

EVALUACION DE PROPIEDADES EDAFICAS Y CRECIMIENTO DEL MAIZ BAJO DIFERENTES SISTEMAS DE LABRANZA EN CUATRO SITIOS DEL SUDESTE BONAERENSE

APARICIO, V.¹, COSTA, J. L.², ECHEVERRÍA, H.¹, CAVIGLIA, O.³

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos de tres sistemas de labranzas (labranza convencional (LC), labranza vertical (LV) y siembra directa (SD)) y tres dosis de fertilizantes (0, 60 y 120 kg N ha⁻¹) sobre algunas propiedades físicas y químicas del suelo y sobre el rendimiento del cultivo de maíz en cuatro localidades del sudeste bonaerense. La densidad aparente fue significativamente superior bajo SD comparado con LC y LV ($p < 0.05$), entre los 3 – 8 cm de profundidad. Los valores de resistencia mecánica fueron superiores para SD comparado con LV y LC ($p < 0.05$), desde 0 a 12.5 cm de profundidad. La $K(h)$ para las tensiones de –80 mm y –160 mm, determinada con infiltrómetros de tensión, fue significativamente menor en SD comparada con LV y LC. La lámina total de agua en el perfil durante el ciclo del cultivo fue superior ($p < 0.05$) en SD comparado con LV y LC. No hubo diferencias en el rendimiento de maíz por labranza ni por dosis de fertilizante.

Palabras claves: *siembra directa, densidad aparente, resistencia mecánica, infiltración, nitrógeno.*

2) EEA. INTA Balcarce. 1) Estudiante de Agronomía UNMdP. 3) EEA. INTA Paraná.

SUMMARY

The objective of this study was to evaluate the effects of three tillage systems (moldboard plow (MB), chisel plow (CP) and no-till (NT)) and three fertilization doses (0, 60 and 120 kg N ha⁻¹) on some soil chemical and physical properties and corn yield at four locations in the southeast of Buenos Aires Province. The bulk density at 3 to 8 cm depth was higher under NT compared with MP and CP ($p < 0.05$). Mechanical resistance from 0 to 12.5 cm depth was greater for NT compared with CP and MP ($p < 0.05$). The hydraulic conductivity at -80 mm and -160 mm tensions, determined by tension infiltrometers, was smaller in NT compared with CP and MP ($p < 0.05$). The total amount of water in the soil profile during the growing season was larger ($p < 0.05$) in NT compared with CP and MP. The corn yield was not differentiated for dose of N neither for tillage system.

INTRODUCCIÓN

Los suelos de la Región Pampeana Argentina presentan diversos grados de degradación física y físico química; ésta se evidencia en la formación de costras superficiales y compactaciones subsuperficiales que se traducen en la disminución de los rendimientos de los cultivos.

La degradación del suelo se acentúa cuando se combinan ciertos efectos sumamente agresivos, como las fuertes lluvias estivales y la excesiva labranza del suelo. Con la finalidad de preservar los recursos fueron incorporadas técnicas agronómicas como sistemas de labranzas conservacionistas del suelo, con el objeto de reducir la intensidad y agresividad de los laboreos efectuados (Studdert 1996), y mantener, luego de la siembra, una cobertura de residuos sobre el suelo superior al treinta por ciento. Con mayor porcentaje de rastrojo sobre el suelo, se hace más eficiente el control de la erosión, disminuye la probabilidad de planchado, mejora la infiltración del agua de lluvia y, en consecuencia, la capa superior del suelo presenta un mayor contenido de humedad (Domínguez *et al* 2001).

En los suelos con predominio de macroporos, la conductividad hidráulica $K(h)$ se verá incrementada; mientras que en aquellos con presencia de capas compactadas, la $K(h)$ será menor (Unger 1990).

La disminución continuada de laboreo produce densificación del suelo, resultando en un aumento de la densidad aparente (δ_a) y de la resis-

tencia mecánica (RM). Una consecuencia favorable de los sistemas que dejan rastrojo en superficie es que se produce un incremento en la proporción de carbono orgánico y en la estabilidad de los agregados (Chagas *et al.* 1994); por lo que disminuye la agresión de la maquinaria sobre el suelo y son evitados procesos erosivos. En relación a ello algunos autores (Lal *et al.* 1994) observaron valores de δa menores en suelos no trabajados con cobertura vegetal en superficie, en comparación con los suelos arados. Contrariamente Moreno *et al.* (1997), observaron que la δa en los primeros 10 cm y la RM del suelo entre los 10 y 25 cm de profundidad fueron mayores bajo labranza conservacionista que bajo labranza convencional.

Una mayor acumulación de agua en suelos con cobertura de rastrojos, fue estrechamente relacionada a la menor remoción y disminución de la evaporación del agua almacenada desde la superficie como consecuencia de la presencia de residuos vegetales (Chagas *et al.* 1994).

