



Sergio Montico
Néstor Di Leo
Gabriel Zerpa

COMPACTACIÓN EN UN SUELO ESCARIFICADO A TRAVÉS DE LÓGICA DIFUSA

COMPACTION IN A SCARIFIED SOIL THROUGH FUZZY LOGIC

Originales

Recepción: 03/12/2001

Aceptación: 19/03/2002

RESUMEN

En parcelas con 7 años de siembra directa continua se realizó una labor de escarificado. A los 40 días se abrieron trincheras y sobre una grilla cuadrículada se determinó la penetrometría de pared y la humedad en los perfiles de suelo. Para procesar los histogramas obtenidos en la integración de los relevamientos de resistencia a la penetración en escarificado (E) y no escarificado (NE) se utilizó el módulo fuzzy (tratamiento de imágenes de un sistema de información geográfica).

Se determinaron 7 clases de compactación en cada situación, diferenciadas por promedios y rangos. La trinchera con los valores promedios fuzzy de penetrometría en E presentó 25.71 % menos de las clases consideradas más compactadas, siendo significativo el efecto de la labor en el espesor 5-25 cm. No hubo diferencias en humedad entre ambas situaciones, a excepción del estrato 30-35 cm donde -en E- fue mayor. La labor de escarificado produjo modificaciones favorables en los distintos estados de compactación de suelo, principalmente en los espesores intermedios. A través del tratamiento de lógica difusa se determinaron diferentes clases de compactación y su distribución espacial.

SUMMARY

Tillage of scarifier was carried out in plots coming from seven years of no tillage continuous after forty days trenches were opened and determined wall penetrometry and moisture in soil profiles over a square lattice. For histograms processing and the integration of penetrometry resistance of scarifier and not scarifier survey, a fuzzy module for imaging treatment of a system of geographical information was used. Seven compaction classes were determined in each situation, differed by averages and ranges.

The trench with averages values fuzzy of penetrometry of E, presented 25.71 % less than those considered more compacted, being significant the effect of the tillage at 5-25 cm layer. There were not differences in moisture among both situations, to exception of the layer 30-35 cm where at E was bigger. The tillage of scarifier produced favorable modifications in different condition of compaction, mainly in the intermediate layers. Through the treatment of diffuse logic, different compaction classes and their space distribution were determined.

Palabras clave

compactación • escarificado • penetrometría • lógica difusa

Key words

compaction • scarifier • penetrometry • diffuse logic

INTRODUCCIÓN

En la pampa húmeda argentina la agriculturización ocurrida en las últimas tres décadas originó la degradación física, química y biológica de suelo. Importantes pérdidas de materia orgánica, estructura y capacidad de infiltración, impactaron negativamente en una significativa proporción de los suelos Argiudoles con textura franco-limosa superficial afectando la sustentabilidad de los sistemas de producción (2, 8). Los sistemas de labranza, la rotación de cultivos y el manejo de la cobertura superficial del suelo pueden modificar favorablemente sus propiedades (7). A pesar de la cobertura, una de las principales limitantes edáficas -como la compactación- afecta negativamente el crecimiento de las raíces, los contenidos y los movimientos de aire, agua, calor y nutrientes del suelo, reduciendo rendimientos de los cultivos de cosecha y pastoreo (1, 5).

Suelos franco-limosos manejados con siembra directa continua tienden, principalmente por causas genéticas, a desarrollar impedancias mecánicas (13). Un procedimiento posible para eliminar las capas densas y aumentar la remoción del suelo es la labranza profunda con escarificadores (13) que además favorece el desarrollo de las raíces y la infiltración del agua, dejando la cobertura del suelo (11, 12). La resistencia a la penetración permite detectar los cambios causados por dicha labranza en el perfil del suelo (6) y está afectada por su textura, la resistencia mecánica, el contenido de humedad, la velocidad de penetración y las características del cono utilizado (10). La distribución espacial de los sitios compactados en un perfil edáfico puede determinarse por la penetrometría de pared expuesta (15). La clasificación de los intervalos de resistencia a la penetración representa una dificultad metodológica, debido a la característica analógica de los registros espaciales. La lógica difusa es un enfoque analítico diferente que se fundamenta en la complejidad para definir diferentes rangos, o estratos, de valores sin entidad discreta y determinar las funciones de pertenencia a clases difusas (3, 9, 14, 17).

