

RELACIÓN ENTRE LA HETEROGENEIDAD DE UN SUELO Y LA DISTRIBUCIÓN DE LAS RAÍCES

M.S. VILCHE, C. ALZUGARAY y S. MONTICO¹

RESUMEN

Se estudió en un Argiudol vértico del Campo Experimental Villarino, Zavalla, UNR (long S 61°, lat O 33°) el grado de relación entre la heterogeneidad físico-mecánica generada por labranza continua y la distribución adoptada por el sistema radical del maíz (*Zea mays* L.) en el perfil. La experiencia se realizó durante el ciclo 1997-1998 en el segundo módulo rotacional trigo/soja - maíz - soja (7 años) en los sistemas de labranza vertical y siembra directa. Se midieron densidad aparente, humedad gravimétrica, resistencia a la penetración frontal y vertical, y densidad de longitud de raíces en el período de floración. El análisis multivariado discriminó las variables mostrando diferencias para ambas situaciones, evidenciándose correlación inversa entre densidad de raíces y el conjunto de resistencia, densidad aparente y humedad. Hubo diferencias significativas entre labranzas en las variables, presentándose mayor heterogeneidad físico-mecánica en labranza vertical que en siembra directa. Se establecieron índices relativos entre densidad radical y resistencia frontal para cada capa de suelo en las dos labranzas. Tanto las variables físico-mecánicas conjuntamente con la densidad de raíces como los índices relativos fueron buenos estimadores de la heterogeneidad edáfica.

Palabras clave. raíces, suelos, heterogeneidad espacial.

RELATIONSHIP BETWEEN SOIL HETEROGENEITY AND ROOTS DISTRIBUTION

SUMMARY

The relationship between soil heterogeneity and root systems were studied in profiles generated by continuous tillages, chisel plough tillage and no tillage. The experiment was conducted in an Argiudol vertic soil at the experimental farm of the National University of Rosario (long W 61°, lat S 33°). Taking account the resistance to penetration, bulk density, gravimetric water and roots length, density in maize (*Zeamays* L.) at silking was measured. The analysis multivariate showed differences, making evidence inverse correlation between root density and resistance. There were significant differences among tillage for resistance to penetration and root length density. The chisel plough tillage showed more physic and mechanical heterogeneity than no tillage. Ratio between layers for frontal resistance and roots length density were established in both tillage. The soil variables, root density and ratios were good estimators of soil heterogeneity.

Key words. roots, soil, heterogeneity spatial.

INTRODUCCIÓN

Los cambios mecánicos producidos por las labranzas se traducen en modificaciones sobre las características de los horizontes del suelo, que originan ambientes diferenciados en el sistema de porosidad, creando distintas condiciones de enraizamiento. Existen evidencias de los cambios

físicos, químicos y biológicos producidos en los Molisoles de la región pampeana por efectos de los sistemas de labranza a largo plazo (Blotta *et al*, 1992; Chagas *et al*, 1994). Son numerosas las publicaciones que refieren la resistencia a la penetrometría medida a campo junto con otras variables edáficas, pero la variación espacial de la resistencia resulta

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, UNR - CC 14 (2123) Zavalla, Santa Fe

más apropiada que la densidad aparente para la detección de las capas limitantes al crecimiento radical (Scott Russell, 1977).

El objetivo del trabajo fue establecer el grado de relación entre la heterogeneidad espacial fisico-mecánica del suelo generada por la labranza continua y la distribución adoptada por el sistema radical en el perfil.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó durante el ciclo 1997-1998 en el Campo Experimental Villarino (U.N.R.) ubicado en Zavalla, Santa Fe, en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*) del segundo módulo rotacional agrícola trigo/soja- maíz- soja. El suelo es un Argiudol vértico perteneciente a la Serie Roldán.

Los dos sistemas de labranzas implementados por siete años consecutivos fueron:

- labranza vertical (LV) con arado de cinceles a 22 cm. de profundidad (espaciamiento entre púas, 35 cm.), labores secundarias con cultivador y rastra de dientes, con control mecánico y químico de malezas.
- siembra directa (SD) mediante sembradora de abresurcos de disco doble plano y con control químico de malezas.

Se sembró un híbrido de ciclo intermedio a una distancia de 70 cm. entre líneas.

