

Evaluación del efecto del uso y manejo del suelo sobre algunas propiedades de un Hapludol típico en Argentina

Evaluation of soil use and management effect on some typic Hapludol properties from Argentina

PARRA, B. J.¹, BECKER, A. R.¹ and CANTÚ, M. P.¹

(1) Departamento de Geología, Universidad Nacional de Río Cuarto, Ruta 36 km 601, (X5804ZAB), Río Cuarto, Córdoba, Argentina. bparra@ayv.unrc.edu.ar; abecker@exa.unrc.edu.ar; mcantu@exa.unrc.edu.ar

Recibido: 5/11/2008

Revisado: 10/1/2009

Aceptado: 20/2/2009

Abstract

The objective was to evaluate the soil use and management effect on some physical soil properties in a typic Hapludol from the southwest of Córdoba, Argentina. The experimental factors were soil use, with and without grazing of crop residuals (P and NP) and the tillage systems (conventional tillage, reduced tillage and no tillage LC, LR and SD, respectively). A situation of minimum alteration (MA) was considered as reference. The variables analyzed in the horizon Ap were: maximum compaction (PEA_{max}), critical humidity (HC), bulk density (PEA), relative compaction (CR) and organic matter content (MO). The PEA_{max}, the HC and the MO did not differ significantly among soil uses yet they did differ among tillages. The SD presented the smaller PEA_{max} associated to a larger MO and HC with regard to the other tillages that presented no difference. The relationships found among the variables were the following: PEA_{max} and MO ($r^2=0,81$; $p<0,05$); HC and MO ($r^2=0,77$ $p<0,05$) and PEA_{max} and HC ($r=-0,85$ $p<0,001$). The PEA and CR presented a similar tendency, larger in SD-P and smaller in LR-P and LC-NP; we found intermediate values in LR-NP; SD-NP and LC-P. The analyzed treatments presented a clear differentiation with relationship to MA mainly due to the changes in the MO and PEA_{max} induced by the human activities. The SD differs from the other tillage systems for a larger MO, HC, PEA and CR, and a smaller PEA_{max}.

Key words: soil compaction, maximum bulk density, proctor test, organic matter, soil uses, typic Hapludolls, tillage systems.

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas físicos que surgen del uso y manejo del suelo es la compactación (SOANE y VAN OUWERKERK, 1993; QUIROGA et al. 1999). La compactación del suelo afecta negativamente la fertilidad física del suelo, alterando la capacidad de retener agua, la disponibilidad de agua y nutrientes, disminución de la porosidad y la velocidad de infiltración, aumentando la resistencia mecánica, etc. Además, la compactación reduce la eficiencia del uso de fertilizantes y el rendimiento de cultivos, aumenta el riesgo de erosión y de contaminación por los sedimentos arrastrados (HAMZA & ANDERSON, 2005; ZHANG et al., 2006).

Numerosos autores, entre ellos NHANTUMBO & CAMBULE (2006); ARAGON et al. (2000); DÍAZ ZORITA & GROSSO (2000); QUIROGA et al. (1999), ZHANG et al. (1997), han estudiado la compactación utilizando variables derivadas de la prueba Proctor, vinculándolas con el contenido de materia orgánica. Estos trabajos contemplan en su análisis suelos distintos, algunas veces con propiedades muy diversas, pero no han realizado un análisis que considere el uso y las labranzas como factores que condicionen la compactación.

En la región pedemontana del suroeste de Córdoba se han señalado problemas de compactación vinculados a procesos de erosión (BECKER, 2006), distribución del tamaño de poros (PARRA, 2006) aunque la compactación no ha sido analizada en forma directa a través de pruebas de compactación máxima y relativa en diferentes usos y manejos de suelo. Por lo tanto se planteó como hipótesis que el uso y manejo del suelo afectan a propiedades vinculadas a la compactación.

Este trabajo pretende evaluar la influencia de distintos usos y manejos sobre la

compactación actual, máxima y relativa, contenido de humedad crítico y materia orgánica, considerando además, las relaciones existentes entre dichas variables.

MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en un Hapludol típico, limoso grueso, illítico, térmico (BECKER, 2006) ubicado en el campo de Docencia y Experimentación Pozo del Carril de la Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto. En este campo desde 1995 se lleva a cabo un ensayo que contempla los principales usos y manejos de la región pedemontana del suroeste de Córdoba.