La porosidad (PO) del suelo es importante puesto que ella regula su aireación y retención de agua. Es necesario un 10-15% de poros de diámetro superior a 50 μm para permitir un drenaje rápido del agua del suelo y una adecuada aireación; y por otro lado, al menos un 10% de poros entre 50 y 0,5 μm para poder almacenar el agua (Blackwell *et al.* 1990). Las características climáticas, el tipo y oportunidad de labranza y la cantidad, calidad y manejo de residuos inciden tanto sobre el contenido de nitrógeno (N) mineral al momento de la siembra como en el liberado por el proceso de mineralización durante el ciclo del cultivo (Uhart, Echeverría 2000). Las labranzas conservacionistas provocan una disminución de la temperatura y un aumento de la humedad del suelo respecto a las labranzas convencionales, por lo tanto la mineralización del N orgánico del suelo y de los residuos disminuye (Echeverría, Sainz Rozas 2001). En condiciones de adecuada disponibilidad de agua, el efecto de la siembra directa sobre el maíz se asoció con la menor disponibilidad de N (Domínguez *et al.* 2001). Rizzalli (1998) reportó mayores rendimientos del cultivo de maíz en SD cuando hubo condiciones de sequía.

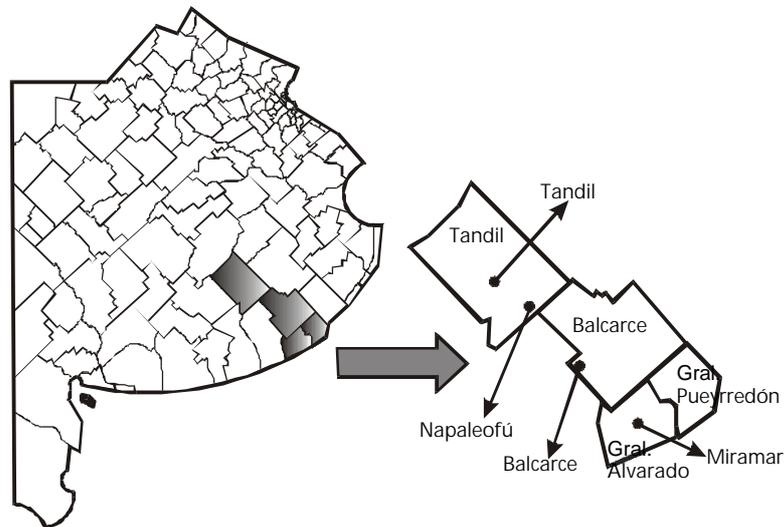
La adopción de la SD puede reducir, en los primeros años de su implementación, los rendimientos de los cultivos, por una menor disponibilidad de N como consecuencia de una menor mineralización de los residuos orgánicos, y por mayor compactación del suelo, que afectarían el crecimiento y absorción de nutrientes y agua por las raíces (Fabrizzi 2000).

En el segundo año de implementado el sistema de SD, se espera que tengan lugar mayores valores de δa , RM y menores K(h) que incidirán negativamente sobre el rendimiento del cultivo de maíz, comparados con LV y LC. La caída del rendimiento del cultivo de maíz bajo SD, provocada por una baja disponibilidad de N podría reducirse con el aporte de fertilizante nitrogenado. En el sudeste bonaerense no se han reportado trabajos que permitan tener una visión regional del impacto productivo de los diferentes sistemas de labranza, ni de su efecto sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos. Por este motivo se propuso estudiar, en cuatro localidades del sudeste bonaerense, los efectos de tres sistemas de labranza sobre algunas propiedades físicas y químicas del suelo y sobre el rendimiento, la acumulación de N y MS en el cultivo de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante la campaña 98/99 se sembró maíz en cuatro localidades del sudeste bonaerense (Figura 1).

Figura 1. Mapa con la localización de los cuatro sitios experimentales



El tipo de suelo y la caracterización química de cada localidad se presentan en la Tabla 1.

Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar con parcelas divididas considerando cada localidad como un bloque. Los tratamientos en las parcelas principales fueron: SD, LC y LV. Las parcelas principales fueron divididas en tres subparcelas que se fertilizaron, en el estadio V4-V6 del cultivo de maíz, con dosis de 0, 60 y 120 kg ha⁻¹ de N-urea (en adelante, 0N, 60N y 120N respectivamente).

El porcentaje de cobertura con rastrojos (método de la transecta) fue de 12% para LC, 32 % para LV y 94 % para SD.

En las subparcelas de 0N y 120N en pre-siembra, V6, Vt y madurez fisiológica del cultivo se tomaron muestras compuestas de suelo hasta los 60 cm de profundidad para determinar nitratos en suelo y muestras de planta para determinar N total y MS. Para nitratos en suelo se utilizó el método de microdestilación por arrastre de vapor (Bremner y Keeney, 1966) y en planta el Micro Kjeldahl (Bremner y Mulvaney, 1982).