En las unidades experimentales, parcelas de 50 m x 75 m, se midió densidad aparente (DA, por el método del cilindro) con cinco repeticiones, en los estratos 0-5, 5-20, 20-40, 40-60 cm y se determinó el contenido hídrico (H, por gravimetría). A la floración se excavaron en cada una de las parcelas, en dos sitios seleccionados al azar, dos trincheras de 280 cm de ancho x 50 cm de profundidad, abarcando cuatro hileras del cultivo (8 plantas/situación). Sobre una pared lateral se colocó una grilla con una cuadrícula de 5 cm de lado y se midió en cada celda resistencia a la penetración con un penetrometro manual con un ángulo de cono de 30° (RPf) y la humedad gravimétrica respectiva (H). Simultáneamente se realizó la lectura de las raíces por el método del perfil expuesto (Bohm, 1979), cuyos resultados se expresan en densidad de longitud de raíces (DLR).

También se midió la resistencia a la penetración verticalmente a intervalos de 10 cm de profundidad, efectuándose 10 repeticiones por estrato (RPv).

Además se establecieron índices relativos de DLR y RPf para cada labranza en las capas sucesivas de suelo:

$$DLR_r = DLR_2/DLR_1; RPf_r = RPF_2/RPF_1; I = DLR_r/RPF_1$$

Los subíndices (1,2) indican los niveles de la profundidad.

Los datos se analizaron por componentes principales PCA (Hotelling, 1933), usando una matriz de correlación y clasificados con el método de mínima varianza (Orlói, 1967), empleando distancia euclídea (programas del paquete PC-ORD, McCune y Medford, 1995). Las labranzas se compararon entre sí con el test de rangos de Wilcoxon (Hollander y Wolfe, 1973). Dentro de cada labranza, para las diferentes profundidades se recurrió a los test de Kruskal-Wallis y comparaciones múltiples de Dunn. Se correlacionaron las variables medidas y las RPf y RPv entre sí con el test de rangos de Spearman.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las características del suelo se describen en el Cuadro N° 1.

Cuadro N° 1. Principales características del Argiudol vértico.

Horizonte	A	B1	B2
Espesores (cm)	0,31	31-42	42,70
Materia orgánica (%)	3,21	1,34	1,5
Carbono orgánico (%)	2,01	0,78	0,64
Arcilla < 2 (%)	25,0	29,8	49,6
Limo 2-5 (%)	62,7	60,6	46,1
Arena fina y muy fina (%)	12,1	9,6	4,3
Saturación de bases S/T (%)	82	85	88
Suma de bases (S) cmol(+)/kg	18,3	17,0	30,5
CIC	21,9	19,8	31,5

Los datos promedio por estrato de suelo, de las variables estudiadas en cada sistema de labranza, se muestran en el Cuadro N° 2.

El análisis multivariado para LV clasificó cuatro grupos: los primeros 10 cm. de suelo se separan a su vez en 5 y 10 cm., y los otros tres se discriminaron en 15-25, 30-35 y 40-50 cm. respectivamente. (Fig. 1). El ordenamiento coincidió con la clasificación. (Fig. 2)

Cuadro N°2. Raíces y variables edáficas promediadas por estratos LV y SD.

	Prof cm	Raíces			RP		DA	Humedad		
		N°	DLR cm/cm ³	DLR ac.	DLR %	RPf Mpa	RPv Mpa	g/cm ³	%	mm
Labranza vertical	5	82,42	0,56	0,56	15,34	0,15	0,17	1,06	28,05	14,86
	10	115,00	0,71	1,27	34,79	0,22	0,22	1,16		
	15	82,25	0,546	1,83	50,14	0,39	0,31	1,31		
	20	62,63	0,45	2,28	62,47	0,47	0,34	1,36	26,67	52,37
	25	41,88	0,37	2,65	72,60	0,37	0,27	1,35		
	30	30,62	0,25	2,90	80,00	0,36	0,39			
	35	18,25	0,19	3,09	84,66	0,44	0,47			
	40	12,50	0,20	3,29	90,14	0,38	0,39	1,28	32,17	82,35
	45	10,16	0,26	3,55	97,26	0,57	0,56			
	50	5,00	0,010	3,65	100,00	0,67	0,62			
Total	460,71	3,65								149,58
Siembra directa	5	87,87	0,75	0,75	17,94	0,14	0,08	0,97	31,97	15,50
	10	93,37	0,65	1,40	33,49	0,22	0,18	1,28		
	15	72,63	0,53	1,93	46,17	0,33	0,26	1,28		
	20	56,50	0,44	2,37	56,70	0,29	0,39	1,41	30,93	77,32
	25	48,13	0,38	2,75	65,79	0,50	0,42	1,28		
	30	36,00	0,34	3,09	73,92	0,39	0,42			
	35	32,25	0,34	3,43	80,01	0,51	0,42			
	40	23,00	0,30	3,73	89,78	0,51	0,43	1,25	35,11	87,75
	45	16,38	0,29	4,02	98,17	0,50	0,44			
	50	7,34	0,13	4,15	100,00	0,55	0,47			
Total	473,36	4,18								180,57

