

# Propiedades Físicas Edáficas en dos Sistemas de Labranza<sup>1</sup>

A.E. Andriulo; R.A. Rosell\*

## ABSTRACT

The objective of this work was to compare the effect of tillage systems on some physical properties after 11 years of cultivation with wheat-soybean annual double cropping. The physical characteristics studied were: bulk density, total porosity, air filled porosity, moisture retention curve, gas diffusion coefficient, permeability and soil strength. Bulk density and soil strength under conventional tillage (LC) were lower than in direct drilling (SD) in 0-10 cm soil increments. At the same depth, air-filled porosity was higher under LC than in SD; the reserve water capacity was lower in LC. The excessive compaction of soil that was produced when soybean was cultivated in continued SD is controlled by the wheat tillage in plots where SD of soybean was applied.

## INTRODUCCION

Los sistemas de producción agrícolas están incorporando métodos de labranza que tratan de minimizar el laboreo del suelo. La siembra directa, conocida también como labranza cero, barbecho químico o no labranza consiste, básicamente, en implantar un cultivo sobre el rastrojo del anterior, removiendo una estrecha banda de suelo donde se depositan las semillas, dejando el espacio entre líneas sin alterar. Normalmente, implica el uso de herbicidas para el control de malezas y equipos especialmente adaptados para operar en suelos sin preparación previa. Este sistema reduce la erosión del suelo y el uso de combustible, conserva el agua edáfica y permite que la producción de cultivos de escarpa sea practicada en terrenos con pendiente pronunciada.

Los efectos de la labranza convencional (L.C.) y de la siembra directa (S.D.) sobre las propiedades físicas del suelo, en lapsos prolongados, no han sido adecuadamente estudiado en la República Argentina.

<sup>1</sup> Recibido para publicación el 20 de mayo de 1988.

Los autores desean agradecer a los ingenieros H. Marelli y A. Lattanzi, de la E.E.R.A., INTA, Marcos Juárez, por haber permitido trabajar en los ensayos generales que ellos establecieron.

\* Laboratorio de Humus y Biodinámica del Suelo, Departamento de Agronomía (UNS) y CERZOS (UNS-CONICET), 8 000 — Bahía Blanca, Argentina.

## COMPENDIO

El objetivo del presente trabajo fue comparar el efecto de dos sistemas de labranza en el doble cultivo trigo-soja sobre algunas propiedades físicas edáficas, luego de un período experimental de 11 años. Las características físicas estudiadas fueron: densidad aparente, porosidad total, porosidad de aireación, curva característica de humedad, coeficiente de difusión de gas, permeabilidad y resistencia del suelo a la penetración. En labranza convencional (LC), hasta 10 cm de profundidad, la densidad aparente y la resistencia del suelo fueron menores que en siembra directa (SD). A la misma profundidad, la porosidad de aireación resultó mayor en LC que en SD mientras que la capacidad de reserva de agua fue menor en LC. El laboreo de trigo en las parcelas donde se aplicó la SD de soja controló la excesiva compactación del suelo que se produce cuando la soja es cultivada en SD continua.

En S.D., los suelos son aflojados sólo local y superficialmente. Además, soportan la carga normal de tráfico. Por lo tanto, la consolidación natural y la compactación mecánica causan un empaquetamiento más denso de partículas en la superficie. En general, la densidad aparente es mayor que en suelo con L.C. (3, 15, 17, 24, 25, 29, 32). Las diferencias en porosidad total son mayores en la capa aflojada por el arado. Debajo de la profundidad normal de labranza no se observan diferencias en densidad aparente entre los dos sistemas de labranza.

Pareciera que el suelo bajo S.D. incrementa la densidad aparente en pocos años, luego de los cuales llega a un equilibrio que no se afecta por subsecuentes aplicaciones de S.D. (30, 32).

También, se ha observado una disminución en la frecuencia de poros de tamaño relativamente mayor en los agregados de los suelos no labrados (3, 15, 16, 29). Esto es muy importante, dado que el agua se mueve libremente sólo a través de poros mayores de 30-60 micrones de diámetro, siendo retenida por las fuerzas de capilaridad en los poros de diámetro menor. Además, la aireación del suelo depende fundamentalmente de los poros de mayor diámetro.

A pesar de su mayor densidad aparente, los suelos bajo S.D. continuada presentan macroporos que dre-

nan fácilmente. Esta situación es atribuida a los canales de las lombrices, que son más abundantes que en suelos labrados, a los planos de debilidad que se desarrollan cuando el suelo se seca y a los canales formados por las raíces del cultivo previo que no son destruidos por las labranzas y que pueden conducir a una orientación preferentemente vertical y continua de los poros más grandes, compensando su número reducido (3, 11, 14, 15, 29)

Numerosos autores han evaluado la compactación a través de la resistencia del suelo. Usualmente, los suelos con S.D. muestran valores mayores que los suelos con L.C. dentro de la profundidad normal de labranza (3, 12, 13, 14, 25, 31, 32, 33)

Debajo de la profundidad normal de labranza, a pesar de no haberse observado diferencias en densidad aparente y humedad, la resistencia del suelo mostró incrementos significativos en S.D., particularmente en condiciones húmedas (32).

La aireación del suelo depende de la porosidad y del contenido de agua. Cuando el suelo se halla a capacidad de campo, el espacio poroso está ocupado por aire (capacidad de aireación) y agua. Para un intercambio adecuado de gases entre el aire del suelo y la atmósfera externa, se necesita una capacidad de aireación mínima del 10%. Algunos autores han observado capacidades de aireación inferiores al 10% en suelos de textura pesada (29, 30). Estos suelos pesados de regiones húmedas no serían propicios para la aplicación de la S.D.

Los incrementos observados en las proporciones relativas de poros pequeños y medianos en S.D. tienen consecuencias en la capacidad de retención de agua. Numerosos autores, en Europa (Baeumer y Bakermans, (3); Ellis *et al.*, (13); Pidgeon y Soane, (30); Ellis *et al.*, (14); Cannell *et al.*, (10); Pidgeon, (29), América Jones, *et al.*, (23); Blevins *et al.*, (7); Hill y Blevins, (19); Igue, (21); Hansen y Zeljkovich, (17); Lattanzi y Marelli, (25) y en Africa (Hayward *et al.*, (18) han encontrado mayores contenidos de humedad con S.D. que con L.C.