Diseño experimental y muestreo

El diseño experimental utilizado fue en parcelas divididas distribuidas al azar en dos bloques, donde los factores fueron:

USO como factor principal con dos niveles: 1. Agrícola diversificado con pastoreo de residuos de cosecha (P) que consistió en una rotación Maíz-Girasol y al final del ciclo de cultivo se pastorearon los residuos de cosecha (rastros) con ganado vacuno. 2. Agrícola diversificado sin pastoreo (NP), igual que el anterior pero sin el pastoreo de los rastros.

LABRANZA como factor secundario con tres niveles: labranza convencional (LC), labranza reducida realizada con cincel (LR) y siembra directa (SD).

Además, se tomó como referencia una situación de mínima alteración (MA) con una pastura de *Eragrostis curvula* (pastro llorón) sin pastoreo que no ha sido alterada desde hace 50 años y representaría la situación más próxima a un suelo natural o prístino.

El muestreo se efectuó antes de la preparación de la cama de siembra (Agosto de 2006) en el horizonte superficial Ap (0-

12cm) de los diferentes usos y sistemas de labranza evaluados en este estudio. El diseño de muestreo fue al azar en forma zigzag obteniéndose 3 muestras compuestas de 5 submuestras para determinación de la compactación máxima y materia orgánica, y 3 muestras inalteradas para evaluar el peso específico aparente.

Determinaciones

Se efectuaron las siguientes determinaciones:

- Peso específico aparente máximo (PEAmax) y contenido de humedad crítico (HC) por la prueba Proctor (ASTM, 1982).
- Materia orgánica (MO) por el método de Walkey y Black modificado (JACKSON, 1970).
- Peso específico aparente (PEA) por el método del cilindro (BLAKE & HARTGUE, 1986).
- Compactación relativa (CR) empleando la ecuación propuesta por CAMPBELL (1994), la cual se expresa a continuación:

$$CR = (PEA_{\text{actual}} - PEA_{\text{min}}) / (PEA_{\text{max}} - PEA_{\text{min}})$$

Donde:

CR: compactación relativa

PEA max: PEA máximo Proctor (g cm^{-3}).

PEA actual: PEA (g cm^{-3}).

PEAmin: PEA de la situación MA (g cm^{-3}).

Esta expresión relaciona la diferencia que existe entre el PEA actual y el de la situación de mínimo disturbio con la diferencia que existe entre PEAmax y PEAmin que es el máximo rango de variación posible para el suelo.

Análisis estadístico

Los análisis utilizados fueron: ANOVA con posterior comparación de medias por el test LSD, análisis de regresión lineal, correlaciones y análisis de componentes principa-

les. El software utilizado para realizar estas determinaciones fue Infostat (UNC, 2007).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se expresan los resultados y discusiones obtenidas para cada variable por separado, los que se integran al final con un análisis multivariado.

Materia orgánica (MO)

En relación a la MO no se encontraron diferencias entre los diferentes usos. En cuanto a las labranzas la SD fue la que presentó el mayor valor de MO (tabla 1) la cual difirió significativamente de LR y esta de LC, coincidiendo con los resultados obtenidos por HERRANZ et al. (2002).

Labranza	PEAmax		MO		HC	
SD	1,58	a	1,93	c	18,95	b
LR	1,64	b	1,57	b	16,40	a
LC	1,67	b	1,35	a	16,06	a

Tabla 1. Peso específico aparente máximo (PEAmax), contenido de materia orgánica (MO) y contenido de humedad crítico (HC) para el horizonte Ap del suelo estudiado.

Los mayores contenidos de MO en SD, sobre todo en forma superficial han sido reportados por autores entre los que se encuentran WEST & POST (2002). La misma ocurriría como consecuencia de la acumulación superficial de MO (HAVLIN et al., 1990) causada por la falta de remoción y no incorporación de los residuos de cosecha (EIZA et al., 2004; MUSSO et al., 2004); a la no exposición de los mismos a los microorganismos del suelo (SALINAS-GARCÍA et al., 1997) a la menor velocidad de ciclado y a la protección de la MO dentro de los agregados (ANDRIULO et al., 2005; SIX et

al., 1999). Por otra parte, las diferencias entre LC y LR serían debidas a las diferencias en intensidad y frecuencia de remoción entre los dos sistemas (GALANTINI, 2004).

Peso específico aparente (PEA)

En la tabla 2 se aprecia que en general, excepto para P-LR, los tratamientos sin pastoreo de rastrojos poseen un PEA menor lo que se debería al efecto de la ausencia del pisoteo por el ganado vacuno acordando con ARRANZ et al. (2004). El comportamiento diferencial del tratamiento P-LR podría explicarse de la siguiente manera: a pesar de haber pocos poros intraagregados, debido al pisoteo, existirían más fisuras y grandes poros producto de una labor vertical de efecto más persistente que el de LC (PARRA, 2006). Además, se observa que la SD en ambos usos presenta el mayor valor de PEA, aunque las diferencias no fueron significativas. Esto estaría relacionado a la no remoción y a la escasa autoestructuración que poseen estos suelos mayoritariamente esqueléticos, con arcilla principalmente illítica (BECKER, 2006), lo cual no estaría contrarrestando el efecto del pisoteo ni del tránsito de maquinarias (BOTTA et al., 2006; CHAGAS et al., 1994; LIEBIG et al., 1993).