DLR: Densidad de Longitud de Raíces.
 DLR ac: Densidad de Longitud de Raíces Acumulada.
 RPF: Resistencia Penetrométrica Frontal.
 RPv: Resistencia Penetrométrica Vertical.
 Da: Densidad Aparente.

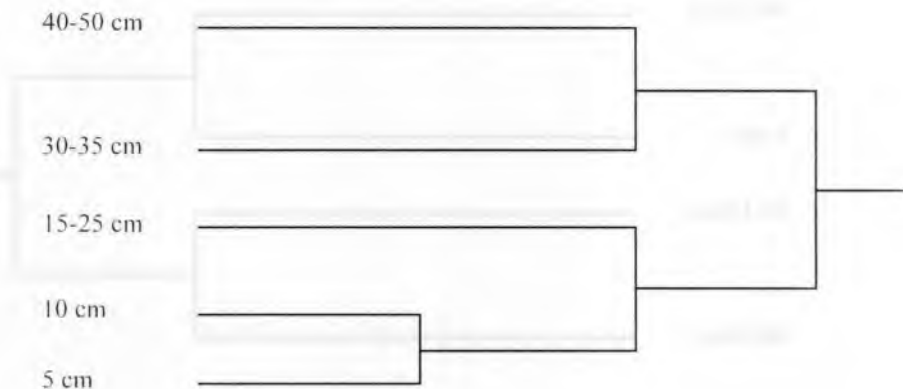


Figura 1. Dendrograma de las profundidades según el método de la Mínima Varianza en L.V.

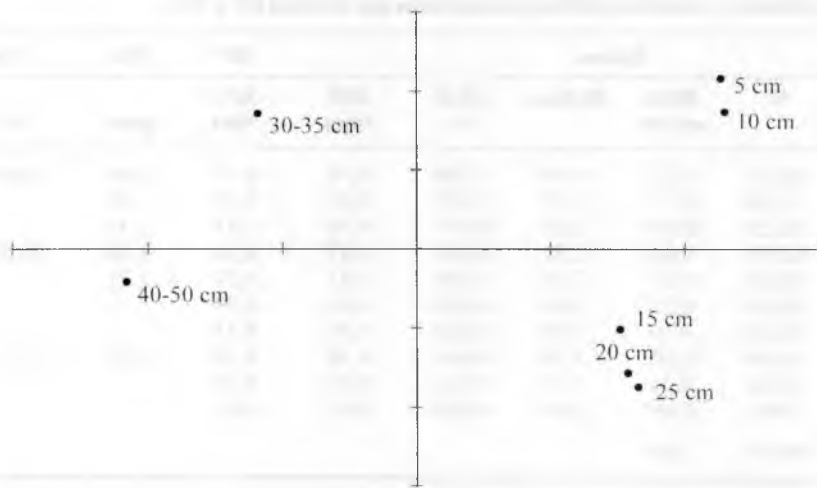


Figura 2. Ordenamiento de profundidades en los ejes de los componentes principales en LV.

Para SD se formaron solamente dos grandes grupos: los primeros 25 cm de suelo (separando a su vez el estrato 0-5 cm del resto) y a partir de allí hasta los 50 cm de profundidad. Esta distribución

describe mayor grado de similitud entre grupos que en LV. (Fig. 3). Igual tendencia muestra el ordenamiento correspondiente. Fig. 4.