Objetivos

- Aplicar el tratamiento de lógica difusa al relevamiento de datos de resistencia a la penetración en un perfil de suelo alterado por la labor de escarificado.
- Reconocer la distribución espacial de los estados de compactación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el Campo experimental Villarino Zavalla, ubicado en el N de la pampa ondulada de la Argentina: long. O = 60° 53' y lat. S = 33° 01'; clima subhúmedo mesotermal con escaso o nulo déficit hídrico; precipitación promedio: 973 mm/año y temperatura media anual: 17° C. El relieve es suavemente ondulado a plano (pendiente promedio = 0.8 %). El suelo es Argiudol vértico profundo, moderadamente bien drenado, desarrollado sobre sedimento loésico, con horizonte superficial de textura franco-limosa que transiciona gradualmente a un B2t arcillo-limoso con paredes de deslizamiento. El horizonte C, que se presenta a 150 cm de profundidad, es masivo y claro (tabla 1, pág. 59).

Tabla 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 (%)	84	86	97
Suma de bases (S) cmol(+)/ kg	18.3	17.0	30.5
CIC	21.9	19.8	31.5

Durante mayo de 2001, en un lote de ½ ha con 7 años de siembra directa continua y sobre un rastrojo de soja, se laboreó a 30 cm de profundidad con un escarificador de 7 timones rígidos, efectuando 2 tratamientos: escarificado (E) y no escarificado (NE). Para el diseño experimental se tomaron bloques al azar, con 3 repeticiones. A los 40 días de realizado el trabajo, en tres parcelas por tratamiento se excavaron trincheras de 50 cm de ancho y 35 de profundidad, perpendiculares a la dirección de laboreo. Sobre una pared lateral de cada trinchera se colocó una grilla con cuadrículado de 5 cm de lado midiendo -en el centro de cada celda- la humedad gravimétrica (H) y la resistencia a la penetración frontal (RPf) con penetrómetro manual de ángulo de cono = 30° (15).

Para el tratamiento de los datos espaciales obtenidos en las trincheras se recurrió al sistema de información geográfica (SIG) IDRISI v. 2.0 (4). Se construyó una capa vectorial de puntos en forma de grilla (7 filas y 10 columnas) en donde el identificador de cada punto correspondió al valor medido por RPF en cada trinchera. Luego se rasterizó dicha grilla vectorial asignando -como identificador de los píxeles- a los mismos identificadores de los puntos de la grilla vectorial. Se integraron los relevamientos de las repeticiones y las parcelas por tratamiento con el fin de contar con mayor cantidad de valores que optimicen la posterior utilización del módulo fuzzy del SIG. Un número reducido de datos implicaría una severa limitación para la clasificación fuzzy. Por ello, se elaboró un mapa integrado (MI) de 1,50 de ancho x1,05 m de profundidad por cada tratamiento dado que cada grilla tenía las siguientes dimensiones: 0,50x0,35 m. Al integrarse las tres repeticiones para operar con mayor matriz de datos el software IDRISI, el resultante adquirió las dimensiones precisadas.

Los MI representaron imágenes sobre las cuales se operó para establecer el histograma de datos de RPF, con el objeto de determinar su frecuencia en los tratamientos para situaciones escarificadas y no escarificadas.

Con el módulo de tratamiento de imágenes fuzzy del SIG se procesaron los histogramas y se calculó -mediante la evaluación de las funciones de pertenencia- la probabilidad de que cada celda-píxel pertenezca a una clase difusa de compactación.

