

DESCOMPACTACIÓN DE SUELOS DE HUERTOS DE MANZANOS (*Malus domestica* Borkh.) BAJO RIEGO EN EL ALTO VALLE DE RÍO NEGRO-ARGENTINA.

SOIL DECOMPACTNESS IN APPLE ORCHARDS (*Malus domestica* Borkh.) UNDER IRRIGATION IN THE UPPER VALLEY OF RIO NEGRO –ARGENTINA.

Perla Gili¹, Jorge Irisarri¹, Valentin Tasile¹, Sergio Behemer¹, Cristian Starik¹, Marcelo Sagardoy²

¹Universidad Nacional del Comahue (UNCo), Facultad de Ciencias Agrarias, Ruta 151, km 12,5 CP 8303, Cinco Saltos (CP 8303), Río Negro, Argentina. (pgili@jetband.com.ar)

²Universidad Nacional del Sur (UNS), Bahía Blanca, Buenos Aires. Argentina.

ABSTRACT

Keywords: apple trees, decompaction, irrigation, soil properties, metabolic efficiency

The aim of this study was to evaluate the effect of decompactness on soil physical [penetration resistance (Pr), infiltration rate (I), % water content (%W), bulk density (Ds)], chemical [total organic carbon (TOC), pH] and biological [microbial biomass carbon (MBC), dehydrogenase, activity (DHA) soil microbial respiration (SMR), phosphotriesterase (P), metabolic efficiency (MBC/TOC)] properties in both Typic Haplocambid (PI) and Typic Torrifluvent (PII) soils cultivated with apple crops during 60 years (T). Soils were decompacted and replanted (Rep) in both plantation rows (F) and with machinery tracks (H) during the period 2005/2006. Decompacted soils were evaluated using soil penetration resistance and PI soils responded positively to this factor. However, both PI and PII soils were considered as limiting for root growing plants, mainly the control soils (T), and subsoiling did not prevent the re-compaction in the H soils. The highest values of TOC were detected in PII and in both dismantled and re-planted soils (PI and PII).

The input of TOC was higher in both dismantling and replanting soils of PII. Moreover, in PI soil the effect of decompactness

RESUMEN

Palabras Claves: manzanos, descompactación, irrigación, propiedades del suelo, eficiencia metabólica

El objetivo del trabajo fue evaluar, en suelos cultivados con manzanos, el efecto de las prácticas de descompactación mediante variables físicas, químicas y biológicas. Se estudiaron suelos Haplocambides típicos (PI) y Torrifluventes típicos (PII), con plantaciones de 60 años (T) y descompactados y replantados (Rep), en las hileras de plantación (F) y con huellas de maquinarias (H), en el 2005 y 2006. Se determinaron variables físicas: densidad aparente (Dap), resistencia a la penetración (Rp), infiltración (I), % de humedad (%); químicas: carbono orgánico total (COT) y pH; biológicas: Carbono de la biomasa microbiana (C-BM), deshidrogenasa (D), Respiración (RE) y fosfotriesterasa (P) y eficiencia metabólica (CBM/COT). La resistencia a la penetración permitió evaluar la descompactación, PI respondió en forma positiva a esta práctica. Los suelos PI y PII fueron restrictivos para el desarrollo radicular, principalmente los testigos. El subsolado no impidió la recompactación de las H.

El insumo de COT fue mayor en PII y en ambos suelos descompactados y replantados. En PI el efecto de la descompactación

was not significant, maybe because the clay content in the soil could have some protection on the soil organic matter. Finally, the resistance to penetration plus the determination of total organic carbon and biological tests such as carbon of microbial biomass, dehydrogenase and respiration of the soil, were most sensitive to detect the impact of agricultural practices carried out under the conditions of this study.

no fue significativo, posiblemente las arcillas podrían ejercer un efecto protector. Finalmente, la resistencia a la penetración junto a la determinación de COT y las pruebas biológicas: carbono de la biomasa microbiana, deshidrogenasa y respiración de los suelos, fueron las más sensibles para detectar el impacto de las prácticas agrícolas empleadas bajo las condiciones en que se realizó el estudio.

INTRODUCCIÓN

El Valle de Río Negro y Neuquén, abarca una superficie de aproximadamente 100.000 ha y la producción de peras y manzanas ocupa un lugar preponderante en la economía regional, destinándose a estos cultivos un área aproximada de 40.000 ha. La compactación de los suelos como tópico principal de su degradación física, fue reconocida hace más de dos décadas como un problema universal, que afecta la producción agrícola, hortícola y forestal (Oldeman *et al.*, 1991). La compactación excesiva causada por el tránsito de maquinarias pesadas constituye un problema importante en suelos agrícolas de diversas regiones del mundo (Spoon, 2006). El manejo tradicional de los huertos frutales resulta en el pasaje repetido de vehículos por las mismas sendas durante muchos años y puede traducirse en compactaciones severas. En las plantaciones de manzanos la conducción del hábito arbóreo con espacios entre hileras implica que el tractor y sus aperos transitan siempre por el mismo lugar. Draghi, (2001) y Draghi *et al.* (2003, 2004) estudiaron, en el Alto Valle en un huerto frutal, la compactación inducida por la mecanización de las tareas. También, Di Prinzio *et al.*, (1999) investigaron el efecto de utilizar operaciones mecanizadas con tráfico controlado o reducido sobre la compactación en Torrifluventes de texturas gruesas de la región del Valle de Río Negro y Neuquén.

