio de los tratamientos SD y P-SD respectivamente.

Los manejos de barbecho se iniciaron luego del pastoreo del 15 de julio del 2000. En todos los casos se aplicó 1,5 l.ha⁻¹ de glifosato con 100 l.ha⁻¹ de agua. El tratamiento con el pastoreo adicional del 28 de Setiembre se realizó con una vaca de 430 kg de peso vivo por parcela durante 4 horas con un contenido de agua en el suelo en los primeros 0,2m del perfil de 160 g.kg⁻¹.

El tratamiento 33+32 -R el rastrojo fue retirado 10 días post aplicación del herbicida.

El maíz (Pioneer 752) fue sembrado el 20 de octubre con una sembradora SEMEATO SH 11 a razón de 60000 semillas viables.ha⁻¹ a 0,6 m entre filas.

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos evaluados.

Laboreo sub superficial	Fecha de último pastoreo	Días de rebrote	Días de Barbecho químico	Rastrojo	Nomenclatura
Si					P-SD
	15/8	15	50	En pie	15+50
	15/8	33	32	En pie	33+32
	15/8	33	32	Retirado	33+32 -R
	28/9	10	12	En pie	10+12
No					SD
	15/8	15	50	En pie	15+50
	15/8	33	32	En pie	33+32
	15/8	33	32	Retirado	33+32 -R
	28/9	10	12	En pie	10+12

Determinaciones

A la siembra del maíz se determinó la humedad gravimétrica y concentración de $N-NO_3^-$ en los primeros 0,2 m del perfil. Para ello se tomó una muestra compuesta de 5 sub muestras al azar por parcela. Para determinar la humedad las muestras se secaron a 105° C hasta peso constante y para $N-NO_3^-$ se secaron a 50° C. Igual metodología se siguió cuando el maíz estaba en cuatro hojas verdaderas (V4).

La resistencia a la penetración del suelo se determinó con un penetrómetro manual (SOIL TEST INC. CL 700) tomando 5 medidas entre 0 y 0,1 m; 0,1 y 0,2 m y 0,2 a 0,3 m en tres sitios al azar por parcela mayor después del último pastoreo.

Cuando el maíz estuvo en V4 se cuantificó la población final obtenida contando el número de plantas en 12 m lineales de hilera del cultivo (3 m x 4 hileras centrales de la parcela), se tomaron 10 plantas al azar por parcela determinando su estado fenológico, peso seco y concentración de nitrógeno (N).

De igual manera se cuantificó a la cosecha el número de espigas. ha^{-1} , rendimiento por espiga y rendimiento ha^{-1} de grano con 14% humedad.

Los datos fueron analizados utilizando el procedimiento GLM del sistema Statistical Analysis Systems (Ver. 6.11 1996; SAS Institute Inc., SAS Campus Drive, Cary, North Carolina U.S.A.).

Las relaciones directas e indirectas entre rendimiento en grano y sus componentes, se estudiaron a través de ecuaciones estructurales (coeficientes de sendero), usando el procedimiento CALIS del mismo paquete estadístico.

co. Las variables involucradas en dicho análisis fueron número de plantas por hectárea, espigas por planta, rendimiento por espiga, rendimiento por planta y rendimiento por hectárea. También se estudió el efecto directo del laboreo sobre el número de plantas por hectárea a través de un análisis de varianza, utilizando el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización climática

Las lluvias totales durante el período de crecimiento del cultivo de maíz fueron 317mm y la demanda atmosférica fue de 867 mm (Cuadro 2).

El cultivo enfrentó una alta demanda durante el período V4 a R1 pero hubieron dos lluvias que totalizaron 43 mm durante el período de máxima sensibilidad al déficit hídrico (10 días en torno a la floración femenina).

Resistencia a la penetración del suelo y concentración de $N-NO_3^-$.

En la figura 1 se presenta el valor medio de resistencia a la penetración del suelo para tres intervalos de profundidad.

El laboreo sub-superficial en la primavera anterior mostró un efecto residual significativo sobre la resistencia a la penetración del suelo entre 0,1 m y 0,3 m de profundidad. En los primeros 0,1 m no hubo diferencias significativas entre SD y P-SD, lo que podría atribuirse al efecto del pisoteo animal provocado por los pastoreos realizados al cultivo de avena.

Cuadro 2. Lluvia (mm), días con lluvia, temperatura media del aire (°C) y demanda atmosférica (mm) desde 10 días pre-siembra de maíz hasta madurez fisiológica.