Las determinaciones físicas se efectuaron en la parcela de 60N. Antes de la siembra de maíz se extrajeron de cada parcela 8 muestras de suelo con cilindros (Blake y Hartge, 1986), para determinar δ_a , humedad

Tabla 1. Tipo de suelos, pH, fósforo (P), carbono orgánico (C) y capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) detallados por profundidad.

Localidad	Suelo	Profundidad	pH	P	C	C.I.C.
		cm		ppm	%	mmol ₍₊₎ l ⁻¹
Napaleofú	Paleudol	0-5	5.9	18.3	4.09	26.9
	petrocálcico	5-20	5.9	9.2	3.20	26.3
Balcarce	Argiudol	0-5	5.9	23.3	3.31	22.0
	típico	5-20	5.8	8.5	2.73	22.2
Tandil	Argiudol	0-5	5.6	21.3	3.91	26.3
	típico	5-20	5.9	9.2	2.69	23.2
Miramar	Argiudol	0-5	5.7	16.6	3.91	24.1
	típico	5-20	5.8	11.5	3.55	25.5

gravimétrica (Hg) y porosidad del suelo (PO) a las profundidades de: 3-8 y 13-18 cm. Por cada muestra de δa se tomaron 3 mediciones de RM hasta los 30 cm de profundidad con un penetrómetro de cono (CN-970, SOILTEST Inc., Lake Bluff, Illinois) (Bradford, 1986).

La $K(h)$ se midió con infiltrómetros de discos, en el entresurco, después de la floración (VT), con dos repeticiones por parcela a dos tensiones (-160 mm y -80 mm). El tiempo empleado en la toma de datos fue de 60 minutos para cada tensión.

Wooding (1968) propuso las siguientes ecuaciones para describir el movimiento tridimensional del agua bajo el disco

$$Q_s = \pi r^2 K_0 (1 + 4/\pi r \cdot \alpha)$$

$$K(h) = K_0 \exp(\alpha h)$$

donde: Q_s es el caudal de agua que infiltra expresado en $m^3 s^{-1}$, r es el radio del disco en mm, K_0 es la conductividad hidráulica saturada ($cm h^{-1}$), $K(h)$ es la conductividad hidráulica a la tensión h en mm y α es una constante.

Se determinó el contenido de humedad volumétrica (H_v) del suelo utilizando sonda de neutrones (Troxler 4300, Troxler Electronic Lab. North Carolina). Se colocaron tres caños en cada sistema de labranzas (en la subparcela N60) hasta una profundidad máxima de 1 m, o hasta donde la tosca lo permitió. Las determinaciones se realizaron a las profundidades: 20, 30, 40, 60, 80, 100 cm. El contenido de agua en la capa superficial (0 - 10 cm) se determinó mediante el método gravimétrico.

Para calcular el consumo de agua por el cultivo (C) se utilizó la siguiente ecuación:

$$C = \Delta(a) + pp$$

donde $\Delta(a)$ es la variación de almacenaje, calculada como diferencia entre lámina de agua inicial y final del periodo considerado y pp son las precipitaciones del período.

Lámina se define por la siguiente ecuación:

$$\text{Lámina} = \sum \theta_i X_i$$

donde el sufijo i corresponde a cada incremento de profundidad y X es la profundidad en mm de cada profundidad.

Los datos fueron analizados utilizando el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis Systems, SAS. Institute, Inc., 1985). El análisis de varianza

se realizó utilizando el procedimiento General Linear Model (GLM). La separación de medias entre tratamientos fue obtenida por el test de diferencia mínima significativa (Least Significant Difference, LSD).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de δa fueron superiores ($p < 0.05$) bajo SD entre los 3-8 cm de profundidad con respecto a LC y LV (Tabla 2). Estos resultados concuerdan con lo hallado por Vidal, Costa, (2000) y Elisondo *et al.* (2000) entre otros autores, mientras que, Fontanetto, Keller, (2001) encontraron diferencias significativas entre SD y LV comparado con LC. Contrariamente Ferreras *et al.*, (2000) no reportó diferencias entre sistemas de labranza y Dardanelli, Gil (1997) observaron menores valores de δa después de 10 años bajo SD, comparado con LC, posiblemente debido a la recomposición de las propiedades físicas del suelo atribuidas a la falta de remoción y aumento de la actividad biológica. Entre los 13 – 18 cm de profundidad no se hallaron diferencias en este parámetro físico. Los valores de δa hallados en este trabajo no superan 1.3 Mg m^{-3} y tienen similitud con los reportados por Bermejo, Suero (1981) cuando trabajaron en suelos bajo pastura. En suelos degradados Ferreras *et al.*, (2000) encontró valores de δa superiores a 1.4 Mg m^{-3} .