En estos huertos, cuando la productividad de los manzanos se reduce como consecuencia del envejecimiento de las plantaciones, es necesario el replante conjuntamente con las labores habituales de descompactación. La remoción mecánica de capas compactadas mediante el uso de implementos descompactadores o escarificadores ha tomado creciente difusión en el mundo (Jin *et*

al., 2007). Generalmente, con la reducción de los rendimientos se evalúan determinadas variables que explican sólo una pequeña parte de lo que sucede en el suelo. Los microambientes y las numerosas interacciones suponen la convivencia de múltiples procesos y funciones y la causalidad del conjunto de éstos para explicar los cambios. Por esta razón, es necesaria una visión integral de lo que ocurre en el suelo. Este concepto plantea no sólo los aspectos físicos y químicos sino también biológicos del suelo. Este enfoque es conceptualmente indiscutible para determinar la sustentabilidad agrícola (Doran y Parkin, 1996).

El objetivo del trabajo fue estudiar a través de variables físicas, químicas y biológicas, los posibles cambios que provocaron las prácticas de descompactación, producidas mediante el uso de labranza vertical en suelos aluviales del Alto Valle de Río Negro.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en huertos de manzano (*Malus domestica* Borkh.), de productores de la zona, en dos tipos de suelos denominados parcelas I y II en la localidad de Cinco Saltos, provincia de Río Negro (LS 38° 50' 55" y LO 68° 4' 3"). Los suelos dominantes de la parcela I (PI) pertenecen al orden Aridisol clasificado como Haplocambides típicos y en la parcela II (PII) dominan los suelos pertenecientes al orden Entisol clasificados como Torrifluventes típicos (Soil Survey Staff, 1998), de texturas franca limoso y moderadamente bien drenados, en ambos los valores de arcilla fueron similares (18-20%), la capacidad de intercambio catiónico (CIC) fue mayor en PI (18-20 meq 100 g⁻¹ de suelo), los valores de CIC en PII fueron de 10-14 meq 100 g⁻¹.

En ambos huertos había plantas de manzanos

de 60 años de antigüedad (T) y en el 2002 en una fracción de esa superficie se erradicaron las plantaciones mediante topadoras, se limpió con arado de cincel y posteriormente se subsoló a un metro de profundidad y a una distancia lateral de dos metros. En el 2004 se realizaron tareas de emparejamiento con el método láser y se reimplantaron con manzanos (Rep). La orientación de las hileras de plantación en P I y P II era paralela al lado de mayor longitud, aproximadamente N-S, similar a la plantación erradicada y el sentido de la circulación de las herramientas de laboreo, cosecha y control de plagas y enfermedades, fue el mismo.

En cada parcela, el T y Rep se dividió en tres bloques en el 2005 y 2006 y en cada uno de ellos se delimitaron cuatro Filas (F), correspondientes a los sitios donde crecen las plantaciones y cuatro Huellas (H), donde transitan las maquinarias agrícolas, ubicadas entre las hileras de las plantaciones, las F y H se denominarán lugar. En el 2005 (temporada 2005), se estudiaron las propiedades físicas y en el 2005 y 2006 (temporada 2005-2006) las propiedades químicas, biológicas y enzimáticas de las parcelas. Propiedades físicas: % Humedad (H^o), por el método gravimétrico a 105°C a 0-15 cm de profundidad; densidad aparente (Dap), se evaluó por el método del cilindro (Grossman y Reinsch, 2002) a la profundidad de 10 -15 cm; resistencia a la penetración (Rp), utilizando un penetrómetro de cono ASAE S313.2, hasta 15 cm de profundidad e infiltración (I), con el método del infiltrómetro doble anillo. Para determinar las propiedades químicas y biológicas se extrajeron muestras de suelo a 0-15 cm de profundidad. Propiedades químicas: pH en pasta y Carbono orgánico total (COT) (Jackson, 1982). Propiedades biológicas: Número de bacterias heterótrofas aerobias (BH), expresado como unidades formadoras de colonias (ufc) por g de suelo seco (Zuberer, 1994); respiración microbiana (RE) (mg CO₂ g⁻¹), por incubación de 10g de suelo a 28 °C durante 10 días determinando el CO₂ capturado en NaOH 0,1 M, titulando con HCl 0,1 M (Weaver y Bottomley, 1994); Contenido de carbono de la biomasa microbiana (CBM) utilizando el método de la respiración inducida por sustrato (SIR) (Öhlinger, 1996). Enzimáticas: deshidrogenasa (D) (Casida *et al.*, 1964); y fosfotriesterasa (P) (Tabatabai y Bremner, 1969; Eivazi y Tabatabai, 1977). En las determinaciones biológicas, las muestras de

suelo estaban compuestas de 50 submuestras.