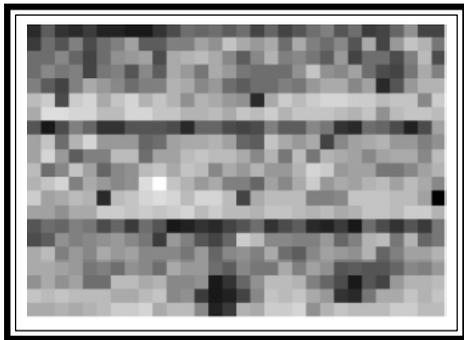
Por interpolación lineal de los datos de puntos adyacentes se obtuvo la función seleccionada. Para valores fuera del rango de datos conocidos, la pertenencia difusa se extrapoló linealmente de acuerdo con los dos puntos más cercanos. Se determinaron los puntos de control y sus correspondientes pertenencias a las clases difusas, definiendo la configuración de la curva de pertenencia, donde los resultados se escalaron entre 0 y 1. Se utilizaron los valores promedio de penetrometría obtenidos por fuzzy para integrarlos en una trichera por tratamiento. Los datos de RPf y de humedad se procesaron según análisis de variancia y las medias fueron comparadas por el test de Tuckey ($p < 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

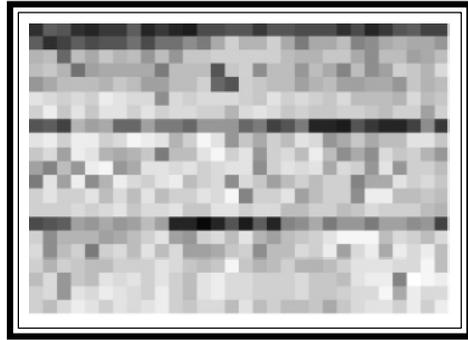
De los tratamientos E y NE (mapas 1 y 2), se obtuvieron los respectivos histogramas de los RPf (figuras 1 y 2).

Mapas integrados de penetrometría

Mapa 1. Situación no escarificada



Mapa 2. Situación escarificada



El grisado de mayor intensidad indica menor compactación

Histogramas de frecuencias de los valores de penetrometría

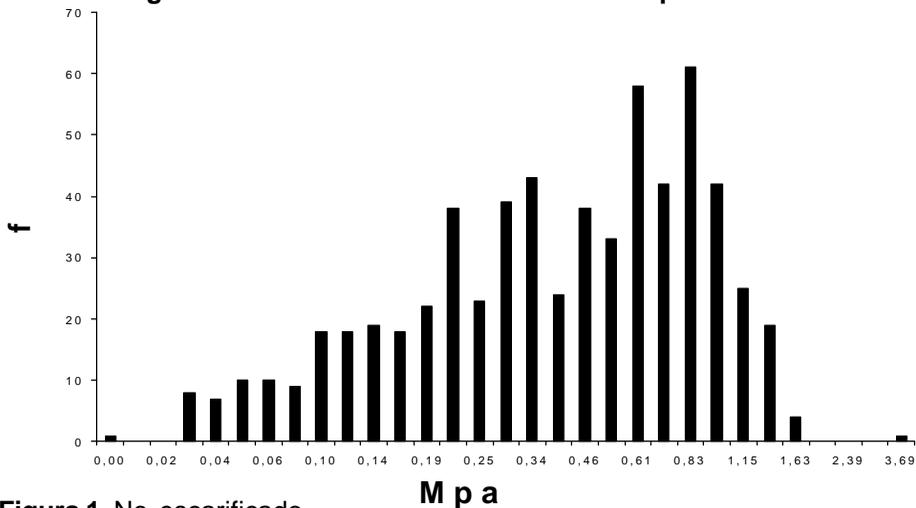
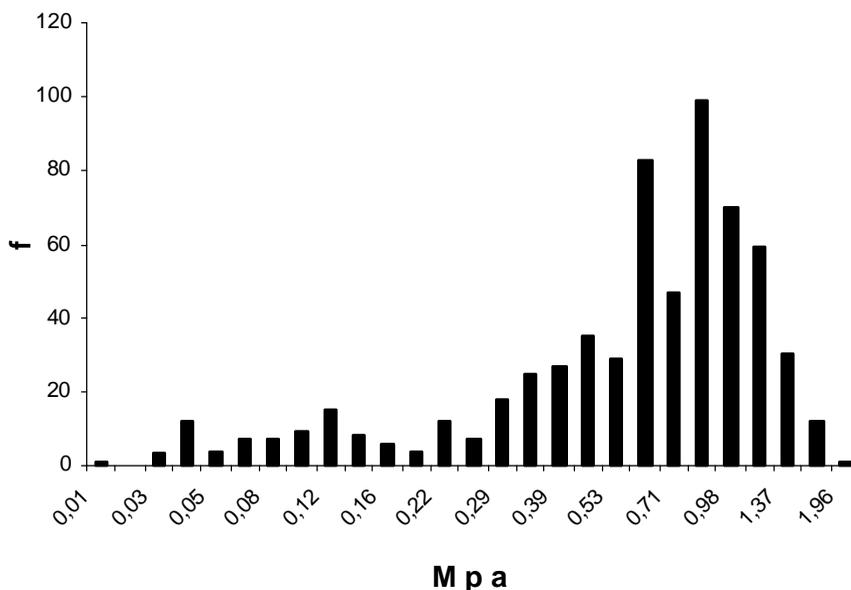