	Lluvia (mm)	Días con lluvia	Temperatura media (°C)	Eta (mm)	Demanda mm día ⁻¹
15 días pre-siembra	29	7	16,2	79	-
Siembra-V4	61	17	18,4	147	4,9
V4-R1	157	17	22,2	349	7,6
R1-MF	70	11	29,3	292	7,1
Total	317	52	21,5	867	-

V4= maíz con 4 hojas verdadera.
R1=floración.
Eta Evaporación de Tanque "A".

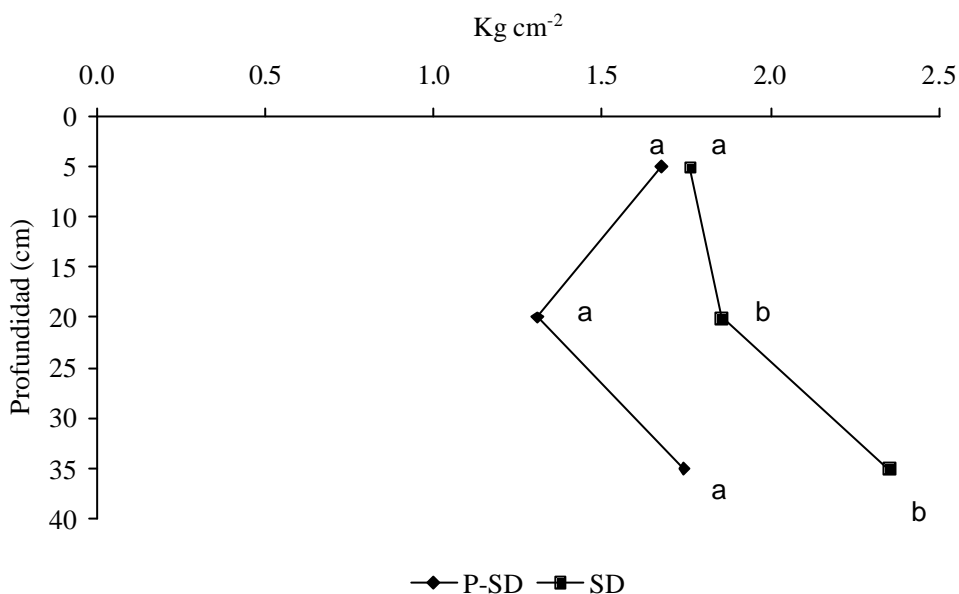


Figura 1. Resistencia a la penetración del suelo a la siembra de maíz sembrado sin laboreo con (P-SD) o sin (SD) laboreo sub-superficial con paraplow. Valores seguidos por la misma letra dentro de profundidad no difieren entre sí $P \leq 0,05$.

Bottaro *et al.* (1999) cuantificaron un incremento de resistencia a la penetración del suelo mayor, luego de un período de pastoreo invernal, en avena sembrada con laboreo intensivo que en avena sembrada sin laboreo, lo que determinó que no hubiera diferencias significativas entre tratamientos al finalizar el experimento.

En el cuadro 3 se presenta el efecto cuantificado en la disponibilidad de $N-NO_3^-$ en los primeros 0,2 m del perfil, a la siembra del cultivo de maíz y al estadio V4.

A diferencia de trabajos citados por Martino (2001) no existió efecto positivo de P-SD ni su interacción con el manejo del barbecho sobre la concentración de $N-NO_3^-$ en

Cuadro 3. Concentración de $N-NO_3^-$ en los primeros 0,2 m del suelo a la siembra de maíz y al estadio de 4 hojas (V4) para siembra sin laboreo sobre suelo descompactado con paraplow (P-SD) y sin descompactar (SD) y cuatro manejos de barbecho.

Momento		
Barbecho	Siembra	V4
15+50	13 a	19 a
33+32	7 bc	14 a
33+32 -R	9 b	16 a
10+12	5 c	13 a
P-SD	9 a	16 a
SD	7 a	15 a

Valores seguidos por la misma letra dentro de columna no difieren entre sí $P \leq 0,05$.

el suelo, registrándose solo efecto significativo del manejo de barbecho. Los resultados coinciden con los presentados por Díaz-Zorita, (2000), quien cuantificó una respuesta significativa en concentración de $N-NO_3^-$ en el suelo al comparar laboreo contra no laboreo, pero no entre tratamientos con y sin laboreo sub superficial previo. Es posible que los resultados sean consecuencia de que el trabajo con el paraplow fue realizado un año antes de la siembra del maíz evaluado.