En general, los suelos con S.D. presentan mayor velocidad de infiltración que los suelos con L.C. Este comportamiento ha sido atribuido a la mayor continuidad de los poros que no son destruidos por las labranzas (3, 29) y a la disminución del 'enconstramiento superficial' por el efecto protector de la cobertura de rastrojos en suelos franco-limosos (17, 25).

El objetivo del presente trabajo fue comparar el efecto de dos sistemas de labranza en el doble cultivo trigo-soja sobre algunas propiedades físicas edáficas luego de un período experimental de 11 años.

#### MATERIALES Y METODOS

Los dos sistemas de labranza están incluidos en una experiencia más amplia, implementada por técnicos de la Sección Conservación y Manejo de Suelos de la Estación Experimental Regional Agropecuaria (EERA) Marcos Juárez, del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), que estudia el efecto de estos dos y otros tratamientos sobre el rendimiento del doble cultivo trigo-soja, a partir de 1974.

El suelo es un Argiudol típico, profundo y bien drenado (textura franco limosa, con 3% de materia orgánica, 0.18% de nitrógeno total y pH: 6.4 en el horizonte Ap (22).

Las precipitaciones y temperaturas medias anuales son, respectivamente, de 894 mm (1921-1950) y 16.9°C (1951-1960). Las precipitaciones son más abundantes en otoño y primavera-verano. El balance hídrico muestra, en general, un déficit de humedad del suelo durante el año. La evapotranspiración (ET), utilizando el método de Thornwaite, es de 850 mm, existiendo déficit hídrico sólo en los meses de verano (22).

Los sistemas de labranza empleados incluyeron labores comunes para el cultivo de trigo: luego de la cosecha de soja, rastreado con rastra de discos de doble acción, arada con reja y vertedera y control de malezas con las rastras de discos y de dientes. Las labores específicas para el cultivo de soja fueron: a) labranza convencional (L.C.): quema del rastrojo de trigo, arada con reja y vertedera, rastreado con rastra de discos de doble acción y de dientes, siembra y compactación del suelo con rolo, aplicación de Trifluralina para el control inicial de malezas y posterior escardillado y b) siembra directa (S.D.): corte de rastrojo de trigo a 10-15 cm de altura y siembra de soja con cincel como instrumento para abrir el surco, aplicación de herbicidas de contacto y de efecto residual: Paraquat, Linurón y Alaclor.

El diseño experimental se basó en bloques completos con tres repeticiones. Las dimensiones de las parcelas fueron de 14 m por 50 m.

Las medias de ambos tratamientos se compararon con la estadística "t" de Student para cada profundidad, dado que el efecto de bloques no fue marcado en ningún muestreo.

Las propiedades evaluadas se obtuvieron de muestras extraídas un mes después de la siembra de soja de las siguientes profundidades: 0-5, 5-10, 10-15 y 15-20 cm.

Las propiedades físicas edáficas investigadas fueron:

- densidad aparente, método del doble cilindro (8, 34).
- densidad de la fase sólida, método del picnómetro (6). Se utilizó acetona pura en lugar de agua. El valor promedio obtenido fue de  $2.55 \text{ kg/m}^{-3}$ .
- porosidad total (34).
- Porosidad de aireación (porcentaje de poros de diámetro mayor a 60 micrones), mesa de tensión (6).
- curva característica de humedad (CCH), método de la membrana y olla de presión (6).

Se calcularon, además, a partir de la CCH, las siguientes propiedades físicas:

- contenido medio de aire y coeficiente de difusión de gas a  $-5 \text{ KPa}$  ( $0.05 \text{ atm}$ ) y  $-33 \text{ KPa}$  ( $0.33 \text{ atm}$ ). Este último, por medio de la fórmula de Marshall (27):

$$D_S : D_O = S^{3/2} \quad \text{donde,}$$

$D_S$ : coeficiente de difusión de gas, en  $\text{cm}^2 \text{ s}^{-1}$

$D_O$ : coeficiente de difusión en el aire, cuyo valor se estimó en  $0.060 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$

S: porosidad de aireación a los potenciales hídricos mencionados, en  $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$

K: permeabilidad, por medio de la fórmula de Marshall (26):

$$K = 2.8 \times 10^{-3} E^2 n^{-2} (h_1^{-2} + 3h_2^{-2} + 5h_3^{-2} + \dots + 2(n-1) h_n^{-2})$$

donde,

K: permeabilidad, en  $\text{cm}^2$

E: porosidad total, en  $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$

h: succión, en cm

$h_1, h_2, \dots, h_n$  representan las succiones correspondientes al radio de los poros (en orden de tamaño decreciente) de cada una de las n fracciones iguales del espacio poroso total.

- Resistencia del suelo a la penetración, método de Parker y Jenny (28) durante los años 1978 y 1979 y método del penetrómetro (tipo Proctor) en 1984.
- Humedad edáfica, método gravimétrico. Se determinó simultáneamente la resistencia a la penetración.

Para densidad aparente, densidad de la fase sólida, y porosidad de aireación, se efectuaron cinco determinaciones por parcela y por cada profundidad. Para la CCH se utilizaron seis muestras por tratamiento y para cada profundidad. Para la resistencia del suelo y la humedad edáfica se obtuvieron 20 observaciones por parcela y por cada profundidad de suelo.

## RESULTADOS Y DISCUSION

En los Cuadros 1 y 2 se presentan los valores de densidad aparente del suelo cultivado bajo dos sistemas de labranza obtenidos en 1977-79 (1) y 1984

Cuadro 1. Densidad aparente del suelo bajo dos sistemas de labranza ( $\text{g cm}^{-3}$ ).

Año	1977		1978		1979	
	Profundidad cm	Tratam. <sup>1</sup>	Profundidad cm	Tratam. <sup>1</sup>	Profundidad cm	Tratam. <sup>1</sup>
	L.C.	S.D.	L.C.	S.D.	L.C.	S.D.
0-5	1.15	1.18 *	1.18	1.24 **	1.17	1.20 *
0-10	1.22	1.24 n.s.	1.25	1.27 n.s.	1.23	1.27 *
10-15	1.23	1.25 n.s.	1.24	1.28 **	1.24	1.27 *
15-20	1.28	1.27 n.s.	1.28	1.27 n.s.	1.27	1.27 n.s.

1 L.C.: Labranza convencional  
S.D.: Siembra directa

2 Nivel de significancia estadística: \*  $P \leq 0.10$   
\*\*  $P \leq 0.05$   
n.s. no significativo

De la observación de los cuadros puede decirse que:

- el aumento de densidad aparente, desde el espesor 10-15 cm a 15-20 cm, es mayor en L.C. que en S.D. Este efecto sería la consecuencia de la acción del talón del arado de reja y vertedera a una profundidad mayor de 15 cm.