Figura 1. No escarificado

Figura 2. Escarificado

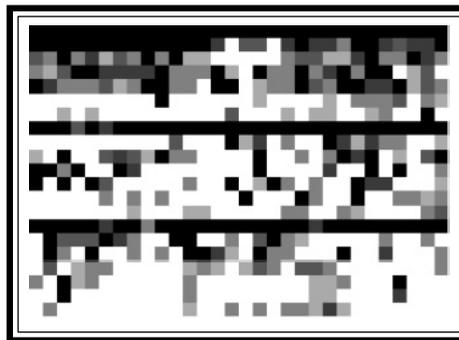
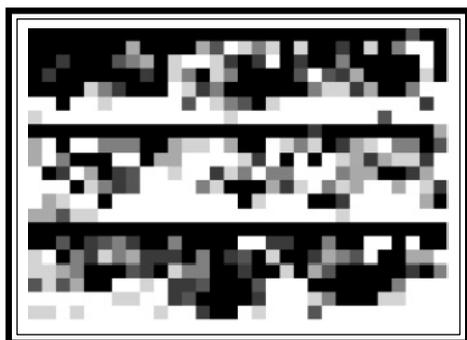


A través de la aplicación del módulo fuzzy, y para las funciones definidas en los histogramas, se determinaron los puntos de control: 0.03, 0.39, 0.71 y 1.37 y sus correspondientes pertenencias a las clases difusas 0.08, 0.08, 0.23 y 0.10, según el criterio determinado por la evaluación multicriterio aplicada de acuerdo con la discretización de los valores de penetrometría en los histogramas. A partir de la clasificación fuzzy (mapas 3 y 4) se obtuvieron siete clases de compactación en las situaciones escarificadas y no escarificadas (tablas 2 y 3, pág. 62). En ambos casos las clases extremas son las que poseen rangos: 0.294 y 0.115 en E y 0.341 y 0.050 en NE.

Mapas integrados de la clasificación fuzzy

Mapa 3. Situación escarificada

Mapa 4. Situación no escarificada



El grisado de mayor intensidad indica menor compactación

Características de las clases difusas

Tabla 2. Situaciones escarificadas

Clase	Atributo de clase de compactación (Mpa)						
	1	2	3	4	5	6	7
Mínimo	0	0.341	0.394	0.457	0.529	0.614	0.714
Máximo	0.294	0.341	0.394	0.457	0.529	0.614	0.921
Total	0.004	0.020	0.037	0.020	0.022	0.011	0.002
Promedio	0.154	0.341	0.394	0.457	0.529	0.614	0.928
Rango	0.294	0	0	0	0	0	0.115