El tratamiento con 15 días de rebrote de avena post-pastoreo y 50 días entre aplicación del herbicida total y siembra de maíz (15+50) determinó la mayor disponibilidad de $N-NO_3^-$ a la siembra y la más baja fue con un pastoreo adicional el 28/9 (10+12). Los demás tuvieron un comportamiento intermedio, existiendo una tendencia a aumentar la concentración de $N-NO_3^-$ con el retiro del rastrojo, cuando el período de barbecho químico se redujo de 50 a 32 días (15+50 contra 33+32 -R). Resultados similares han sido obtenidos por otros autores, quienes atribuyen estas diferencias a dos factores. Por un lado, la acumulación de $N-NO_3^-$ en el suelo producto del cese de la absorción del cultivo previo y por otro, a la reducción del proceso de inmovilización producido por altas cantidades de rastrojos asociadas a reducidos períodos de barbecho químico. Alvarez, *et al.* (2000) detectaron diferencias en $N-NO_3^-$ en el suelo entre tratamientos con y sin crecimiento vegetal a partir de 24 días pos-aplicación del herbicida total y da Costa, *et al.* (2002), trabajando en una secuencia avena-sorgo granífero, determinaron una relación lineal positiva entre los días de barbecho químico y la concentración de $N-NO_3^-$ en el suelo a la siembra. Cuando el período de barbecho fue de solo 19 días, el retiro de forraje a través del pastoreo no revirtió el efecto, lo que los autores lo atribuyeron a la absorción de la avena y al corto período post aplicación de herbicida. Sawchik (2001), para una secuencia cultivo de verano posterior a una mezcla de *Avena sativa* y *Lolium multiflorum*, reportó que la disponibilidad de $N-NO_3^-$ en el suelo fue significativamente menor con 16 días de barbecho que con 72 días, no existiendo repuesta adicional al máximo evaluado de 106 días. Saingu y Singh (2001) concluyeron que, si bien el retraso en el inicio del barbecho químico en una secuencia *Vicia villosa Roth*-maíz permitió aumentar la cantidad de nitrógeno fijado por la leguminosa invernal, el tiempo entre la aplicación del herbicida y la siembra del maíz fue determinante de la cantidad del nutriente disponible al inicio de la estación de crecimiento.

Al estadio V4 del maíz, desapareció el efecto significativo del manejo del período de barbecho y en todos los casos existió una disponibilidad mayor que a la siembra. A este estadio el tiempo mínimo entre la aplicación del herbi-

cida total y la fecha de la determinación fue de 42 días y el cultivo de maíz aun no había iniciado la fase rápida de crecimiento y absorción de N, lo que confirmaría la importancia del tiempo de acumulación como determinante de la concentración de $N-NO_3^-$ en el suelo.

En la figura 2 se presenta la relación entre días desde la aplicación del herbicida total y acumulación de $N-NO_3^-$ en el suelo.

Los resultados obtenidos a la siembra y a V4 se ubican sobre la misma recta de regresión, indicando que la variable determinante de la disponibilidad de $N-NO_3^-$ en ambos momentos fue el número de días sin crecimiento vegetal (aplicación de herbicida-emergencia del cultivo) o relativamente baja tasa de producción y absorción de N (emergencia-V4).

Implantación y crecimiento inicial

En el cuadro 4 se presenta el efecto de los tratamientos sobre la humedad del suelo al momento de la siembra, el número de plantas logradas de maíz a V4, su crecimiento y absorción de nitrógeno (N).

No hubo efecto significativo del laboreo sub-superficial ni del manejo del barbecho, sobre el contenido de agua del suelo en los primeros 20 cm del perfil a la siembra de maíz, lo que se explica por las lluvias ocurridas en los 15 días pre siembra. A pesar de esto, existió interacción significativa entre el manejo del suelo y el período de barbecho, tanto sobre el número de plantas logradas a V4, como en su crecimiento y absorción de N. El mejor tratamiento resultó 15+50 sobre ambos manejos de suelo, superando significativamente al tratamiento con un pastoreo adicional el 28/9 (10+12). El efecto negativo del pastoreo adicional sobre el número de plantas logradas fue mayor sobre SD que sobre P-SD. Sin embargo, el efecto negativo sobre el crecimiento y absorción de N de las plantas logradas fue similar. Para la misma fecha de retiro del pastoreo (15/8), existió una reducción significativa de la implantación y crecimiento inicial del maíz al aumentar los días de rebrote y reducirse el tiempo de barbecho, la que también fue mayor sobre SD. El efecto fue parcialmente corregido al retirar el rastrojo (33+32 -R vs. 33+32). Sobre P-SD, las tres variables de respuesta cuantificadas sobre las plantas logradas fueron independientes del tiempo de rebrote y del tiempo de barbecho químico, por lo que se afectó la implantación pero no el crecimiento de las plantas. En tanto, sobre SD, al efecto sobre la implantación se adicionó un menor crecimiento y absorción de N hasta V4. En la figura 3 se muestra la relación entre la concentración de $N-NO_3^-$ en el suelo a la siembra y el crecimiento y absorción de N de las plantas de maíz a V4, relativos al máximo para cada manejo de suelo.