Uso	Labranza	Medias	
P	LR	1,19	a
NP	LC	1,20	a
NP	LR	1,26	ab
NP	SD	1,28	ab
P	LC	1,35	bc
P	SD	1,40	c

Tabla 2. Peso específico aparente para cada tratamiento de uso (P: pastoreo de rastrojos, NP: sin pastoreo de rastrojos) y labranza (LC: labranza convencional, LR: labranza reducida y SD: siembra directa)

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Peso específico aparente máximo (PEAmax)

En cuanto a esta variable, solamente se encontraron diferencias entre labranzas y no entre usos. La SD fue el tratamiento que presentó los valores más bajos de PEAmax no observándose diferencias significativas entre LC y LR. Asimismo fue el tratamiento con mayor valor de MO seguido de LR esta de LC, todos con diferencias significativas ($p < 0,05$).

En este caso las variaciones en PEAmax podrían atribuirse principalmente a la variación de MO (tabla 1) ya que todo el experimento se desarrolló en el mismo sitio sin diferencias de texturas entre tratamientos (BECKER, 2006). En tal sentido, entre dichas variables se halló una relación inversa (figura 1) lo cual coincide con NHANTUMBO & CAMBULE, (2006); ARAGON et al. (2000); DÍAZ ZORITA & GROSSO (2000); ZHANG et al. (1997); SMITH et al. 1997; HOWARD et al. (1981) quienes explicaron variaciones en PEAmax en función de los cambios texturales o del contenido de MO.

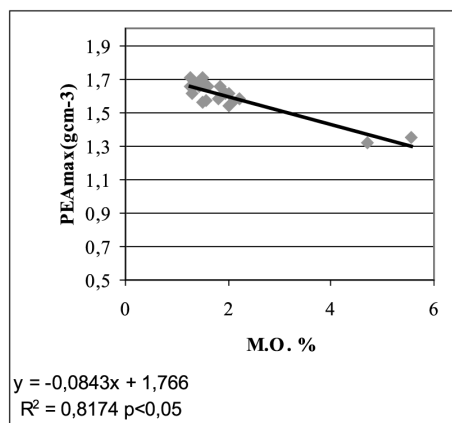


Figura 1. Relación entre contenido de materia orgánica (MO) y el peso específico aparente máximo (PEAmax).

Si se observa la pendiente de la curva de regresión trazada se podría inferir que al disminuir la MO en un punto porcentual el PEAm_{max} se incrementaría en un 8,4%, valor superior al 1,2% encontrado por QUIROGA et al. (1999) aunque estos autores trabajaron con un rango de suelos más variado, considerando algunos de textura más fina. Esto concuerda con SMITH et al. (1997) quienes explicaron que a medida que disminuye el contenido de arcilla, se hace más importante el efecto de la MO en la reducción de PEAm_{max}. Por su parte, ZHANG et al. (1997) mencionan en su trabajo otros antecedentes de estudios similares donde estos valores varían entre 1 y 10%. El efecto de la MO sobre la disminución del PEAm_{max} estaría dado por un incremento en la estabilidad estructural del suelo y al retener gran cantidad de agua, actuaría como amortiguador de las partículas minerales durante la compactación (HUSEIN et al., 1999).

Humedad crítica (HC)

Se observó que el efecto de las labranzas en cuanto al contenido de humedad crítica (HC), se manifiesta siguiendo la tendencia de los valores de MO (tabla 1). La relación entre ambas variables se ve plasmada en la figura 2. Esto se puede explicar por lo expresado por RAWLS, et al. (2003); AGGELIDES & LONDRA, (2000); OSHU et al. (1985) quienes hallaron que a medida que aumenta el contenido de MO se incrementa la capacidad de retener agua para un mismo potencial mátrico.