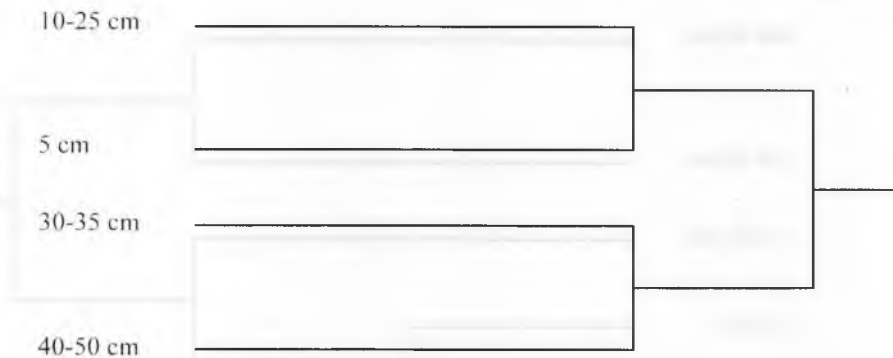


Figura 3: Dendrograma de las profundidades según el método de la Mínima Varianza en SD.

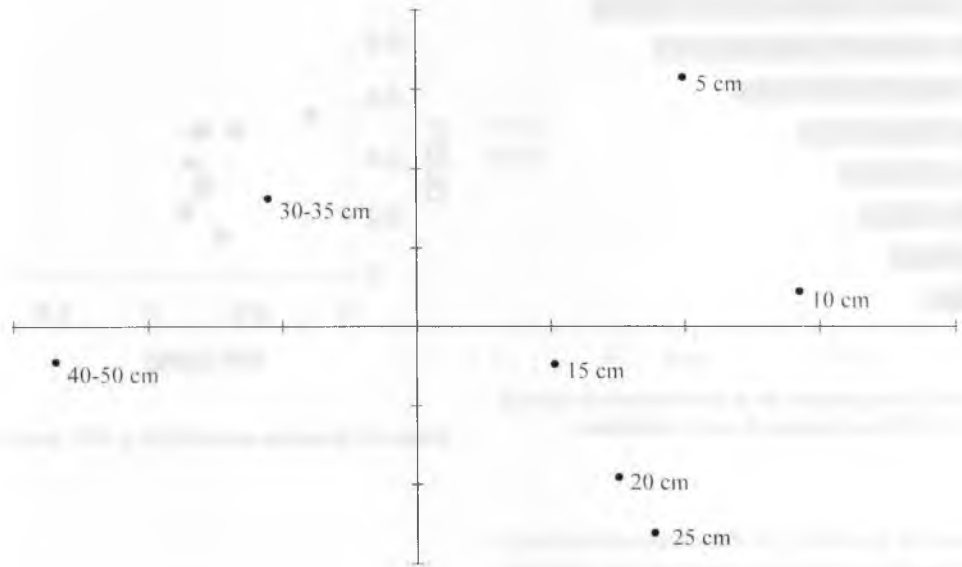


Figura 4. Ordenamiento de profundidades en los ejes de Componentes Principales en SD.

Las variables estudiadas en forma conjunta por los componentes principales, mostraron las diferencias que se generaron en el perfil a partir de las respectivas labranzas.

En general hubo una relación inversa entre las raíces y el resto de las variables.

Se presentó una correlación altamente significativa ($p < 0,0008$) entre DLR y RPF ($r = -0,51$) y entre DLR y RPV ($r = -0,57$) para LV. En SD hubo correlación de similar significancia respecto a la medición vertical ($r = -0,61$) pero no a la frontal ($r = -0,20$, $p < 0,25$).

De ambas situaciones de labranzas fue SD la que tuvo más alto contenido hídrico. Esta condición permitió la exploración radical del horizonte Bt, donde fue observado un número superior de raíces a las presentes en LV. El perfil más húmedo de SD se encuentra relacionado con la mayor capacidad de captación de agua que tiene esta labranza conservacionista (Totis *et al*, 1984, Zeljkovich *et al*, 1987). Esto, a su vez, se traduce en una mayor profundidad exploración radicular.