Tabla 3. Situaciones no escarificadas

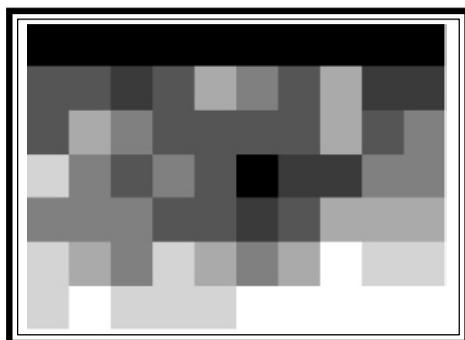
Clase	Atributo de clase de compactación (Mpa)						
	1	2	3	4	5	6	7
Mínimo	0.008	0.457	0.529	0.614	0.714	0.767	0.834
Máximo	0.394	0.457	0.529	0.614	0.714	1.574	1.963
Total	0.006	0.022	0.025	0.007	0.013	0.002	0.001
Promedio	0.183	0.457	0.529	0.614	0.714	0.845	1.013
Rango	0.341	0	0	0	0	0	0.050

La determinación de estas clases permitió la clasificación de la distribución espacial de los valores de RPf, de acuerdo con un criterio de pertenencia, según la asignación generada por el clasificador de probabilidad del SIG. La situación escarificada, en todas las clases, mostró valores promedio menores que la no escarificada; es decir, no obstante coincidir en el número de clases éstas se diferenciaron por grado de compactación ($p < 0.05$). Para cada situación se obtuvo la trinchera de los valores promedios fuzzy de penetrometría (mapas 5 y 6) y el porcentaje de la superficie de trinchera correspondiente a cada clase difusa (tabla 4, pág. 63).

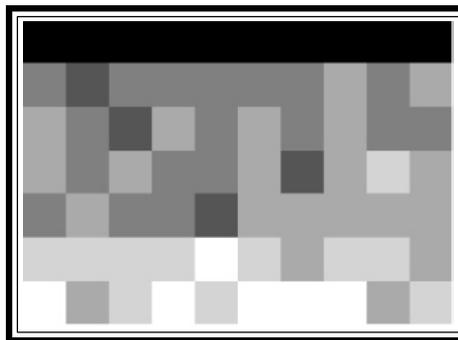
En NE, la clase 2 no tuvo representación espacial. El promedio entre celdas no la discriminó debido a que su carácter carece de frecuencia en el mapa. Respecto a la superficie se observan diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos para las clases 3, 4 y 5.

Distribución espacial de los valores promedio fuzzy

Mapa 5. Penetrometría en E



Mapa 6. Penetrometría en NE



El grisado de mayor intensidad indica menor compactación

Tabla 4. Superficie de la trinchera ocupada por cada clase difusa

Clase	% de la superficie de trinchera	
	Escarificado	No escarificado
1	15.71 a	14.29 a
2	8.57	0
3	21.43 a	5.70 b
4	17.14 b	25.71 a
5	14.29 b	30.00 a
6	13.86 a	15.72 a
7	10.00 a	8.77 a

Valores seguidos de letras distintas en sentido horizontal diferencian medias para $p < 0.05$.

Las clases consideradas más compactadas por superar el valor indicador de 0.4 Mpa: 4, 5, 6 y 7 (16), ocuparon diferente superficie en ambos perfiles. En la situación escarificada se presentó 25.71 % menos de estas clases (54.29 % en E y 80 % en NE). En profundidad, se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre promedios del tipo de clase para los espesores: 5-10, 10-15, 15-20 y 20-25 cm y valores similares en el primer y último estrato (tabla 5) destacándose un importante efecto de la labor de escarificado entre 5-25 cm.

El estrato 30-35 cm fue el único que presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) en humedad. La ausencia de precipitaciones en el período entre la labor y su determinación contribuyó a que no se detectaran importantes cambios en el contenido hídrico entre los otros espesores de ambos tratamientos (tabla 6). Diversos autores (10, 15) se refieren a la importancia de la distribución espacial de las zonas compactadas vinculándolas con la productividad edáfica. En relación con ello, el uso del atributo fuzzy de un SIG es un recurso metodológico de análisis de la información obtenida en los perfiles culturales, diferente a los algoritmos matemáticos, que posibilita un nuevo enfoque para el conocimiento de la respuesta físico-mecánica del suelo a la labor profunda.