Cuando se analizó la PO del suelo se hallaron valores superiores ($p < 0.05$) para LC y LV comparados con SD. Los agregados de suelos arados tienen mayor PO hasta aproximadamente los 5 años y luego comienza a disminuir hasta llegar a un estado de equilibrio. Los agregados de suelos bajo labranzas conservacionistas, con el tiempo son más porosos dado que contienen mayor proporción de restos orgánicos y canales como resultado de la mas intensa actividad biológica (Voorhees, Lindstrom, 1984).

Los valores de RM fueron superiores bajo SD comparado con LV y LC ($p < 0.05$), hasta los 12.5 cm de profundidad (Figura 2). Resultados similares fueron hallados por otros autores (Elisondo *et al.*, 2000; Vidal, Costa, 2000; Ferreras *et al.*, 2000; Fontanetto, Keller, 2001), quienes atribuyeron la mayor RM bajo SD a la ausencia de remoción del suelo.

Martino (2001), señaló que la humedad del suelo afecta la cohesividad, ángulo de fricción interna y compresibilidad que determinan la RM del suelo y, por otra parte, un incremento en la δa del suelo implica

Tabla 2. Humedad gravimétrica (Hg), densidad aparente (δ_a) y porosidad (PO) por profundidad para: siembra directa (SD), labranza convencional (LC) y labranza vertical (LV).

Labranza	Profundidad	Humedad Gravimétrica		Densidad Aparente		Porosidad	
	cm	kg kg ⁻¹		Mg m ⁻³		%	
SD	3-8	0.25	a	1.29	a	51.47	b
LC	3-8	0.29	a	1.15	b	56.79	a
LV	3-8	0.27	a	1.17	b	55.88	a
SD	13-18	0.28	a	1.27	a	51.98	a
LC	13-18	0.29	a	1.22	a	53.97	a
LV	13-18	0.28	a	1.28	a	51.68	a

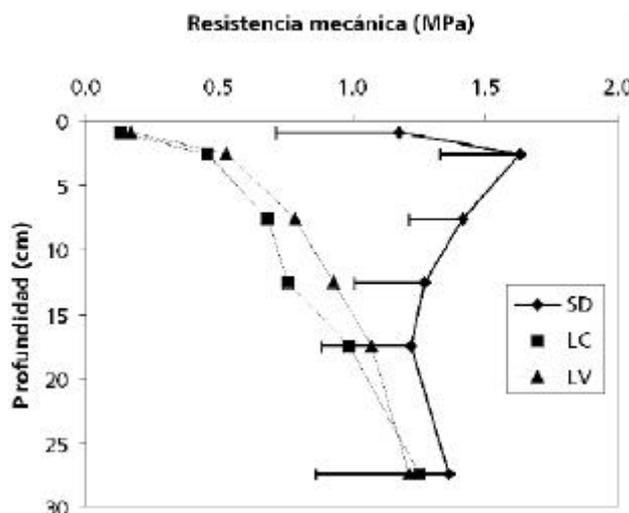
• Letras distintas indican diferencias significativas ($p > 0.05$)

una disposición mas apretada de las partículas lo que determina la reducida compresibilidad y elevada fricción interna del suelo. Al momento de medir RM la Hg no presentó diferencias significativas entre labranzas.

La menor PO y la mayor RM determinada pueden tener una influencia importante en el control del crecimiento radical de las plantas. Según Whiteley *et al.* (1981), valores de RM del suelo superiores a 1,3 MPa en la etapa de emergencia, pueden afectar el normal desarrollo de la radícula de numerosas especies vegetales. En este caso, la SD en los primeros 12.5 cm de profundidad presenta el máximo valor de RM (1.63 MPa) y pudo afectar el desarrollo radical en sus primeros estadios provocando un menor crecimiento inicial del cultivo.

La K(h) para las tensiones de -80 mm y -160 mm fue significativamente menor bajo SD comparada con LV y LC, probablemente debido a la mayor PO del suelo como consecuencia del mas intenso laboreo (Tabla 3). Resultados similares fueron reportados por Vidal, Costa (2000) y Ferreras *et al.* (2000) para otros suelos del sudeste bonaerense. Posiblemente una mayor proporción de poros de mas de 20 μ m de diámetro en LC y δ_a inferiores cuando se los comparó con SD contribuyeron a explicar los mayores valores de K(h) bajo LC. En la bibliografía internacional algunos autores (Moreno *et al.*, 1997; Hubbard *et al.*, 1994) repor-

Figura 2. Valores promedio de resistencia mecánica a la penetración a distintas profundidades para: siembra directa (SD), labranza convencional (LC) y labranza vertical (LV). Barras de error horizontales indican diferencia mínima significativa ($\alpha = 0.05$).



tan resultados similares mientras que otros (Mahboubi *et al.*, 1993) encontraron resultados opuestos. La estructuración del suelo y la presencia de "bioporos" luego de varios años con ausencia de remoción que contribuye a la formación de poros > 1 mm podría ser la responsable de los mayores valores de $K(h)$ reportados por algunos autores bajo SD.