Las diferencias en DLR y RP para SD y LV se muestran a continuación (Figura 5 y 6).

Entre ambos tipos de evaluaciones de la resistencia a la penetración la correlación fue $r = 0,60$, $p < 0,0002$ para las dos labranzas lo cual estaría indicando un grado de asociación importante entre la RPF y RPV. La lectura simultánea en el perfil

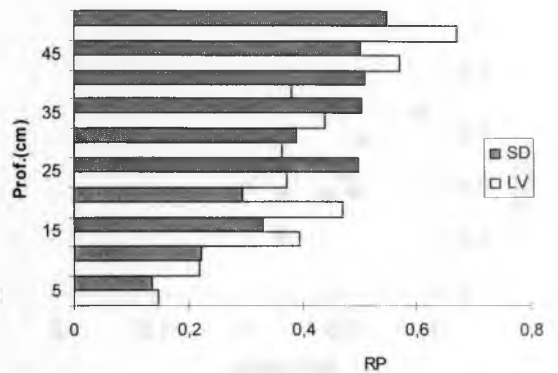


Figura 5. Comparación de la RP para LV y SD en función de la profundidad.

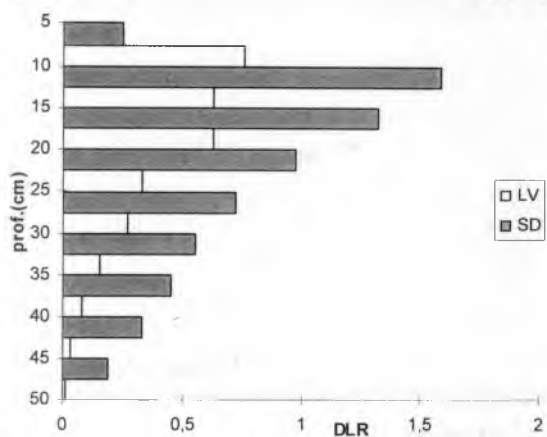


Figura 6. Comparación de la distribución de la DLR para LV y SD en función de la profundidad.

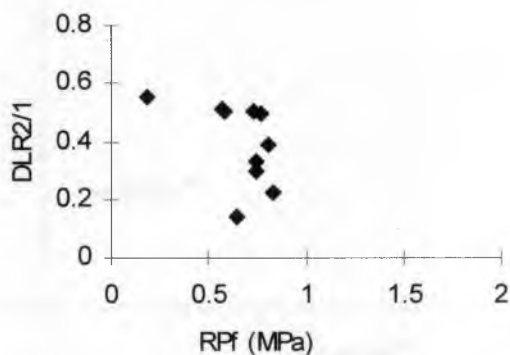


Figura 8. Relación entre DLRr y RPF para SD

expuesto de las raíces y la RP es una metodología de evaluación rápida que describe una situación puntual para RP, en la cual debe ser siempre considerada la humedad como factor influyente en su determinación (Hill y Cruse, 1985).

Respecto a los índices propuestos, los DLRr que varían en función de la RPF y los I, evidencian el grado de homogeneidad de la distribución de las raíces con relación a las condiciones físico-mecánicas para siembra directa. En labranza vertical se observa, en cambio una mayor dispersión. La variación de estos dos parámetros muestran una tendencia similar al del análisis multivariado. (Fig. 7-10).

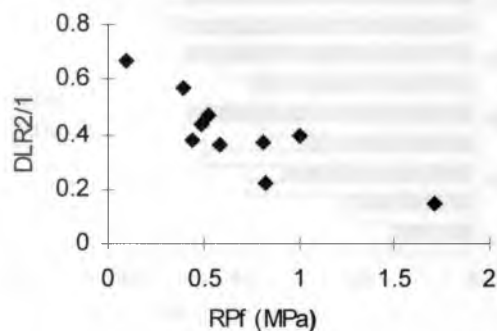


Figura 7. Relación entre DLR y RPF para LV.

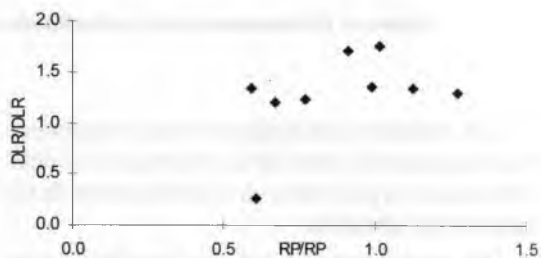


Figura 9. Relación de los I para LV.