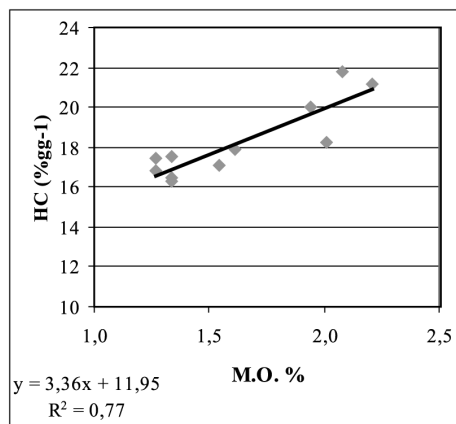


Figura 2. Relación entre el contenido de materia orgánica (MO) y el contenido de humedad crítica (HC).

Otra relación interesante es la que se observa entre HC y PEAm_{max}, (figura 3) la que se puede entender por la dependencia que presentan ambas variables con MO. Como se observa en dicha figura a medida que se incrementa el valor de HC, se obtiene un valor más bajo de PEAm_{max}. Esto se podría explicar mecánicamente por la capacidad de la MO para retener agua la que, por un lado evitaría el fácil deslizamiento de las partículas minerales entre sí y por ello un mayor acomodamiento y compactación (ZHANG & HARTGE, 1995), y por otro lado, estaría manteniendo un valor más alto de humedad (ver lo expresado anteriormente en el ítem MO).

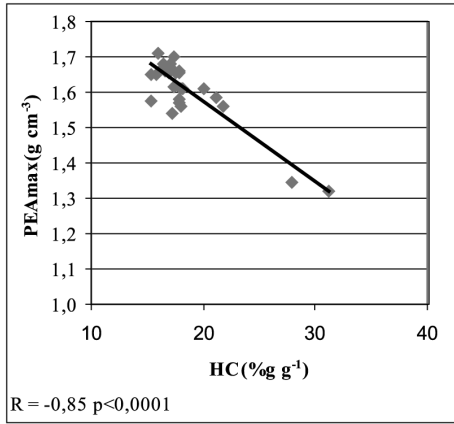


Figura 3. Relación entre el contenido de humedad crítico (HC) y el peso específico aparente máximo (PEAmax).

Compactación relativa (CR)

En la figura 4 se puede observar que solo difirió significativamente el tratamien-

to pastoreado bajo siembra directa (P-SD) de NP-LR, NP-LC y P-LR. Sin embargo al observar las tendencias se aprecia que los tratamientos con SD en ambos sistemas de uso tienen el mayor valor de CR. También se observó, excepto para P-LR, que los tratamientos bajo P tuvieron una mayor CR que los NP. En P-LR sucedió lo contrario debido a que presentó el menor valor de PEA.

Si se relacionan los datos de la figura 4 con los de la tabla 2 se puede observar que las tendencias de CR estarían en su mayor medida explicadas por el valor de PEA, ya que este valor es numéricamente mas variable entre tratamientos que el de PEAmax y por lo tanto tiene más incidencia dentro de la ecuación de CR.

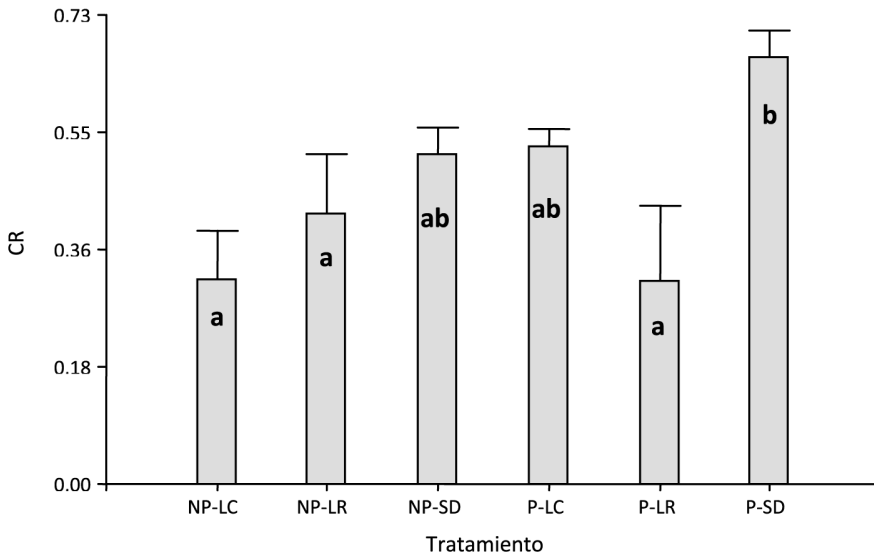


Figura 4. Compactación relativa (CR) para cada tratamiento (P: pastoreado, NP: no pastoreado, LC: labranza convencional, LR: labranza reducida, SD: siembra directa) Letras distintas indican diferencias significativas (p <= 0,05)