Tabla 3. Conductividad hidráulica (K_h) a diferentes tensiones de agua en el suelo medidas en un cultivo de maíz en floración bajo siembra directa (SD), labranza convencional (LC) y labranza vertical (LV).

Tratamiento	Tensión			
	80 mm		160 mm	
	cm h ⁻¹			
SD	1.15	b	0.32	b
LC	2.64	a	0.70	a
LV	3.10	a	0.82	a

• Letras distintas indican diferencias significativas ($p > 0.05$)

La $K(h)$ no sólo depende de la PO total, sino principalmente del tamaño y continuidad de los poros (Azooz, Arshad 1996). Voorhees y Lindstrom (1984) sugieren que 3 a 4 años son requeridos para que los suelos con labranzas reducidas logren desarrollar una PO más favorable en los primeros 15 cm, lo cual estaría en estrecha relación con la actividad biológica y proporción de residuos vegetales. Estos ensayos tienen dos años de SD lo que sugiere que están en la etapa inicial del proceso de estabilización del sistema de labranza donde los altos valores de δa y RM y la baja $K(h)$ en SD muestran posiblemente la consolidación o reacomodamiento de las partículas del suelo que no fue laboreado.

El maíz posee alto potencial de producción de biomasa y grano, y alta sensibilidad del rendimiento reproductivo al estrés (Andrade, 1995). En el sudeste bonaerense es frecuente que ocurra estrés hídrico alrededor de la floración del maíz por lo que una mayor disponibilidad de agua en ese momento tiene una importancia crítica para este cultivo, siempre que no haya problemas de deficiencia de nutrientes (Rizzalli, 1998). La ventaja de una mayor acumulación de agua en el suelo bajo labranzas conservacionistas se manifiesta especialmente en años secos siempre que la RM no sea muy elevada, dado que esto manifestaría la dificultad de ingreso y almacenamiento de agua en el suelo por falta de canales adecuados. Las condiciones en que se realizó este trabajo (campaña 98-99) fueron las correspondientes a un año seco (i.e. precipitaciones por debajo de la media histórica) (Figura 3)

La lámina total de agua en el perfil durante el ciclo del cultivo fue significativamente superior ($p < 0.05$) bajo SD cuando se la comparó con LC para 5 de las 8 fechas pero nunca se diferenció de LV (Figura 4). Este resultado podría deberse a que la ausencia de remoción del suelo y la consecuente acumulación de rastrojos en superficie favorecen la acumulación de agua en el perfil.

Es importante destacar que si bien la diferencia en acumulación de agua fue significativa entre SD y LC en ninguna de las fechas muestreadas se superaron los 15 mm de agua. Desde mediados de diciembre y hasta el final del ciclo de cultivo el contenido de agua estuvo por debajo del 50% de agua útil y el maíz durante su período crítico pudo sufrir estrés hídrico condicionando su rendimiento. Fabrizzi (2000) informó similares resultados en suelos del sudeste bonaerense aunque Rizzalli (1998) encontró que en un año seco hubo mayor consumo de agua por el cultivo bajo SD.

Figura 3. Promedio mensual de precipitaciones de 30 años (líneas) y precipitaciones mensuales del periodo del cultivo (barras). Datos de la EEA INTA Balcarce.

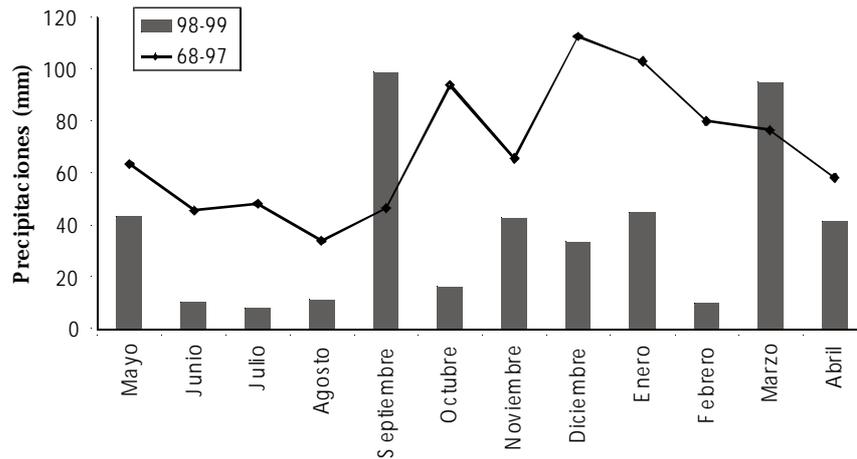
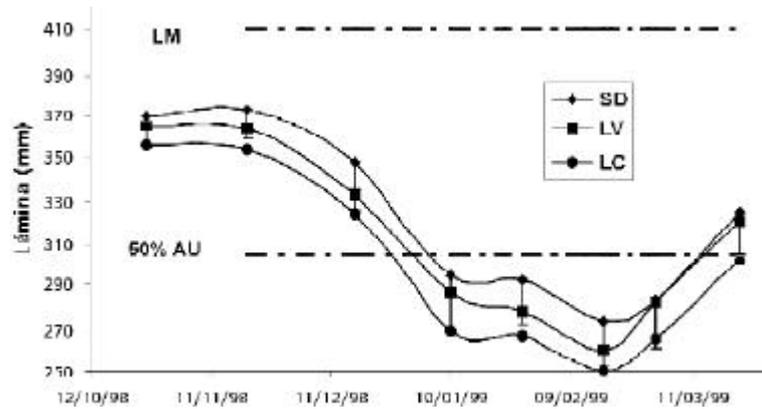