En 1984, en el espesor 0-10 cm, los valores fueron estadísticamente superiores en el suelo bajo S.D. que bajo L.C. En el espesor 10-20 cm no hubo diferencias entre labranzas

La Fig. 1 muestra la evolución de la densidad aparente en S.D. a cuatro profundidades, durante 1977-1984.

Aparentemente, luego de cumplirse el cuarto año del doble cultivo trigo-soja (1978), la densidad aparente a 5-10 cm y 10-15 cm habría alcanzado un equilibrio.

En el Cuadro 3, se presentan los valores de porosidad total obtenidos a partir de las densidades aparen-

te y de la fase sólida. Los promedios muestran una diferencia significativa del orden del 2.7% a 0-5 cm y 1.9% a 5-10 cm, no existiendo diferencias entre 10 y 20 cm. Los promedios para el período 1977-1984 muestran una diferencia del orden de 2.17% en el espesor 0-5 cm y de 1.37% en la profundidad 5-10 cm, encontrándose, en todos los casos, los valores más elevados en S.D.

En el Cuadro 4 se presentan los valores medios de la porosidad de aireación en 1984. En el espesor 0-10 cm, los valores medios fueron más elevados en el suelo bajo L.C. que bajo S.D. Ello indica que el suelo bajo S.D. posee menor capacidad de aireación y mayor capacidad de almacenamiento de agua.

Gowman *et al.*, (16), determinaron que un porcentaje de poros de diámetro mayor a 60 micrones, del orden del 3%, restringiría la aplicabilidad de la S.D. En este caso, ese porcentaje tomó valores entre 8 y 9%. Por lo tanto, no se vería afectado el movimiento interno del agua y no disminuiría la penetración de raíces sino que las mismas podrían hacer un mejor uso del agua que en L.C.

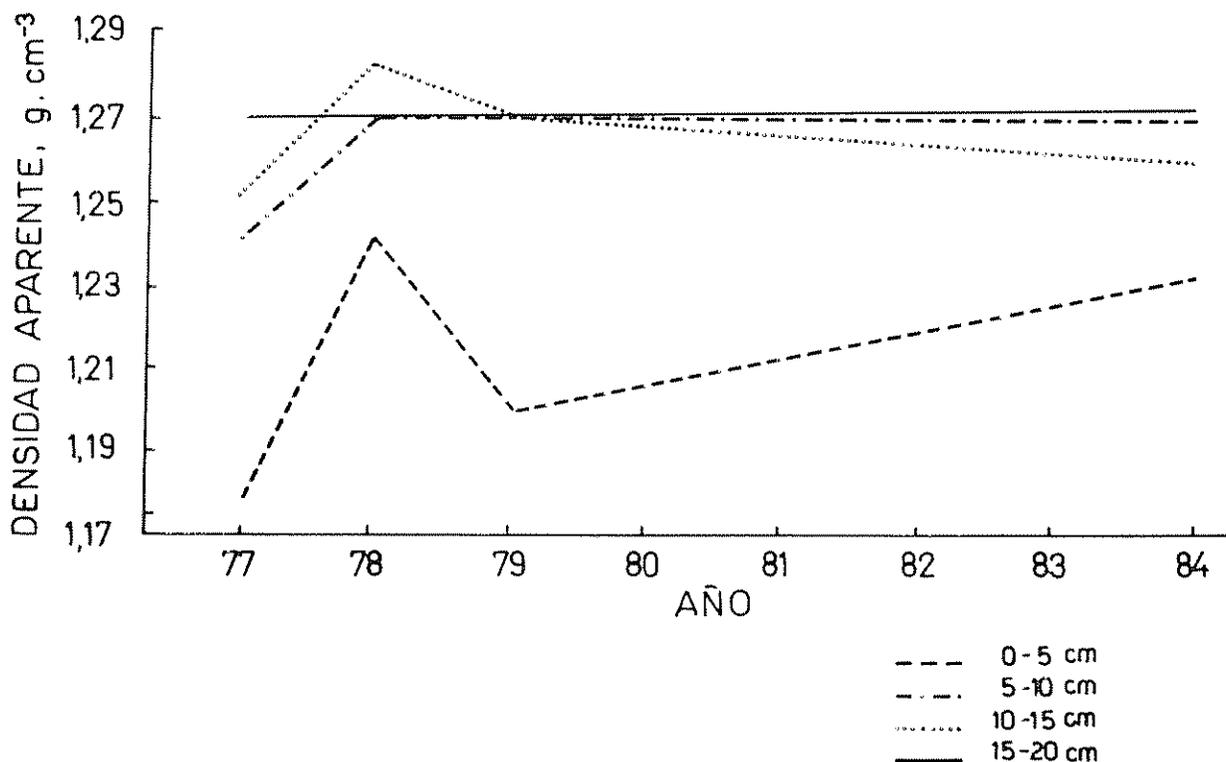


Fig. 1. Densidad aparente en siembra directa a cuatro profundidades durante el período 1977-84.

Cuadro 2. Efecto de dos sistemas de labranza sobre la densidad aparente del suelo ( $\text{g cm}^{-3}$ ). Año 1984.

Profundidad cm	Tratamiento 1)		Coeficiente de variación %	Nivel de significancia <sup>2</sup>
	L.C.	S.D.		
0-5	1.16	1.23	6.16	**
5-10	1.22	1.27	5.32	**
10-15	1.24	1.26	6.27	n.s.
15-20	1.29	1.27	8.18	n.s.

1 L.C.: Labranza convencional  
S.D.: Siembra directa

2 Nivel de significancia estadística: \*\*  $P \leq 0.05$   
n.s. no significativo

La Fig. 2 muestra la CCH bajo dos sistemas de labranza para los espesores 0-5 y 15-20 cm. En el espesor 0-5 cm la curva revela que el agua retenida a un potencial mátrico de  $-33 \text{ K Pa}$  fue 6% menor en L.C. que en S.D. Por lo tanto, es válido suponer mejores condiciones de estructura en S.D. que en L.C. a esa profundidad. Para un potencial mátrico de  $-1500 \text{ K Pa}$ , L.C. retuvo 9% menos de agua que S.D. La menor capacidad de retención de agua en L.C. en el espesor 0-5 cm estuvo asociada al menor contenido de materia orgánica (2). Estas diferencias disminuyeron en el espesor 5-10 cm, no encontrándose a 10-15 y 15-20 cm.