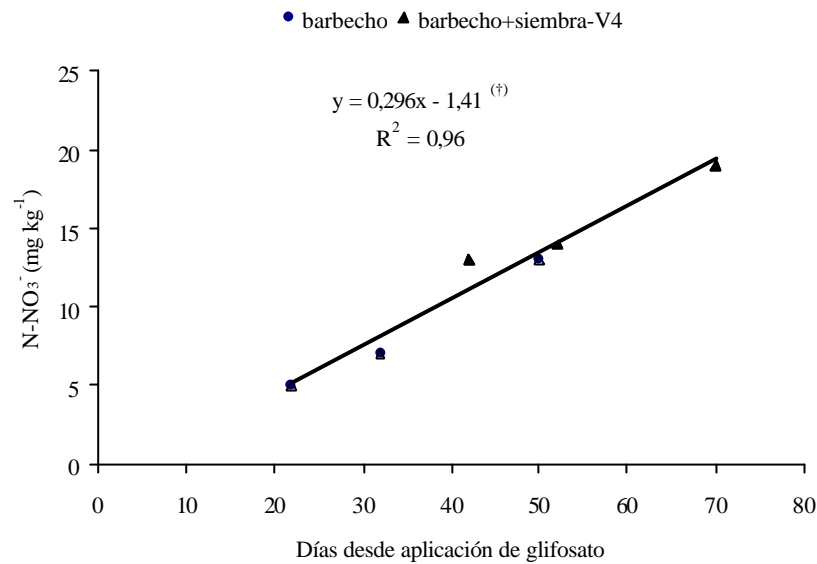


Figura 2. Efecto de los días transcurridos desde la aplicación del herbicida total a la avena sobre la concentración de N-NO₃⁻ en el suelo (0-0,2m).

Cuadro 4. Humedad del suelo (0-0,2m), población, altura, peso de planta y absorción de N de maíz al estadio V4 sembrado sin laboreo sobre dos manejos de suelo y cuatro manejos del período de barbecho.

	Barbecho	Humedad de suelo g kg ⁻¹	Plantas ha ⁻¹	Altura de planta (cm)	Peso planta ⁻¹ (g)	Nitrógeno absorbido g planta ⁻¹
SD	15+50	211 a	47293 a	52 a	5,3 a	0,19 a
	33+32	212 a	38750 c	46 b	3,3 b	0,12 c
	33+32 -R	210 a	42083 b	47 b	4,2 a	0,15 ab
	10+12	190 a	39702 c	46 b	2,9 b	0,10 c
P-SD	15+50	210 a	47485 a	53 a	5,3 a	0,20 a
	33+32	211 a	40759 bc	54 a	5,2 a	0,17 ab
	33+32 -R	209 a	43645 b	54 a	5,3 a	0,19 a
	10+12	198 a	43287 b	45 b	3,1 b	0,11 c

Valores seguidos por la misma letra dentro de columna no difieren entre sí $P \leq 0,05$.