Figura 4. Lámina de agua (mm) en el perfil durante el desarrollo del cultivo de maíz para siembra directa (SD), labranza vertical (LV) y labranza convencional (LC)



No se hallaron diferencias significativas entre sistemas de labranza relacionadas con el consumo de agua del cultivo, esto impidió que se expresaran diferencias en acumulación de MS (resultados no presentados), aunque si se encontraron diferencias en el contenido de N acumulado en planta a favor de la dosis mas alta de N en MF del cultivo, esto coincide con lo reportado por Echeverría, Sainz Rosas, (2001).

El nitrógeno absorbido fue mayor bajo SD comparado con LV y LC después de la fertilización nitrogenada, sólo en MF del maíz fue significativa esa diferencia (Tabla 4). Esto es opuesto a lo reportado por Salinas-García *et al.* (1997) y Echeverría, Sainz Rosas (2001), quienes hallaron menor acumulación de N en planta bajo SD lo que se debió a una menor oferta de N del suelo.

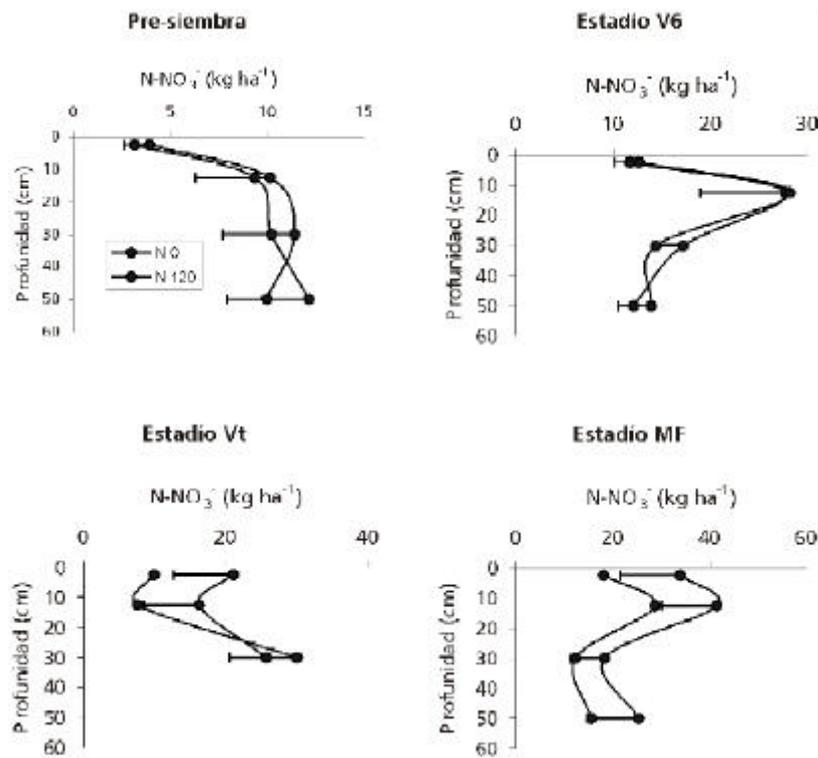
Tabla 4. Nitrógeno en planta para los estadios fenológicos vegetativo en seis hojas (V6), floración masculina (Vt) y madurez fisiológica (MF) según dosis de N (0 y 120) y sistema de labranza siembra directa (SD), labranza vertical (LV) y labranza convencional (LC).