El Cuadro 5 presenta los coeficientes de difusión de gas y los contenidos medios de aire a los potenciales agua de  $-5 \text{ K Pa}$  y  $-33 \text{ K Pa}$  bajo dos sistemas de labranza. Los coeficientes de difusión de gas a potenciales agua de  $-5 \text{ K Pa}$  y  $-33 \text{ K Pa}$  fueron 42.7 y 46.7% superiores en L.C. que en S.D., respectivamente, en la profundidad 0-5 cm. Estas diferencias disminuyeron con la profundidad, no encontrándose a 10-15 y 15-20 cm.

Cuadro 3. Efecto de dos sistemas de labranza sobre la porosidad total del suelo (%). Año 1984.

Profundidad cm	Tratamiento 1)		Coeficiente de variación %	Nivel de significancia <sup>2</sup>	Promedio 1977-1984	
	L.C.	S.D.			L.C.	S.D.
0-5	54.51	51.76	6.16	**	54.19	52.02
5-10	52.16	50.20	5.32	**	51.52	50.15
10-15	51.37	50.59	6.27	n.s.	51.22	50.26
15-20	49.41	50.20	8.18	n.s.	49.35	49.83

1 L.C.: Labranza convencional  
S.D.: Siembra directa

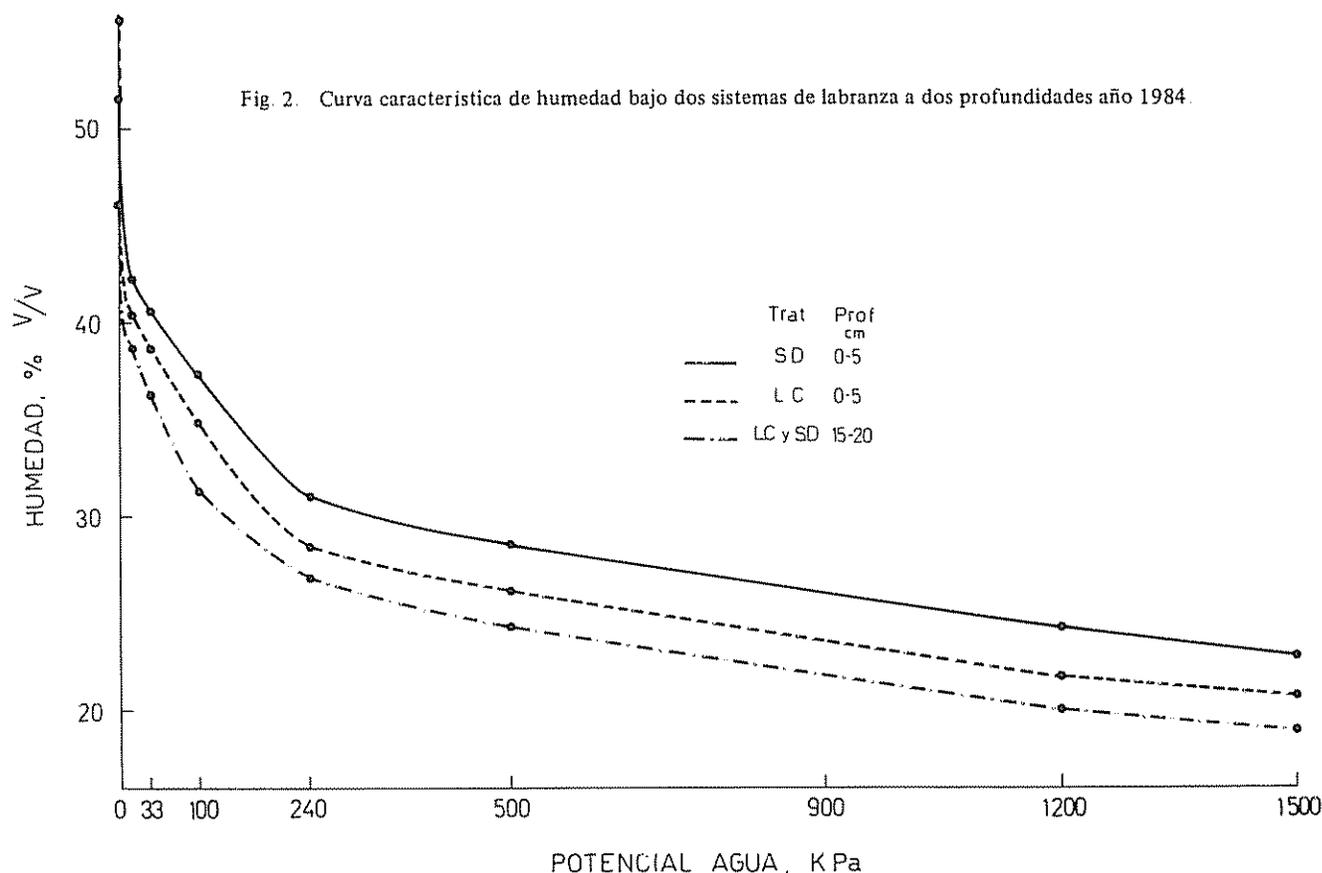
2 Nivel de significancia estadística: \*\*  $P \leq 0.05$   
n.s. no significativo

La Fig. 3 ilustra la relación entre los coeficientes de difusión de gas y los contenidos medios de aire a dos profundidades bajo dos sistemas de labranza. Cuando los contenidos medios de aire son inferiores al 10% (V/V),  $D_S$  se presenta más bajo en L.C. que en S.D. Esto indica que la continuidad de los poros más grandes es mayor en S.D. que en L.C.

Aplicando la ley de Fick, (20) puede estimarse el valor de  $D_S$ , partiendo de un consumo de oxígeno muy alto ( $10^3 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) y una concentración de oxígeno no inferior al 10% (V/V). Este sería igual a  $20 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ . Este coeficiente puede considerarse como límite crítico superior. Cuando en la misma capa de suelo el consumo de oxígeno es 10 veces menor ( $10^2 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) y la concentración de oxígeno decrece al 1% (V/V), se permitiría un límite crítico 20 veces inferior,  $1 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ . Sin embargo, en muchas condiciones, este valor de  $D_S$  resulta en una aireación completamente insuficiente (9).