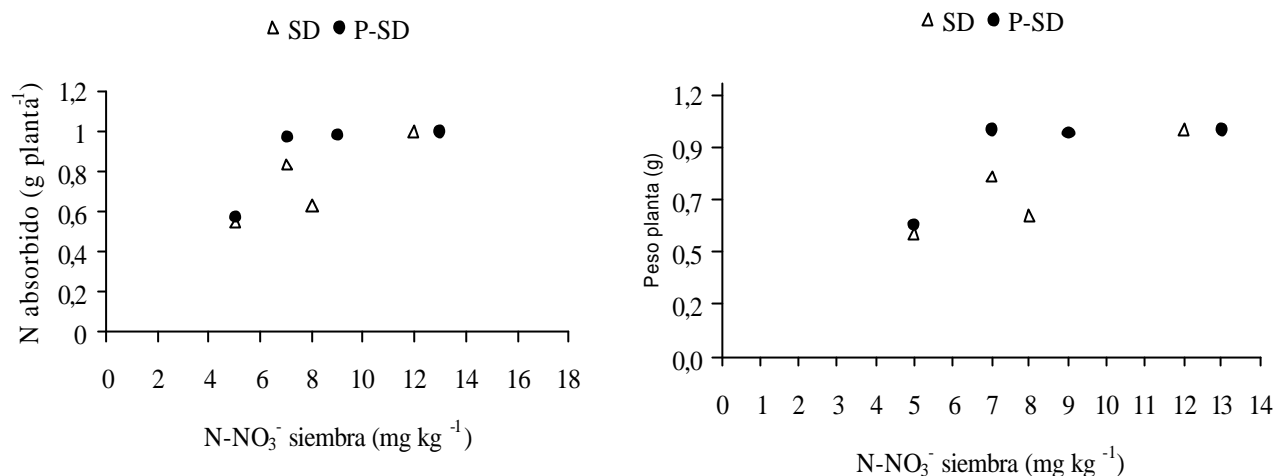


Figura 3. Respuesta en crecimiento por planta y absorción de N de maíz a la disponibilidad de N-NO₃⁻ en el suelo (0-0,2m) con (P-SD) o sin (SD) descompactación sub-superficial.

Tanto en SD como en P-SD la concentración de N-NO₃⁻ en el suelo a la siembra varió entre 5 y 14 mg.kg⁻¹. Mientras que el peso de planta y la absorción de N se incrementó en forma lineal en SD, la respuesta en P-SD fue solo hasta 7 mg.kg⁻¹. La disponibilidad de N-NO₃⁻ a la siembra afectó de igual forma el crecimiento y la absorción de N, no modificándose la relación entre absorción de N y peso de planta (Figura 4).

El problema en SD podría estar en la absorción del N cuando existe baja disponibilidad de N-NO₃⁻ en el suelo.

Del cuadro 2 es posible deducir que el cultivo enfrentó una alta demanda de agua en ambos tratamientos pero, si la menor compactación sub-superficial cuantificada en P-SD (Figura1) permitió un crecimiento radicular más denso en profundidad, presumiblemente tendría mayor cantidad de agua efectivamente disponible.

Resultados similares fueron cuantificados por Díaz-Zorita (2000) sobre el crecimiento de maíz hasta la floración y Lowery y Schuler (1994), quienes asociaron el menor rendimiento de maíz en suelos con compactación sub-

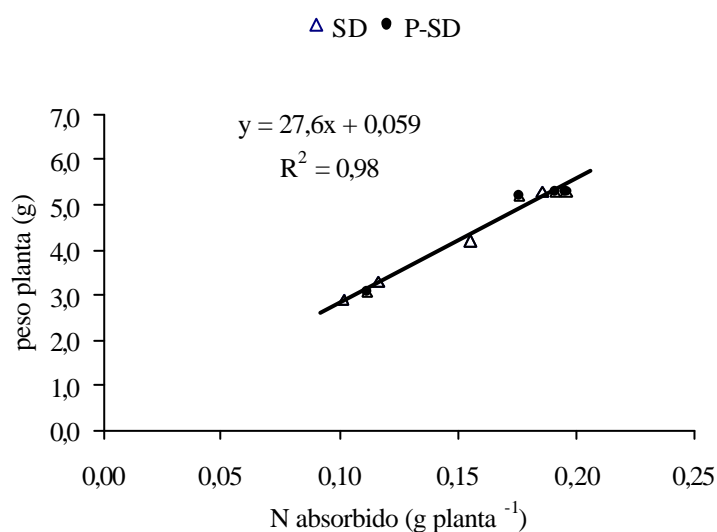


Figura 4. Relación entre el peso por planta y la absorción de N de maíz sembrado sin laboreo sobre suelo con descompactación sub-superficial (P-SD) o no (SD).

superficial a una menor absorción de agua. El laboreo sub-superficial incrementó la tasa de crecimiento solo en SD, no registrándose efectos en los tratamientos que recibieron un laboreo convencional posterior con arado o cincel. Si bien el autor menciona que no se registraron valores de densidad aparente considerados limitantes, se logró establecer una relación significativa con el rendimiento, por lo que explica los resultados por posibles limitaciones en la absorción de agua y nutrientes durante el período vegetativo del cultivo.

Rendimiento en grano y sus componentes

El laboreo sub-superficial incrementó significativamente el rendimiento en grano ($p \leq 0,05$) (Cuadro 5).