Estos resultados son producto de la ecuación de compactación relativa $(PEA_{actual} - PEA_{min}) / (PEA_{max} - PEA_{min})$ (CAMPBELL, 1994) que compara cada tratamiento con su PEA_{max} . Dicha ecuación coloca en un peor nivel a los tratamientos que tengan un PEA_{max} más bajo, en este caso la SD, ya que es más fácil que su valor de PEA_{actual} esté más próximo a éste. Para evitar este efecto, se podrían utilizar el PEA y el PEA_{max} la situación de mínima alteración (MA) como parámetro de referencia. En tal sentido se propone la siguiente expresión:

$$[(PEA_{max} / PEA_{max} + MA) + (PEA_{actual} / PEA_{min})] / 2.$$

El primero de los términos dependería más del contenido de MO y el segundo de la condición estructural. Esto expresaría el efecto promedio del cambio de compactación máxima y actual en tanto por uno, por ejemplo, un índice de 1,2 indica un incremento del 20%.

En la figura 5 se muestran los resultados obtenidos con esta expresión en la que se observan tendencias similares a las presentadas en la figura 4, pero se reducen las diferencias entre los tratamientos con SD y los demás.

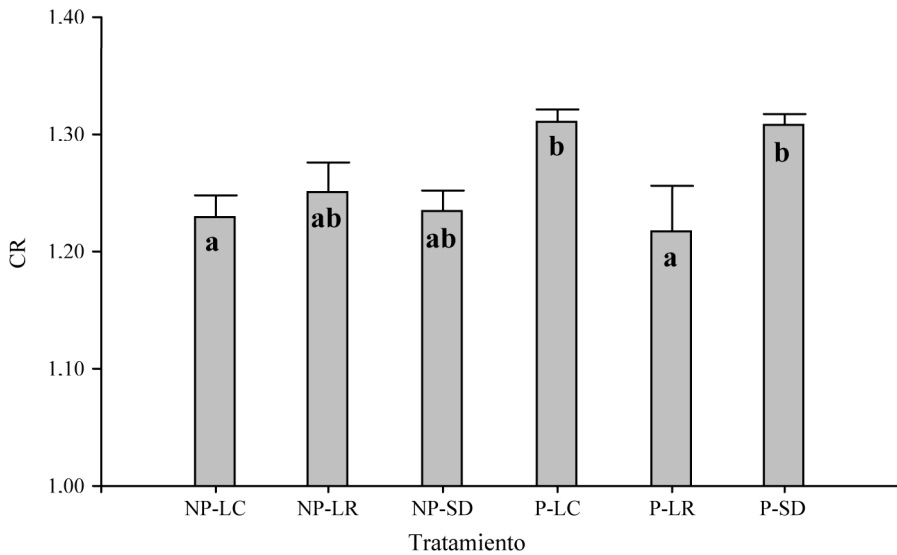


Figura 5. Compactación relativa alternativa (CRA) para cada tratamiento (P: pastoreado, NP: no pastoreado, LC: labranza convencional, LR: labranza reducida, SD: siembra directa). Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

Comparaciones con la situación de referencia

Al analizar cada variable por separado para cada tratamiento se puede observar que MA siempre obtiene valores estadística-

mente diferentes y mejores para cada variable (tabla 3).

Tratamiento	MO		PEAmax		HC		PEA		CR		CRA	
MA	5,12	c	1,33	a	29,59	d	0,99	a	0,00	a	1,00	a
NP-LC	1,32	a	1,67	d	17,10	abc	1,20	b	0,32	bc	1,23	b
NP-LR	1,57	a	1,64	cd	15,63	ab	1,26	bc	0,42	bc	1,25	bc
NP-SD	1,95	b	1,60	bc	19,53	c	1,28	bcd	0,51	bcd	1,23	b
P-LC	1,39	a	1,66	d	15,01	a	1,35	cd	0,53	cd	1,31	c
P-LR	1,57	a	1,64	c	17,18	abc	1,19	b	0,32	b	1,22	b
P-SD	1,91	b	1,56	b	18,37	bc	1,40	d	0,66	d	1,31	c

Tabla 3. Comparaciones entre los tratamientos incluyendo la situación de mínima alteración.