Usando este criterio para  $D_S$ , puede concluirse que el suelo, bajo los dos sistemas de labranza, tiene adecuada aireación aún a  $-5 \text{ K Pa}$ . A  $-5 \text{ K Pa}$  los valores de  $D_S$  están por encima del nivel mínimo mencionado y a  $-33 \text{ K Pa}$  los valores están por encima, en general, del límite crítico superior. O sea que, en condiciones de suelo mojado, combiadas con alto consumo de oxígeno, no aparecerían problemas con el macrotransporte de gas. En este caso, no se encontrarán bajas concentraciones de oxígeno en toda la capa arable.

El Cuadro 6 contiene los valores de permeabilidad  $K$ , bajo dos sistemas de labranza. Los valores calculados indicaron, a pesar de las limitaciones del método, que la misma resultó alta en ambos sistemas de labranza, aunque en el suelo bajo L.C. fue mayor que bajo S.D., siendo las diferencias más marcadas a 0-5 cm. La disminución en porosidad total y en los poros mayores en S.D. con respecto a L.C. no es lo



suficientemente grande como para producir un aumento de la compactación del suelo y consecuentemente, una diferencia importante en los valores de K.

En el Cuadro 7 se presentan los valores medios de la resistencia del suelo y de la humedad edáfica bajo dos sistemas de labranza. Los mismos fueron estadísticamente más elevados en S.D. que bajo L.C. en la profundidad 0-10 cm.

Los niveles de humedad edáfica, determinados a los 25 días posteriores a la siembra de soja, conjuntamente con la resistencia a la penetración, fueron superiores en S.D. en el espesor 0-15 cm. Se considera que el valor más elevado de humedad edáfica en S.D. se debió a la reducción de la evaporación por acción del efecto del "mulch" o mantillo de los rastrojos de trigo no enterrados y a la reducción de la superficie de rugosidad.

En el Cuadro 8 se presentan los valores de la resistencia del suelo y de humedad edáfica pertenecientes al mismo doble cultivo, determinados durante 1978 y 1979 por Andriulo y Arce (1). Si bien en 1978, 1979 y 1984 la resistencia del suelo fue superior en S.D. en el espesor 0-10 cm, las diferencias no fueron tan mar-

cadadas en 1984 como en 1978 y 1979. Ello, aparentemente, se debió a que las diferencias de humedad en el momento de muestreo en 1978 y 1979 no fueron tan marcadas a 0-5 cm (no existiendo a 5-10 cm) entre labranzas, como en 1984. Otra explicación, aunque menos probable, sería el cambio de metodología empleada para la determinación de la resistencia del

Cuadro 4. Efecto de dos sistemas de labranza sobre el porcentaje de poros de diámetro superior a 60 micrones (%). Año 1984.

Profundidad cm	Tratamiento <sup>1)</sup>		Coeficiente de variación %	Nivel de significancia <sup>2)</sup>
	L.C.	S.D.		
0-5	11.55	9.38	13.69	**
5-10	10.16	8.50	16.08	*
10-15	9.73	9.05	12.38	n.s.
15-20	8.73	8.96	21.40	n.s.

1) L.C.: Labranza convencional  
S.D.: Siembra directa

2) Nivel de significancia estadística: \*  $P \leq 0.10$   
\*\*  $P \leq 0.05$   
n.s. no significativo

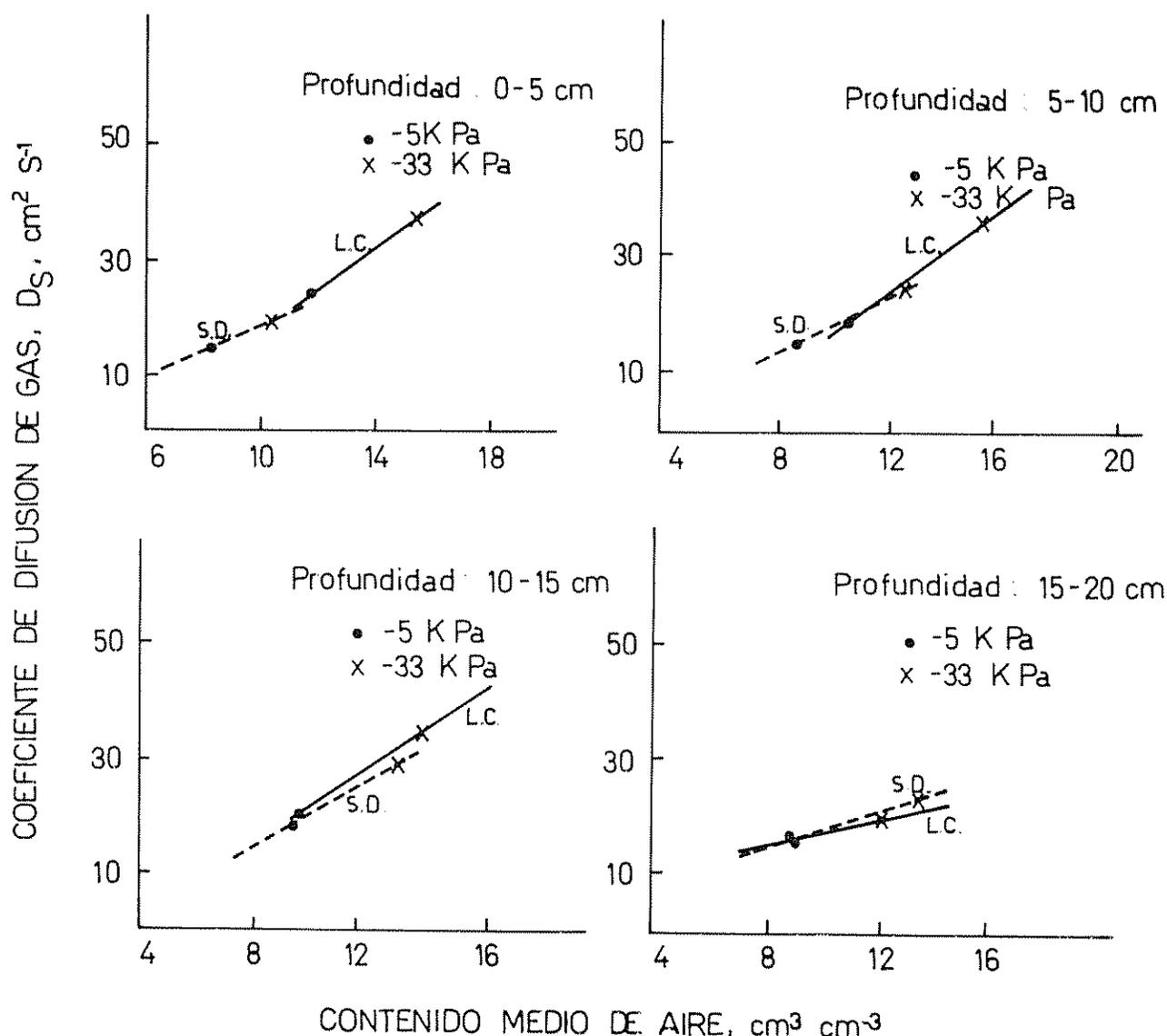


Fig. 3 Relación entre el coeficiente de difusión de gas ( $D_g$ :  $\times 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ S}^{-1}$ ) y contenido medio de aire ( $\times 10^{-2} \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) a cuatro profundidades bajo dos sistemas de labranza. Año 1984