En ambos manejos de suelo el menor rendimiento se obtuvo en 10+12, pero este tratamiento sobre P-SD logró igual rendimiento que los mejores manejos evaluados sobre SD. Cuando el último pastoreo se realizó 80 días antes de la siembra, las diferencias establecidas en implantación por el manejo del barbecho fueron compensadas con un mayor rendimiento por planta, resultado de mayor rendimiento por espiga o número de espigas por planta (prolificidad). En 10+12 la prolificidad fue compensada por el rendimiento por espiga, por lo que el rendimiento por planta no fue significativamente modificado. En la figura 5 se resume la relación entre población (plantas.ha⁻¹) y el

rendimiento en grano y sus componentes, cuantificada a través del coeficiente de sendero.

El efecto en el número de plantas logradas a V4 (población) tuvo mayor impacto sobre la prolificidad que sobre el rendimiento por espiga (coeficiente -0,54 y 0,13 respectivamente), por lo que las fallas en implantación fueron parcialmente compensadas con aumento en el número de espigas por planta. El rendimiento medio por espiga no fue modificado por las variaciones en el número de plantas logradas (coeficiente 0,13) ni por la existencia o no de prolificidad (coeficiente -0,07). El rendimiento por planta fue determinado por el rendimiento por espiga en las poblaciones mayores y por la prolificidad en las menores. Ambos componentes estuvieron positivamente relacionados con el rendimiento por planta. La población obtenida no tuvo efecto indirecto sobre el rendimiento por planta (coeficiente -0,03) pero su efecto directo positivo (0,55) indica que los manejos que lograron mayor número de plantas a V4 también determinaron mayor rendimiento por planta, por lo que determinó indirectamente el rendimiento en grano (coeficiente 0,69). La población media lograda en P-SD y el rendimiento por planta fue significativamente mayor que en SD ($p \leq 0,01$) (43794 vs. 41957 plantas.ha⁻¹ y 0,146 vs. 0,121 g.planta⁻¹ para P-SD y SD, respectivamente). En ambos manejos de suelo el cultivo construyó de la misma manera el rendimiento en grano, pero dentro de un

Cuadro 5. Respuesta de maíz en rendimiento en grano y sus componentes.

	Barbecho	kg ha ⁻¹	Espigas ha ⁻¹	Espigas planta ⁻¹	g espiga ⁻¹	g planta ⁻¹
SD	15+50	5130 b	47798 b	1,01 b	0,107	0,109 c
	33+32	5165 b	45023 b	1,18 a	0,114	0,132 b
	33+32 -R	5280 b	45208 b	1,08 b	0,116	0,128 b
	10+12	4486 c	44167 b	1,12 b	0,102	0,116 bc
P-SD	15+50	6451 a	49405 a	1,04 b	0,133	0,136 ab
	33+32	6610 a	53869 a	1,26 a	0,123	0,155 a
	33+32 -R	6400 a	54167 a	1,21 a	0,118	0,143 ab
	10+12	5305 b	51726 a	1,16 a	0,106	0,152 a
Media						
	SD	5015 B	45549 B	1,10 B	0,110 A	0,121 B
	P-SD	6192 A	52292 A	1,17 A	0,120 A	0,147 A

Valores seguidos por la misma letra minúscula dentro de columna no difieren entre sí $P=0,05$.