PEA: peso específico aparente, PEAmax: peso específico aparente máximo, CR: compactación relativa, CRA: compactación relativa alternativa, HC: contenido de humedad crítico, MO: porcentaje de materia orgánica, P: pastoreado, NP: no pastoreado, LC: labranza convencional, LR: labranza reducida, SD: siembra directa, MA situación de referencia de mínima alteración.
 Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Al analizar en conjunto las variables estudiadas (figura 6) realizando un análisis de componentes principales, se puede observar que la situación de referencia (MA) se aleja de los demás tratamientos. Esto se debe principalmente a la influencia de PEAmax, (autovector -0,51) y MO (autovector 0,49), sobre la primer componente principal (87,3% de la variación), indicando ello que son las variables más afectadas por el uso

del hombre. Si se excluye MA del análisis se puede ver (figura 7) que los tratamientos bajo SD son los que más se diferencian del resto, siendo los pesos de las variables relativamente homogéneos entre sí. Al observar la dirección de las líneas que representan las variables, la SD se diferencia de los demás sistemas de labranzas por un mayor MO, PEA, HC y CR y por un menor PEAmax.

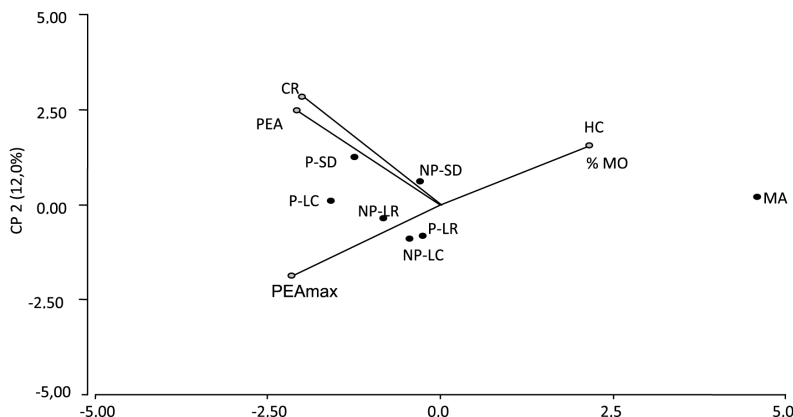


Figura 6. Biplot Analisis de componentes principales.

PEA: peso específico aparente, PEAmax: peso específico aparente máximo, CR: compactación relativa, HC: contenido de humedad crítico, MO: porcentaje de materia orgánica, P: pastoreado, NP: no pastoreado, LC: labranza convencional, LR: labranza reducida, SD: siembra directa, MA situación de referencia de mínima alteración.

Como se discutió, el mayor MO en el horizonte superficial de SD actuaría favorablemente sobre la compactación máxima potencial. Quizás la incidencia de MO solo se manifieste sobre PEAmáx y no sobre el PEA debido a características propias de los sistemas de labranza sumado a que posiblemente la materia orgánica acumulada en la superficie en SD correspondería a la fracción más lábil poco vinculada a la fracción mineral y por lo tanto, con baja influencia sobre la condición estructural del suelo. Ha-

bría que destacar que al realizar la prueba Proctor se tamizó y mezcló el material de todo el horizonte Ap. De esta manera, se podría estar enmascarando un posible mayor PEAmáx de la parte inferior del horizonte al incorporar a la muestra la materia orgánica de los primeros centímetros. Esto último estaría confirmando el valor de MO como indicador global de degradación de suelo ya que casi todas las variables evaluadas dependen en mayor o menor medida de esta propiedad.

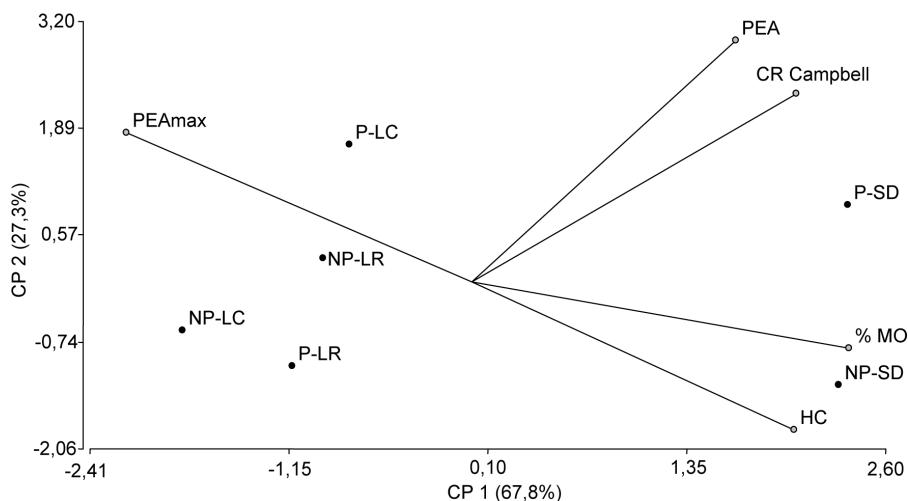


Figura 7. Biplot Análisis de componentes principales sin considerar la situación de referencia.