suelo: en 1978 y 1979 se obtuvo el valor en kilogramo-metro por centímetro de profundidad de suelo, transformando en unidades de energía potencial el número de golpes necesarios para obtener cada núcleo de suelo en la determinación de densidad aparente, mientras que en 1984 se obtuvo en unidades de presión utilizando un penetrómetro tipo Proctor. Consecuentemente, la información de 1984 es más confiable que la obtenida en 1978/79, en virtud del procedimiento de medición.

De la observación de los Cuadros 7 y 8 puede decirse que la S.D. de soja, en doble cultivo con trigo,

no produjo incrementos en compactación por debajo del espesor 0-10 cm del suelo durante el periodo 1978-1984.

La Fig 4 muestra la relación entre la resistencia a la penetración y el espacio poroso total a distintos niveles de humedad, durante el periodo 1978-79, bajo dos sistemas de labranzas a la profundidad 0-20 cm. La resistencia a la penetración dependió del espacio poroso pero también el contenido de humedad tuvo un efecto marcado, especialmente, a espacios porosos más pequeños. La relación entre el espacio poroso y la resistencia a la penetración fue similar en ambos

sistemas de labranza (período 1978-79) La resistencia promedio fue un 26% más bajo en L.C. que en S.D. Con humedad cercana a capacidad de campo, la

Cuadro 5. Efecto de dos sistemas de labranza sobre el coeficiente de difusión de gas ( $D_S: \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ ) y sobre el contenido medio de aire (%V/V) a -5 K Pa y -33 K Pa. Año 1984.

Profundidad cm	Tratamiento	-5 K Pa		-33 K Pa	
		$D_S$	Contenido medio aire	$D_S$	Contenido medio aire
0-5	L.C.	23.7	11.6	35.9	15.3
	S.D.	13.6	8.0	19.3	10.1
5-10	L.C.	19.6	10.2	35.2	15.1
	S.D.	14.8	8.5	25.5	12.2
10-15	L.C.	18.1	9.7	31.8	14.1
	S.D.	17.1	9.4	27.8	12.9
15-20	L.C.	15.4	8.7	20.1	12.2
	S.D.	16.2	9.0	20.7	13.2

Cuadro 6. Efecto de dos sistemas de labranza sobre la permeabilidad ( $K: \times 10^{-8} \text{ cm}^2$ ). Año 1984.

Profundidad cm	Tratamiento	
	L.C.	S.D.
0-5	60.0	32.3
5-10	84.1	60.5
10-15	70.1	55.3
15-20	81.8	76.9

Cuadro 7. Efecto de dos sistemas de labranza sobre la resistencia del suelo ( $\text{kg cm}^{-2}$ ) y la humedad edáfica (%V/V). Año 1984.

Profundidad cm	Resistencia del suelo				Humedad edáfica			
	Tratamiento <sup>1</sup>		Coeficiente de variación %	Nivel de significancia <sup>2</sup>	Tratamiento <sup>1</sup>		Coeficiente de variación %	Nivel de significancia <sup>2</sup>
	L.C.	S.D.			L.C.	S.D.		
0-5	4.2	6.1	11.73	**	13.2	20.10	20.60	***
5-10	6.3	8.4	19.93	*	16.4	20.10	18.95	*
10-15	6.7	8.4	18.29	n.s.	14.9	20.30	19.61	***
15-20	10.7	10.5	11.86	n.s.	17.0	19.30	14.13	n.s.

1 L.C.: Labranza convencional  
S.D.: Siembra directa

2 Nivel de significancia estadística: \*  $P \leq 0.10$   
\*\*  $P \leq 0.05$   
\*\*\*  $P \leq 0.01$   
n.s. no significativo

resistencia no resultó menor en L.C. que en S.D. Si bien los valores se incrementaron rápidamente con la disminución en contenido de humedad y el número de poros fue relativamente más pequeño en S.D., los valores de resistencia obtenidos indican que las raíces no encontrarían dificultades en una estación seca.

Lattanzi y Marelli (25), observaron en un suelo de la misma serie que la soja en S.D. continua, después de algunos años, produjo una densificación excesiva de la capa arable y una estructura laminar que afectó el desarrollo radicular. Pareciera que la L.C. aplicada al trigo que sigue a soja actúa controlando la excesiva compactación del suelo que se produce cuando se aplica S.D. a monocultivo de soja.

#### CONCLUSIONES

Las propiedades físicas de un suelo Argiudol típico sufrieron cambios importantes como consecuencia de haber sido sometido a labranzas diferentes en la siembra continuada del doble cultivo trigo-soja durante 11 años.

El menor número de labores mecánicas en S.D. produjo un empaquetamiento más denso de las partículas del suelo en la superficie del mismo. En todos los años estudiados, la densidad aparente fue mayor en S.D. que en L.C. a 0-5 cm con significación estadística variable, a 5-10 y 10-15 cm. En consecuencia, el espacio poroso total se redujo en S.D. La disminución en porosidad total, para el período 1977-1984, fue del orden del 2% a 0-5 cm, atenuándose esa diferencia con la profundidad.