Tabla 5. Promedio del tipo de clase en los distintos espesores de suelo en E y NE

Espesor (cm)	Promedio del tipo de clase	
	Escarificado	No escarificado
0-5	1.08 a	1.08 a
5-10	3.12 a	3.97 b
10-15	3.59 a	4.36 b
15-20	3.16 a	4.59 b
20-25	3.83 a	4.67 b
25-30	0.6 a	0.84 a
30-35	6.65 a	6.54 a

Tabla 6. Contenido de humedad de los espesores de suelo

Espesor (cm)	Humedad (%)	
	Escarificado	No escarificado
0-5	17.56 a	18.32 a
5-10	18.79 a	19.77 a
10-15	19.22 a	19.01 a
15-20	20.34 a	21.42 a
20-25	21.56 a	21.37 a
25-30	22.46 a	21.64 a
30-35	25.30 a	23.05 b

Valores seguidos de letras distintas en sentido horizontal diferencian medias para $p < 0.05$

CONCLUSIONES

- * La labor de escarificado produjo modificaciones favorables en los distintos estados de compactación de suelo, principalmente en los espesores intermedios.
- * Con el tratamiento de lógica difusa se determinaron diferentes clases de compactación y su distribución espacial.

BIBLIOGRAFÍA

1. Al Abwai, A. and Reeder, R. C. 1996. Compaction and subsoiling effects on corn and soybean yields physical properties. *ASAE*. 39(5):1641-1649.
2. Andriulo, A. y Cordone, G. 1998. Impacto de labranzas y rotaciones sobre la materia orgánica de suelos de la región pampeana húmeda. *Hemisferio Sur*. pp. 65-91.
3. Barro, S. et al. 1998. *Advance in fuzzy logic*. Univ. de Sgo. de Compostela. España. 269 pp.
4. Eatsman, J. R. 1995. *IDRISI for Windows v. 1.00 User's Guide*. Clark Univ. USA. 371 pp.
5. Elisondo, E. et al. 2000. Evaluación de propiedades físicas de suelo en sistemas de labranza reducida y siembra directa. *Cong. Arg. Ciencia del Suelo*. Carlos Paz. Argentina.
6. Gerard, C. J. 1987. Furrow diking and subsoiling studies in the rolling plains. *Texas Agric, Exp. Station, B1585*, 1-12.
7. Lal, R. and Kimble, J. M. 1997. Conservation tillage for carbon sequestration. *Nutrient cycling in Agroecosystems* 49:243-253.
8. Michelena, R. et al. 1989. Degradación de suelos en el N de la región pampeana. *Proyecto de agricultura conservacionista*. INTA. Pergamino. Argentina.
9. Montico, S. 2001. Ordenamiento territorial en una cuenca rural. *Rev. Facultad de Cs. Agrarias. UNCuyo*. Tomo XXXIII. N° 2. 73:84. Mendoza. Argentina.
10. Perumpral, J. V. y Montavani, E. 1994. Aplicaciones do penetrometro. *Metodología para investigación en manejo de suelos*. Diálogo XXXIX. IICA. Montevideo. Uruguay.
11. Ripoll, M. y Kruger, H. 1996. Labranza vertical en el SO de Bs. As. Efectos sobre la resistencia a la penetración, el sistema radical y los rendimientos del trigo. *IV Cong. Arg. y II Intern. de Ing. Rural. Actas*. Tomo I. 383-388.
12. Secco, D. y Reinert, D. J. 1997. Eficiencia operacional de escarificadores em latossolo vermelho-escuro sob plantio direto. *Eng. Agric. Jaboticabal*. 16:52:61.
13. Taboada, M. A. 1998. Compactación superficial causada por la siembra directa y regeneración estructural en suelos franco-limosos pampeanos. *XVI Cong. Arg. de Ciencia del Suelo*. Carlos Paz. Córdoba. Argentina.
14. Trillas, E. et al. 1995. *Introducción a la lógica borrosa*. Ariel. Barcelona. España. 236 pp.
15. Vilche, M. S. et al. 2000. Heterogeneidad de un suelo y la distribución de las raíces. *Rev. Fac. Agron. UBA*. Buenos Aires. 20(1): 75:81.
16. Wild, A. 1992. *Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell*. Mundiprensa, Madrid. 1045 pp.
17. Zadeh, L. A. 1965. Fuzzy sets. *Information and Control*. Vol 8. 338 - 353.