PEA: peso específico aparente, PEAmáx: peso específico aparente máximo, CR: compactación relativa, HC: contenido de humedad crítico, MO: porcentaje de materia orgánica, P: pastoreado, NP: no pastoreado, LC: labranza convencional, LR: labranza reducida, SD: siembra directa.

CONCLUSIONES

En Hapludoles típicos del suroeste de Córdoba los sistemas de labranzas analizados presentaron una clara diferenciación con relación al sitio de referencia (MA) debido principalmente a los cambios en la MO, y PEAmáx inducidos por el uso y manejo del suelo.

La SD se diferencia de los demás sistemas de labranzas por un mayor PEA y CR. Aunque por otro lado acumularía un mayor

MO en el horizonte superficial lo que disminuye su PEAmáx y aumenta su HC.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo fue financiado por la Universidad Nacional de Río Cuarto (018/C146), la Agencia Córdoba Ciencia y la Agencia Nacional de Promoción Científica y Técnica (PICTR 03/439) de Argentina.

REFERENCIAS

- AGGELIDES, S. M. and LONDRA, P. A. (2000). Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and a clay soil. *Bioresource Technology*, 71(3): 253-259.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) (1982). Standard test methods for moisture relations using a 5.5 lb (2.5 kg) hammer and 12 inch (304.8 mm) drop. In: ASTM (Ed.), *ASTM Standards in Building Codes, Vol. II*, Philadelphia, PA, pp. 836-842.
- ANDRIULO, A. E., SASAL, M. C., IRIZAR, A. B., RESTOVICH, S. B. and RIMATORI, F. (2005). Efecto de diferentes sistemas de labranza y secuencias de cultivo y de la fertilización nitrogenada sobre los stocks de C y N edáficos. *Jornadas Nacionales "Materia orgánica y sustancias húmicas"*. CD Bahía Blanca. Argentina.
- ARAGON, A., GARCIA, M. G., FILGUEIRA, R. R. and PACHEPSKY, Y. A. (2000). Maximum compactibility of Argentine soils from the Proctor test: The relationship with organic carbon and water content. *Soil and Tillage Research*, 56(3-4):197-204.
- ARRANZ, C., GALANTINI, J., IGLESIAS, J., KRÜGER, H. and VENANZI, S. (2004). Sistemas de labranza: efecto del pastoreo animal sobre la distribución del tamaño de poros. *XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. CD 10 pp.
- BECKER, A. R. (2006). *Evaluación del proceso de degradación de suelos por erosión hídrica en una subcuenca representativa de la región pedemontana del suroeste de la provincia de Córdoba, Argentina*. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Río Cuarto. 800 pp.
- BLAKE, G. R. and HARTGE, K. H. (1986). BULK DENSITY. En: *A Klutr (Ed.) Methods of soil Analysis. Part I*. Agron. Monog. 9. Am. Soc. Agron. Madison, Wisconsin, EEUU. 363-375.
- BOTTA, G. F., JORAJURIA, D., ROSATTO, H., and FERRERO, C. (2006). Light tractor traffic frequency on soil compaction in the Rolling Pampa region of Argentina. *Soil and Tillage Research*, 86:9-14.
- CAMPBELL, D. J. (1994). Determination and use of soil bulk density in relation to soil compaction. En: *Soil compaction in crop production*. Soane B.D., van Ouwerkerk C. (Eds.). Elsevier.
- CHAGAS, C., MARELLI, H. J. and SANTANATOGLIA, O. J. (1994). Propiedades físicas y contenido hídrico de un Argiudol típico bajo tres sistemas de labranza. *Ciencia del Suelo*, 12(1):11-16.
- DÍAZ-ZORITA, M. and GROSSO, G. A. (2000). Effect of soil texture, organic carbon and water retention on the compactability of soils from the Argentinean pampas *Soil & Tillage Research*, 54:121-126
- EIZA, M. J., FIORITI, N., STUDERT, A. and EDUARDO, H. (2004). Fracciones de carbono orgánico en la capa arable: efecto de los sistemas de cultivo y de la fertilización nitrogenada. *XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. CD 9pp.
- GALANTINI, J. A., IGLESIAS, J. O., CUTINI, L., KRÜGER, H. and VENANZI, S. (2004). Sistemas de labranzas: efecto sobre las fracciones orgánicas. *CD XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Paraná Argentina. 8 pp.