Aparentemente, el suelo bajo S.D. alcanzó un equilibrio en densidad aparente en los espesores 5-10 y

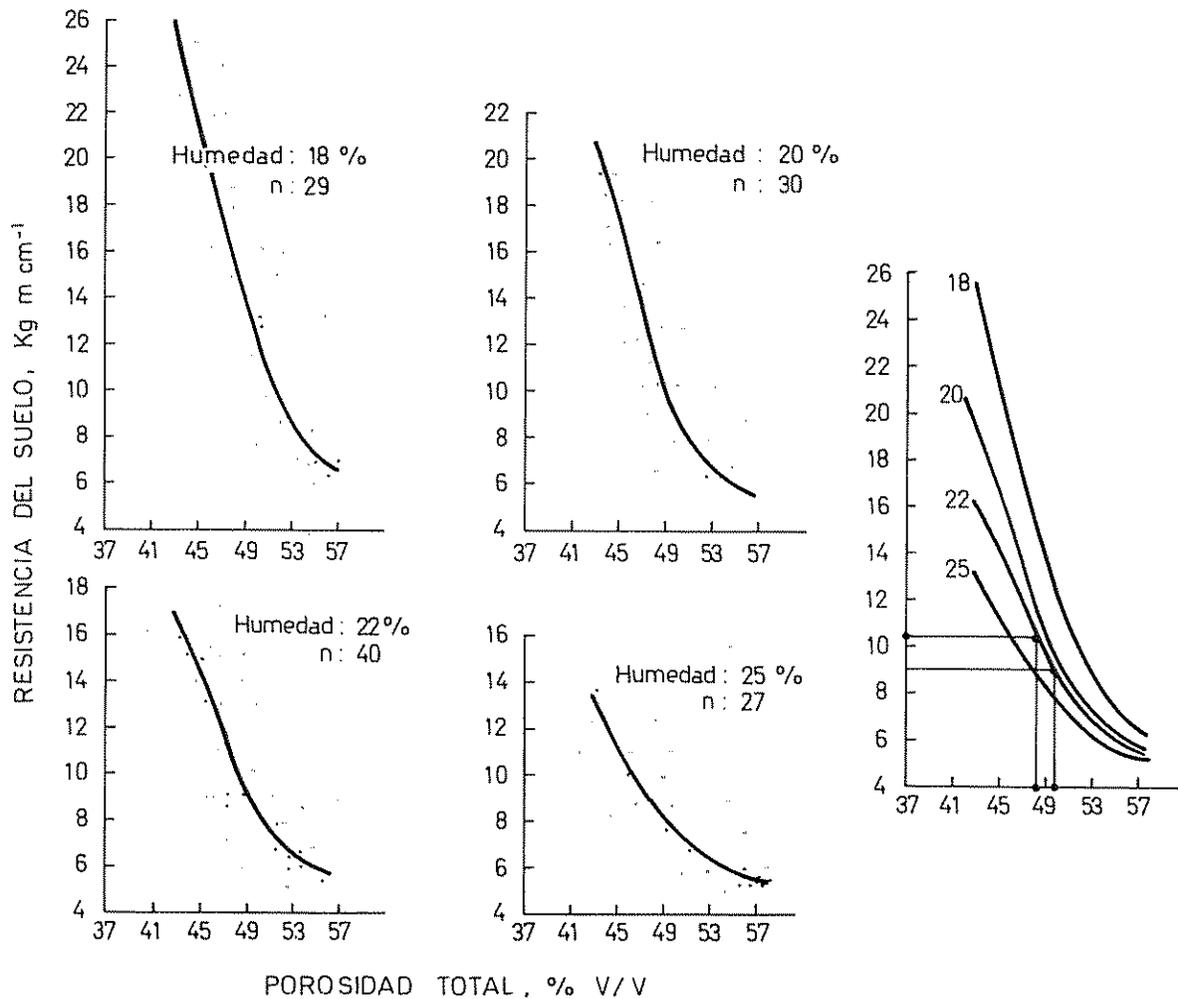


Fig 4. Relación entre la resistencia a la penetración ( $\text{kg m cm}^{-1}$ ) y la porosidad total con distintos niveles de humedad (% P/P) durante el período 1978-1979 bajo dos sistemas de labranza a la profundidad 0-20 cm.

10-15 cm, a partir del cuarto año desde el inicio de la experiencia.

En el espesor 0-10 cm, la porosidad de aireación fue mayor en L.C. que en S.D. mientras que la capacidad de reserva de agua fue menor en L.C. que en S.D. Bajo condiciones de suelo mojado, combinadas con alto consumo de oxígeno, no se desarrollarían bajas concentraciones de oxígeno en ninguno de los sistemas de labranza, en toda la capa arable.

La permeabilidad estimada del suelo fue alta en ambos sistemas de labranza.

Los valores de la resistencia del suelo estuvieron en concordancia con los de densidad aparente. La S.D. mostró valores superiores en el espesor 0-10 cm, en todos los años estudiados, indicando que la compactación no se incrementó en profundidad luego de cumplirse el cuarto año desde el comienzo del experimento. La resistencia promedio fue un 26% menor en L.C. que en S.D. Los valores obtenidos indicaron que las raíces no encontrarían dificultades en una estación seca.

El laboreo de trigo en las parcelas donde se aplicó la S.D. de soja controló la excesiva compactación del suelo, como lo demostraron Lattanzi y Marelli (25) para la siembra continua (monocultivo) de soja.

Cuadro 8. Efecto de dos sistemas de labranza sobre la resistencia del suelo y la humedad edáfica (% V/V) en 1978 y 1979.

Año	Profundidad cm	Resistencia del suelo		Humedad edáfica	
		L.C.	Tratamiento <sup>1</sup> S.D.	L.C.	Tratamiento 1) S.D.
1978	0-5	6.32	8.76 *** <sup>2</sup>	20.5	23.0 **
	5-10	8.31	10.52 **	25.9	26.6 n.s.
	10-15	9.95	11.36 n.s.	27.0	27.6 n.s.
	15-20	12.72	11.76 n.s.	26.9	25.8 n.s.
1979	0-5	5.54	7.01 ***	22.0	24.6 **
	5-10	6.67	9.27 ***	27.1	27.1 n.s.
	10-15	9.33	9.44 n.s.	28.6	28.2 n.s.
	15-20	12.38	10.80 n.s.	30.3	28.1 n.s.