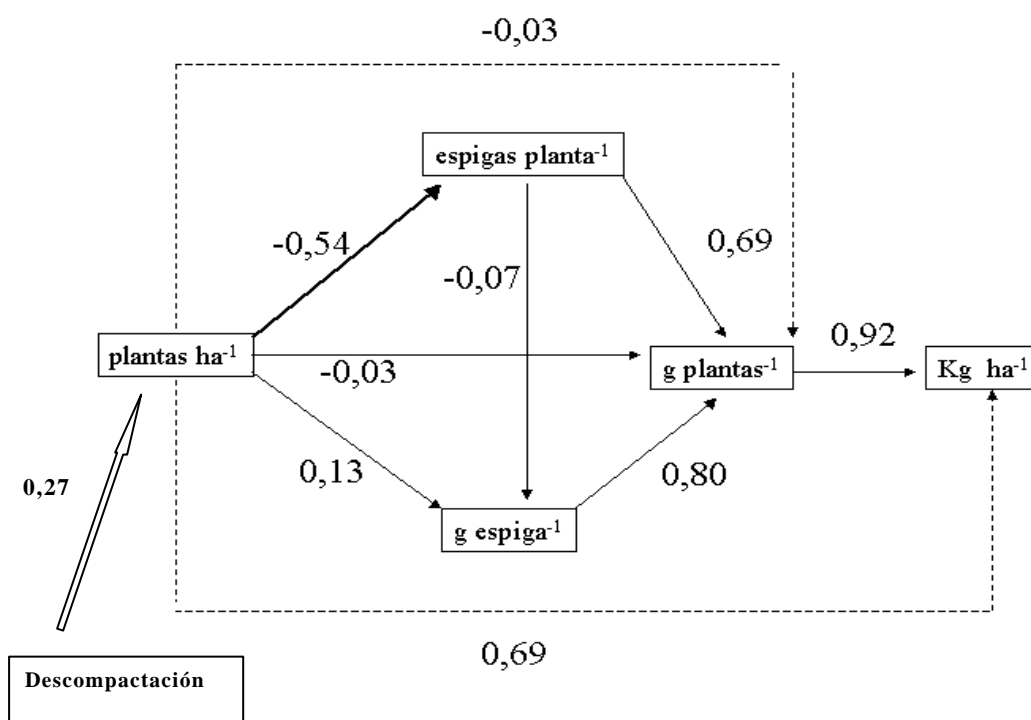


Figura 5. Diagrama de construcción del rendimiento en grano de maíz cuantificado por coeficientes de sendero.

rango de variación diferente. A pesar de que el número de plantas fue menor con SD, también lo fue el rendimiento por planta. Esto estaría indicando que existieron dos efectos independientes. Por un lado, un efecto negativo sobre el número de plantas logradas y por otro, una reducción del crecimiento de cada planta lograda. La existencia de una segunda espiga está determinada por la tasa de crecimiento de cada planta durante el período crítico de fijación del número de granos por planta (Vega, 1997), por lo que el menor crecimiento no habría permitido compensar la menor población lograda con prolificidad.

CONCLUSIONES

La concentración de $N-NO_3^-$ en el suelo para SD de maíz no fue modificada por el pasaje previo de paraplow, pero existió una relación positiva con los días entre aplica-

ción del herbicida total a la avena y la siembra del maíz. Esto confirma que en SD la acumulación de $N-NO_3^-$ en el suelo depende de los días sin crecimiento vegetal.

La descompactación sub-superficial del suelo mejoró la implantación del maíz, la absorción de nitrógeno y el crecimiento individual de cada planta hasta el estadio V4. Este incremento en la población lograda se tradujo en un incremento significativo de la producción de grano. ha^{-1} .

En ambos manejos de suelo evaluados se logró el máximo rendimiento en grano de maíz con 32 días entre aplicación de herbicida y siembra. El tratamiento con 50 días, si bien incrementó la concentración de $N-NO_3^-$ a la siembra, no modificó el comportamiento del cultivo.

El tratamiento con un pastoreo adicional de la avena, sumado al menor tiempo de barbecho asociado a este manejo, determinó un significativamente menor rendimiento en grano del maíz.