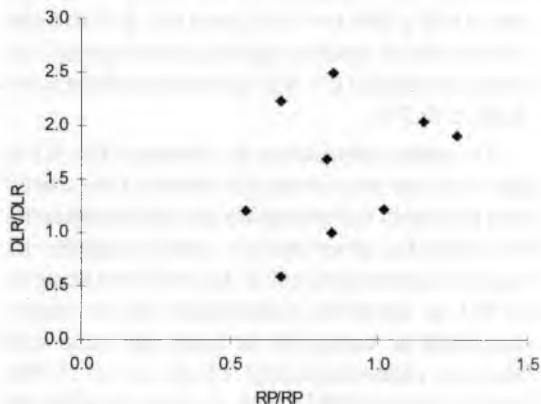


Fig. 10. Relación de los I para SD

En el cuadro N° 3 se indican los resultados obtenidos mediante el test de Wilcoxon para ambos sistemas de labranza.

Cuadro N°3. Comparaciones de las variables entre labranzas.

Prof. (cm)	DLR	RPF	RPv	DA	H
0-10					
10-15	**			*	
15-20	**	**			
20-25	**	**		*	
25-30					
30-35				*	*
35-40				*	

* p<0,1
** p<0,05

CONCLUSIONES

Las variables físico-mecánicas del suelo conjuntamente con la densidad de longitud de raíces y los índices relativos resultaron buenos estimadores de la heterogeneidad edáfica.

BIBLIOGRAFÍA

- BLOTTA, L.A.; V.J. ZELJKOVICH, O.M. HANSEN y N.C. GONZALEZ.** 1992. Sistemas de labranza en las rotaciones maíz-trigo-soja 2da. y monocultivo de soja de Ira. Efectos acumulativos de la labranza sobre el rendimiento del cultivo de soja. EEA INTA Pergamino. *Carpeta de producción vegetal*. Informe 101, tomo XI.
- BOHM, W.** 1979. Methods of studying root systems. Berlin : Springer Verlag, 188 pp.
- CHAGAS, C.I., H.J. MARELLI, y O.J. SANTANATOGLIA.** 1994. Propiedades físicas y contenido hídrico de un Argiudol típico bajo tres sistemas de labranza. *Ciencia del Suelo* 12 : 11-16.
- HILL, R.L. Y R.M. CRUSE.** 1985. Tillage effects on bulk density and soil strength of two Molisoles. *Soil Science Society of America Journal*, v.49, 1270-1272.
- HOLLANDER, M. AND D.A. WOLFE.** 1973. Nonparametric Statistical Methods. John Wiley & Sons, New York., 503 p.
- HOTTELING, H.** 1933 a. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *J. Educ. Psych.* 24: 417-441.
- HOTTELING, H.** 1933 b. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *J. Educ. Psych.* 24: 498-520.
- McCUNE, B. and M. J. MEDFORD.** 1999. PC-ord. Multivariate analysis of Ecological Data, Version 4. MjM Software Design, Gleneden Beach, Oregon, USA.
- ORLOCI, L.** 1967. An agglomerative method for the classification of plant communities. *Journal of Ecology* 55: 193-206.
- SCOTT RUSSELL, R.S.** 1977. Plant root systems. Their function and interaction with soil. Mac Graw-Hill Book Company (UK) Limited, London.
- TOTIS, L; V. J ZELJKOVICH y L. BLOTTA.** 1984. Sistemas de labranzas en la rotación trigo – soja – maíz. II Efectos en el contenido de humedad del suelo en el consumo y eficiencia del agua del cultivo de maíz. *In: III Congreso Nacional de Maíz.* Pp 186-187.
- ZELJKOVICH de, L; V.J. ZELJKOVICH; O. HANSEN y L. BLOTTA.** 1987. Sistemas de labranzas en la rotación trigo – soja – maíz. Efectos en el contenido de humedad del suelo y en la eficiencia del uso del agua por los cultivos de trigo y soja. Publicación Técnica 42. INTA EEA, Pergamino.