1 L.C.: Labranza convencional  
S.D.: Siembra directa

2 Nivel de significancia estadística: \*\*  $P \leq 0.05$   
\*\*\*  $P \leq 0.01$   
n.s.  $P$  no significativo

## LITERATURA CITADA

- ANDRIULO, A.E.; ARCE, J.M. 1986. Efecto de dos sistemas de labranza sobre algunas propiedades edáficas en el doble cultivo trigo-soja. IDIA, 437-440: 1-10.
- ANDRIULO, A.E.; ROSELL, R.A.; CRESPO, M.B. 1986. Effect of tillage on organic matter properties of a central Argentine soil. Cong. de la Humic Substances Soc. (3, 1986, Oslo, Noruega) Oslo, Noruega.
- BAEUMER, K.; BAKERMANS, W.A.P. 1973. Zero tillage. *Advances in Agronomy* 25:77-123.
- BALL, B.C.; O'SULLIVAN, M.F. 1982. Soil strength and crop emergence in direct drilled and ploughed cereal seedbeds in seven fields experiments. *Journal of Soil Science* 33:609-622.
- BARNES, B.I.; ELLIS, F.B. 1979. Effects of different methods of cultivation and direct drilling and disposal of straw residues, on populations of earthworms. *Journal of Soil Science* 30:669-679.
- BLACK, C.A. (ed.). 1965. *Methods of soil analysis*. Am. Soc. Agr. No. 9 in *Agronomy Series*. Pt. 1. 770 p.
- BLEVINS, R.L.; COOK, D.; PHILLIPS, S.H.; PHILLIPS, R.E. 1971. Influence of no-tillage on soil moisture. *Agronomy Journal* 63:593-596.
- BODMAN, S.D. 1949. Methods of measuring soil consistency. *Soil Science* 68:37-56.
- BOONE, F.E. (ed.). 1984. Experiences with three tillage systems on a marine loam soil, II 1976-1979. Pudoc, Wageningen. *Agr. Res. Reports*. 263 p.
- CANNELL, R.Q.; ELLIS, F.B.; CHRISTIAN, D.G.; GRAHAM, J.P.; DOUGLAS, J.T. 1980. The growth and yield of winter cereals after direct drilling, shallow cultivation and ploughing on non-calcareous clay soils, 1974-1978. *Journal of Agricultural Science* 94:345-360.
- DOWDELL, R.J.; CREES, R.; BUDFORD, J.R.; CANNELL, R.Q. 1979. Oxygen concentrations in a clay soil after ploughing or direct drilling. *Journal of Soil Science* 30:239-245.
- ELLIOTT, J.G.; ELLIS, F.B.; POLLARD, F. 1977. Comparison of direct drilling, reduced cultivation and ploughing on the growth of cereals. 1. Spring barley on a sandy loam soil: introduction, aerial growth and agronomic aspects. *Journal of Agricultural Science* 89:621-630.
- ELLIOTT, J.G.; ELLIS, F.B.; BARNES, B.I.; HOWSE, K.R. 1977. Comparison of direct drilling, reduced cultivation and ploughing on the growth of cereals. 2. Spring barley on a sandy loam soil: soil physical conditions and root growth. *Journal of Agricultural Science* 89:631-642.
- ELLIOTT, J.G.; ELLIS, F.B.; POLLARD, F.; CANNELL, R.Q.; BARNES, B.I. 1979. Comparison of direct drilling, reduced cultivation and ploughing

- on the growth of cereals 3 Winter wheat and spring barley on a calcareous clay. *Journal of Agricultural Science* 93:391-402.
15. FINNEY, J.R.; KNIGHT, B.A.G. 1973. The effect of soil physical conditions produced by various cultivation systems on the root development of winter wheat. *Journal of Agricultural Science* 80:435-442.
  16. GOWMAN, M.A.; COUTTS, J.G.; RILEY, D. 1978. Changes in soil structure and physical properties associated with continuous direct drilling of cereals in U.K. Cong. of Int. Soc. Sci. (11, 1978, Edmonton, Alberta, Canadá, 1) Proceedings Edmonton, Alberta, Canadá 1. 290 p
  17. HANSEN, O.; ZELJKOVICH, V.J. 1982. Investigación en labranza reducida en el área de Pergamino. In Seminario Labranza Reducida en el Cono Sur - IICA, CIAAB. La Estanzuela, Uruguay.
  18. HAYWARD, D.M.; WILES, T.L.; WATSON, G.A. 1980. Progress in the development of no-tillage systems for maize and soybeans in the tropics. *Outlook on Agriculture* 10:255-261.
  19. HILL, J.D.; BLEVINS, R.L. 1973. Quantitative soil moisture use in corn grown under conventional and no-tillage methods. *Agronomy Journal* 65: 317-320.
  20. HILLEL, D. 1980. *Fundamentals of soil physics* New York, Pergamon Press.
  21. IGUE, K. 1980. Avances en la investigación sobre labranza y manejo conservacionista en Paraná-Brasil. 2. Reunión Técnica Nacional de Labranza Conservacionista (2., 1980, Rosario). Rosario. Anexo 1-17.
  22. INTA. 1978. Carta de suelos de la República Argentina. Hoja 3363-17 Marcos Juárez.
  23. JONES, J.N.; MODDY, J.E.; LILLARD, J.H. 1969. Effects of tillage no-tillage and mulch on soil water and plant growth. *Agronomy Journal* 61:719-721.
  24. LAI, R.; AKINREMI, O.O. 1983. Physical properties of earthworms casts and surface soil as influenced by managements. *Soil Science* 44:765-771.
  25. LATTANZI, A.; MARELLI, H. 1982. Avances en investigación sobre el comportamiento de los sistemas de labranza conservacionista en la EERA Marcos Juárez. In Seminario Labranza Reducida en el Cono-Sur-IICA-CIAAB. La Estanzuela, Uruguay.
  26. MARSHALL, I.J. 1958. A relation between permeability and size distribution of pores. *Journal of Soil Science* no. 9.
  27. MARSHALL, I.J. 1959. The diffusion of gas through porous media, *Journal of Soil Science* 10:79-82.
  28. PARKER, E.R.; JENNY, H. 1945. Water infiltration and related soil properties as affected by cultivation and organic fertilization. *Soil Science* 60:353-376.
  29. PIDGEON, J.D. 1980. A comparison of the suitability of two soils for direct drilling of spring barley. *Journal of Soil Science* 31:581-594.
  30. PIDGEON, J.D.; SOANE, B.D. 1977. Effects of tillage and direct drilling on soil properties during the growing season in a long-term barley mono-culture systems. *Journal of Agricultural Science* 88:431-442.
  31. RUSSELL, R.S.; CANNELL, R.Q.; GOSS, M.J. 1975. Effects of direct drilling on soil conditions and root growth. *Outlook on Agriculture* 8:227-232.
  32. SOANE, B.D.; BUTSON, M.J.; PIDGEON, J.D. 1975. Soil machine interactions in zero tillage for cereals and raspberries in Scotland. *Outlook on Agriculture* 8:216-220.
  33. VIVAS, H.S. 1984. Las labranzas y su efecto sobre las propiedades físicas de la serie Wymore. *Ciencia del Suelo* 2:179-186.
  34. VOMOCIL, J.A. 1957. In situ measurement of soil density. *Agronomy Engineering* 35:651-654.