BIBLIOGRAFÍA

- ALVAREZ, A.; DUCOS, G.; MIETTO, F. 2000. Efecto del momento de inicio del período de barbecho químico sobre la disponibilidad de $N-NO_3^-$ en el suelo, crecimiento y desarrollo de avena sembrada sin laboreo. Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad de la República, Facultad de Agronomía.
- BOTTARO, R.; POLLERO, A. 1999. Implantación, producción y utilización de verdes de invierno bajo diferentes intensidades de laboreo, niveles de fertilización nitrogenada y sistemas de rotaciones en las lomadas del Este. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Uruguay.
- da COSTA, M.; RUBIO, D.; ERNST, O. 2002. Influence of grazing time and herbicide kill time on grain yield of sorghum in a No-Till system. En: E. van Santen (ed.), Making Conservation Tillage Conventional. Proc. of 25 th An. Southern Cons. Tillage Conf. for Sustainable Agric., June 2002. Special Report N° 1. Alabama Agric. Expt. Stn. and Auburn Univ., AL 36849. USA, 81-86.
- DIAZ-ZORITA, M. 2000. Effect of deep-tillage and nitrogen fertilization interactions on dryland corn (*Zea mays* L.) productivity. *Soil and Tillage Research* 54: 11-19.
- ERNST, O. 1999. Siembra sin laboreo de cultivos de verano. 1999 En: Ernst, O; García-Prechac, F; Martino, D. (ed.). Siembra sin laboreo de cultivos y pasturas. Facultad de Agronomía-INIA-PROCISUR. Disponible en www.fagro.edu.uy/eemac/web/
- ERNST, O. ; BENTACUR, O.; SIRI, G.; FRANCO, J.; LAZBAL, E. 2001. Nivel de adopción de la siembra directa en establecimientos de producción lechera. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Serie FPTA-INIA No 6 101-133.
- EVANS, S.D.; LINDSTROM, M.J.; VOORHEES, W.V.; MONCRIEF, J.F.; NELSON, G.A. 1996. Effect of subsoiling and subsequent tillage on soil bulk density, soil moisture, and corn yield. *Soil and Tillage Research* 38: 35-46.
- FORTIN, M.C. 1993. Soil temperature, soil water and no-till corn development following in-row residue removal. *Agronomy Journal* 85: 571-576.
- HAYHOE, H.N.; DWYER, L.M.; STEWART, D.W.; WHITE, R.P.; CULLEY, J.L. 1996. Tillage, hybrid and thermal factors in corn establishment in cool soils. *Soil and Tillage Research* 40:39-54.
- KAPUSTA, G.; KRAUSZ R.F.; MATTHEWS, J.L. 1996. Corn yield is equal in conventional, reduced, and no tillage after 20 years. *Agronomy Journal*. 88:812-817.
- KIMBER, R. W. L. 1973. Phytotoxicity from plant residues. 2. The effect of time of rotting of straw from some grasses and legumes on the growth of wheat seedlings. *Plant and Soil* 38: 347-361.
- LOWERY, B.; SCHULER, R.T. 1994. Duration and effect of compaction on soil and plant growth in Wisconsin. *Soil Tillage Research* 29: 205-210.
- MANSOER, Z., REEVES, D. W.; WOOD, C. W. 1997. Suitability of sunn hemp as an alternative late-summer legume cover crop. *Soil Science Society of American Journal* 61:246-253.
- MARTÍN V.L.; McCOY E.L.; DICK W.A. 1990. Allelopathy of crop residues influences corn seed germination and early growth. *Agronomy Journal*, 82, 555-560.
- MARTINO, D. 2001. Manejo de restricciones físicas del suelo en sistemas de siembra directa. En: Díaz-Rosello, R. (Ed.) Siembra Directa en el Cono Sur. pp 225-257. PROCISUR.
- MÜLLER, M.M.; SUNDMAN, V. 1988. The fate of nitrogen (15N) released from different plant materials during decomposition under field conditions. *Plant Soil* 105: 133-139.
- RAIMBAULT, B.A.; VYN, T.J.; TOLLENAAR, M. 1991. Corn response to rye cover crop, tillage methods, and planter options. *Agronomy Journal* 83: 287-290.
- SAINGU, U.M.; SINGH, B.P. 2001. Tillage, cover crop, and kill-planting date effects on corn yield and soil nitrogen. *Agronomy Journal* 93:878-886.
- SAS Statistics 1996. User's guide. Release 6.11. SAS Institute. Cary. NC.
- SAWCHIK, J. 2001 Dinámica del nitrógeno en la rotación cultivo-pastura bajo laboreo convencional y siembra directa. En: Díaz-Rosello, R. (Ed) Siembra Directa en el Cono Sur. pp323-345. PROCISUR.
- SCARLATO, G.; BUXEDAS, M.; FRANCO, J.; PERNAS, A. 2001. Siembra directa en la agricultura del litoral oeste uruguayo. Adopción y demandas de investigación y difusión. En: Adopción y demandas de investigación y difusión en siembra directa. Encuesta a la agricultura y lechería del suroeste del Uruguay. Serie FPTA No 06. INIA
- TANG, C.S.; WAISS A.C. 1978. Short chain fatty acids as growth inhibitors in decomposing wheat straw. *J.Chem. Ecol.* 4: 225-232.
- TOUCHTON, J. T., REEVES, D.W.; DELANEY, D.P. 1989. Tillage systems for summer crops following winter grazing. Proc. of 1989 Southern Regional Conservation-Tillage Conference, Jul 12-13, 1989. Tallahassee, FL. Southern Region Series Bull. 89-1, pp. 72-75.
- VARSA, E.C.; CHONG, S.K.; ABOLAJI, J.O.; FARQUHAR, D.A.; OLSEN, F.J. 1997. Effect of deep tillage on soil physical characteristics and corn (*Zea mays* L.) root growth and production. *Soil Tillage Research* 43: 219-228.

VAUGHAN, J.D.; EVANYLO G.K. 1998. Corn response to cover crop species, spring desiccation time, and residue management. *Agronomy Journal* 90: 536-544.

VEGA, C.R.C. 1997. Número de granos por planta en soja, girasol y maíz en función de las tasas de crecimiento por planta durante el período crítico de determinación del

rendimiento. Tesis Magister Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata, Balcarce, Argentina. 45pp.

WAGGER, A. 1989. Time of desiccation effects on plant composition and subsequent nitrogen release from several winter annual cover crops. *Agronomy Journal* 81: 236-241.