Tratamiento	N en planta		
	V6	Vt	MF
Dosis N	kg ha⁻¹		
0	3,0a	82a	98b
120	3,0a	89a	116a
Labranzas			
SD	2,7 a	88a	119a
LC	3,2 a	87 a	100b
LV	2,6a	82a	101b

Letras distintas indican diferencias significativas (p> 0.05)

La evolución de los N-NO₃⁻ en el suelo a través de los diferentes estadios fenológicos no presentó interacción entre dosis y labranza y no se encontraron diferencias según sistema de labranza. Se encontró mayor acumulación para N120 (Figura 5) y esto concuerda con lo reportado por

Figura 5. Evolución del contenido de nitratos durante el ciclo del cultivo para N 0 y N 120



Rizzalli (1998). En pre-siembra del cultivo se observa una acumulación en los primeros centímetros de profundidad con valores muy próximos para ambos tratamientos, aún no se había realizado la fertilización nitrogenada para esa fecha por lo que estos contenidos iniciales serían producto de la mineralización de la materia orgánica en el suelo. En V6 los valores de nitratos aumentan aproximadamente 3 veces en la parte superficial manteniéndose bajos y constantes en profundidad. Luego de la fertilización se evidencian diferencias estadísticamente significativas para las primeras profundidades del perfil; los valores de N en Vt, para las primeras profundidades en N 120 duplican lo encontrado en N 0 y algo similar ocurre en MF.

No hubo diferencias significativas para el rendimiento de maíz entre dosis de fertilizante así como tampoco entre sistemas de labranzas (Tabla 5). La campaña 98-99 se caracterizó por presentar deficiencias hídricas durante la mayor parte del ciclo del cultivo (Figura 4), la precipitación media anual superó escasamente la mitad del valor promedio para 30 años (Figura 3) y probablemente estas condiciones, sobre todo durante el período crítico del maíz, contribuyeron a que el N mineral disponible se mantuviera en los primeros 20 cm de profundidad, donde no hubo humedad suficiente para su aprovechamiento. Estos resultados se oponen a los reportados por Rizzalli, (1998) quien encontró mayor rendimiento bajo SD cuando se aplicó fertilizante nitrogenado en un año seco.

Tabla 5. Rendimiento del cultivo de maíz en kg ha⁻¹ por dosis de N y por sistema de labranza.

Dosis de N	Rendimiento	Labranza	Rendimiento
	kg ha ⁻¹		kg ha ⁻¹
0	4561.3	LV	4868.3
60	4762.2	LC	4623.4
120	4787.4	SD	4619.1

CONCLUSIONES

Cuando se analizaron las propiedades físicas se hallaron, como promedio de los cuatro ambientes estudiados, una δa y RM significativamente superiores en SD respecto de LV y LC al inicio del cultivo y una K(h) significativamente inferior para SD respecto de LV y LC en floración. Estas condiciones físicas del suelo no provocaron disminuciones en el rendimiento del cultivo de maíz para SD.

Al evaluar el contenido de nitratos en el suelo, durante el desarrollo del cultivo, se detectó una mayor acumulación de N en el perfil para la mayor dosis de fertilizante, incluso en estadios previos a la fertilización (pre-siembra y V6). La falta de agua no permitió una acumulación dife-

rencial de MS para los diferentes estadios fenológicos, aunque si se registró una acumulación diferencial de N en planta para MF a favor de SD. Se observó mayor acumulación de N en planta para el tratamiento con mayor dosis de fertilizante. El aporte de fertilizante no contribuyó a mejorar los rendimientos en ninguno de los sistemas de labranza estudiados probablemente debido a las condiciones de muy baja disponibilidad hídrica durante el período crítico del maíz.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDRADE F H (1995).** Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. *Field Crops Res.* 41: 1-12.
- AZOOZ R H, M A ARSHAD. (1996).** Soil infiltration and hydraulic conductivity under long-term no-tillage and conventional tillage systems. *Can. J. Soil Sci. Soc. J.* 76: 143-152.
- BERMEJO V M, E E SUERO. (1981).** Infiltración en suelos argiudoles de Balcarce. *Rev. Investig. Agropecuarias.* Vol XVI, 2:205-213
- Blackwell P S, A J Ringrose-Voase, N S Jayawardane, K A Olsson, D C McKenzie, W K MASON. (1990). The use of air-filled porosity and intrinsic permeability to characterize structure of macropore space and saturated hydraulic conductivity of clay soils. *J. Soil Sci.* 41:215-228.
- BLAKE G R, K H HARTGE. (1986).** Bulk density. En: A. Klute (ed.), *Methods of soil analysis, Part 1. Physical and mineralogical methods, 2nd Edition.* American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 363-375.
- BRADFORD J M. (1986).** Penetrability. In: A. Klute (ed.) *Methods of soil analysis, Part 1. Physical and mineralogical methods, 2nd Edition.* American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 463-478.
- BREMNER J M, D KEENEY. (1966).** Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soil: 3. Exchangeable ammonium, nitrate and nitrite by extraction-distillation methods. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30: 577-582
- BREMNER J M, Y C MULVANEY. (1982).** Nitrogen total. In: A.L. Page et al. (Ed.) *Methods of soil analysis. Part 2, Chemical and microbiological properties.* American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 595-624
- CHAGAS C I, H J MARELLI, O J SANTANATOGLIA. (1994).** Propiedades físicas y contenido hídrico de un Argiudol típico bajo tres sistemas de labranza. *Ciencia del Suelo* 12:11-16.
- DARDANELLI J L, R GIL. (1997).** Eficiencia del uso del agua en el sistema de producción. In: *Seminario de siembra directa.* INTA. Buenos Aires, octubre, 1997. pp 43-46