- HAMZA, M. A. and ANDERSON, W. K. (2005). Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research*, 82(2): 121-145.
- HAVLIN, J. L., KISSEL, D. E., MADDUX, L. D., CLAASSEN, M. M. and LONG, L. H. (1990). Crop Rotation and Tillage Effects on Soil Organic Carbon and Nitrogen. *Soil Science Society of America Journal*, (54): 448-452.
- HERNANZ, J. L., LÓPEZ, R., NAVARRETE, L. and SÁNCHEZ-GIRÓN, V. (2002). Long-term effects of tillage systems and rotations on soil structural stability and organic carbon stratification in semiarid central Spain. *Soil and Tillage Research* 66:129-141.
- HOWARD, R. F., SINGER, M. J. and FRANTZZ, G. A. (1981). Effects of soil properties, water content, and compactive effort on the compaction of selected California forest and range soils. *Soil Science Society of America Journal*, 45(2): 231-236.
- HUSEIN MALKAWI, A. I., ALAWNEH, A. S. and ABU-SAFAQAH, O. T. (1999). Effects of organic matter on the physical and the physicochemical properties of an illitic soil. *Applied Clay Science*, 14(5-6): 257-278.
- JACKSON M. L. (1970). *Análisis Químico de Suelos*. Ed. Omega, Barcelona.
- LIEBIG, M. A., JONES, A. J., MIELKE, L. N. and DORAN, J. M. (1993). Controlled Wheel traffic effects on soil properties in ridge tillage. *Soil Science Society of America Journal*, 57:1061-1066.
- MUSSO, T. B., CANTÚ, M. P., and BECKER, A. (2004). Efecto de distintos sistemas de labranza y de fertilización sobre el contenido de carbono orgánico, N total y el pH de un Hapludol típico del sur de Córdoba. *XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. 10 pp.
- NHANTUMBO, A. B. J. C. and CAMBULE, A. H. (2006). Bulk density by Proctor test as a function of texture for agricultural soils in Maputo province of Mozambique. *Soil & Tillage Research*, 87(2): 231-239.
- OHU, J. O., RAGHAVAN, G. S. V. and MCKYES, E. (1985). Peatmoss effect on the physical and hydraulic characteristics of compacted soils. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 28(2):420-424.
- PARRA, B. (2006). Efecto del uso y labranzas sobre la distribución de tamaño en poros de un Hapludol típico. *XX Congreso argentino de la ciencia del suelo*, CD 5 pp.
- QUIROGA, A. R., BUSCHIAZZO, D. E. and PEINEMANN, N. (1999). Soil compaction is related to management practices in the semi-arid Argentine pampas. *Soil & Tillage Research*, 52(1-2): 21-28.
- RAWLS, W. J., PACHEPSKY, Y. A., RITCHIE, J. C., SOBECKI, T. M. and BLOODWORTH, H. (2003). Effect of soil organic carbon on soil water retention. *Geoderma*, 116(1-2):61-76.
- SALINAS-GARCÍA, J. R., HONS, F. M. and MATOCHA, J. E. (1997). Long-term effects of tillage and fertilization on soil organic matter dynamics. *Soil Science Society of America Journal*, 61:152-159.
- SIX, J., ELLIOTT, E. T., AND PAUSTIAN, K. (1999). Aggregate and Soil Organic Matter Dynamics under Conventional and No-Tillage Systems. *Soil Science Society of America Journal*, 63:1350-1358

- SMITH, C. W., JOHNSTON, M. A. and LORENTZ, S. (1997). Assessing the compaction susceptibility of South African forestry soils. II. Soil properties affecting compactibility and compressibility. *Soil & Tillage Research*, 43(3-4):335-354.
- SOANE, B. D. and VAN OUWERKERK, C. (EDS.) (1994). *Soil compaction in crop production*. Elsevier, Amsterdam.
- UNC (2007). Infostat Software estadístico. Versión 2007 p.
- WEST, T. O. and POST, W. M. (2002). Soil Organic Carbon Sequestration Rates by Tillage and Crop Rotation: A Global Data Analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 66(6): 1930-1946.
- ZHANG, H., HARTGE, K. H. and RINGE, H. (1997). Effectiveness of organic matter incorporation in reducing soil compactibility. *Soil Science Society of America Journal*, 61(1): 239-245.
- ZHANG, H. Q. and HARTGE, K. H. (1995). Mechanical properties of soils as influenced by the incorporation of organic matter. p. 93-108. *In Advances in soil science: Soil structure, its development and function*. K.H. Hartge, B.A. Stewart (eds.). CRC Press, Boca Raton, FL.
- ZHANG, X. Y., CRUSE, R. M., SUI, Y. Y. and JHAO, Z. (2006). Soil Compaction Induced by Small Tractor Traffic in Northeast China. *Soil Science Society of America Journal*, 70(2): 613-619.