- DOMÍNGUEZ G F, G A STUDDERT, H E ECHEVERRÍA, F H ANDRADE. (2001).** Sistemas de cultivo y fertilización nitrogenada en maíz. *Ciencia del Suelo*. 19:47-56
- ECHEVERRÍA H E, SAINZ ROZAS H R. (2001).** Eficiencia de recuperación del nitrógeno aplicado al estadio de seis hojas del maíz bajo riego en siembra directa y labranza convencional. *Ciencia del Suelo*. 19:57-66
- ELISSONDO E, J L COSTA, E SUERO, K P FABRIZZI, F GARCIA. (2000).** Evaluación de algunas propiedades físicas de suelos en sistemas de labranza reducida y siembra directa. *Ciencia del Suelo* 19:11-19.
- FABRIZZI K P. (2000).** Dinámica del nitrógeno bajo dos sistemas de labranzas en un suelo no degradado. Tesis de *Magister Scientiae*. Facultad de Ciencias Agrarias. UNMDP.
- FERRERAS, L.A, J.L. COSTA, F.O. GARCIA, C. PECORARI. (2000).** Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern «Pampa» of Argentina. *Soil And Tillage Research* Vol. 54 (1-2) pp. 31-39.
- FONTANETTO H, O KELLER. (2001).** Efecto de diferentes labranzas sobre propiedades edáficas de un Argiudol y los rendimientos de trigo y soja con dos secuencias agrícolas en la región pampeana norte de Argentina. *PROCISUR*. Uruguay pp. 269-274.
- HUBBARD R K, W L HARGROVE, R R LOWRANCE, R G WILLIAMS, B G MULLINX. (1994).** Physical properties of a clayey coastal plain soil as affected by tillage. *J. Soil and Water Cons.* 49: 276-283.
- LAL R, A A MAHBOUBI, N R FAUSEY. (1994).** Long-term tillage and rotation effects on properties of a Central Ohio Soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:517-522.
- MAHBOUBI A A, R LAL, N R FAUSSEY.(1993).** Twenty-eight years of tillage effects on two soils in Ohio. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:506-512.
- MARTINO D. (2001).** Manejo de restricciones físicas del suelo en sistemas de siembra directa. Capítulo de Propiedades físicas e hídricas en Siembra Directa en el Cono Sur. *PROCISUR*. Uruguay pp 265-258.
- MORENO F, F PELEGRÍN, J E FERNÁNDEZ, J M MURRILLO. (1997).** Soil physical properties, water depletion and crop development under traditional and conservation tillage in southern Spain. *Soil and Tillage Research* 41: 25 – 42
- RIZZALLI R H. (1998).** Siembra directa y convencional de maíz ante distintas ofertas de nitrógeno. Tesis *Magister Scientiae*. Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ciencias Agrarias, Balcarce. 35p.
- SALINAS-GARCIA J R, F M HONS, J E MATOCHA. (1997).** Long-term effects of tillage and fertilization on soil organic matter dynamics. *Soil Sci. Soc. Am J.* 61:152-159
- SAS INSTITUTE, INC. 1985.** SAS user's guide. Statistics version. 5th ed. SAS Institute, Inc., Cary, NC.
- STUDDERT G A (1996).** Manejo de rastrojo en superficie. En: Actas 14° Jornada de Actualización Profesional de Cosecha Gruesa. Mar del Plata, Buenos Aires. pp: 1-7.

UHART S.A, H. E. ECHEVERRIA. (2000). Diagnóstico de la fertilización. En: F. H. Andrade V.O. Sadras (Eds) Bases para el manejo de maíz, girasol y soja. Capítulo 9. Pág. 235-268.

UNGER P W. (1990). Conservation tillage systems. Adv. Soil Sci. 13: 27-68.

Vidal, C M, J. L. Costa. (2000). Evaluación de algunas propiedades físicas en sistemas de labranza reducida y siembra directa. RIA 29:61-68.

VOORHEES W B, M J LINDSTROM. (1984). Long-term effects of tillage method on soil tilth independent of wheel traffic compaction. Soil Sci. Soc. Am. J. 48:152-156.

WHITELEY G M, W H UTOMO, A R DEXTER. (1981). A comparison of penetrometer pressures and the pressures exerted by roots. Plant and Soil 61:351-364.

WOODING R A.1968. Steady infiltration from a shallow circular pond. Water Resour. Res. 4: 1259-1273.