La experiencia consistió en un diseño en parcelas divididas, donde las parcelas principales tienen una estructura factorial con los factores suelo (PI y PII) y tratamiento (T y Rep). El término del error de esta parcela principal fue la interacción suelo*tratamiento, mientras que el resto de los factores y sus interacciones se evaluaron contra el error del modelo.

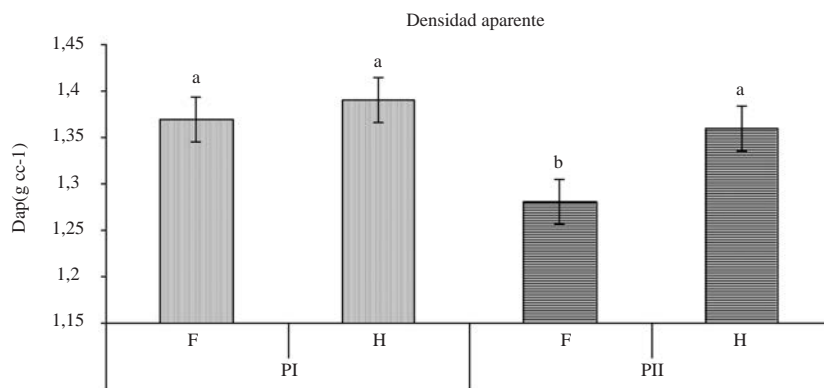
Los efectos principales y sus interacciones, cuando estos resultaron significativos fueron evaluados a través de comparaciones de a pares de medias mediante el test de Tukey. Los grupos homogéneos a un nivel de significación del 95% se representan con letras semejantes.

RESULTADOS

Los valores extremos de densidad aparente variaron entre 1,15 y 1,44 g cm⁻³, los promedios mas altos correspondieron a las H (1,39 en PI y 1,36 en PII), estos valores se aproximan al límite para el desarrollo radical De acuerdo a Abercrombie (1990) valores de densidad aparente mayores a 1,4 g cm⁻³ limitan el crecimiento de las raíces.

Se determinó significancia en la interacción entre los tipos de suelo y lugar (p= 0,035), al analizar las medias, si bien PII mostró diferencias significativas entre las F y H (Figura 1), las variaciones encontradas no tienen importancia agronómica, dado que en los suelos limosos el umbral es superior para que la densidad aparente represente un impedimento para el crecimiento de las plantas (Reynolds *et al.*, 2002). No se observaron diferencias significativas entre los testigos y los suelos replantados (p=0,24), esto demuestra la baja sensibilidad de este parámetro a los distintos manejos, bajo las condiciones de estudio establecidas. Ello coincide con otros trabajos realizados por Jorajuría (2005), en la revisión de suelos agrícolas compactados por el tráfico vehicular, Aruani *et al.*, 2006, en cultivos orgánicos de manzanos y Alvarez *et al.* (2009), en la decompactación de suelos franco limosos de la región pampeana.

El contenido de humedad es otro factor importante en la compactación de los suelos, hay una relación directa entre ambos, las diferencias entre F y H fueron significativas.



*Valores con la misma letra, en un suelo y lugar, son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha < 0.05$).

*Mean values followed by the same letter, in a soil and place, are statistically equal (Tukey, $\alpha < 0.05$).

Figura 1: Valores medios de densidad aparente (Dap), en dos suelos (PI y PII) en las filas de plantación (F) y con huellas de pasaje de maquinarias (H).

Figure 1: Average values of infiltration (Inf) and bulk density (Dap) in two soils (PI and PII) in the planting rows (F) and places with traces of machinery tracks (H).

En F variaron entre 25,2-26,7 g 100 g⁻¹ y en H entre 23,8-24,1 g 100 g⁻¹, valores cercanos y por debajo a la capacidad de campo (31,5). Los contenidos de humedad fueron próximos a los óptimos de compactación (2/3 de la capacidad de campo) (Terzagui y Peck, 1996)

La infiltración de agua en el suelo no evidenció diferencias estadísticamente significativas ($p = 0,35$), debido a la elevada variabilidad entre réplicas, los valores variaron entre 5,6 y 16,5 cm h⁻¹. La infiltración fue mayor en las F (tres veces superior) que en las H, de acuerdo a las clases explicitadas por USDA (1999) la infiltración fue moderadamente rápida en las huellas y rápida en las hileras de plantación. Estos valores no limitan el ingreso de agua en los huertos de manzanos.

Respecto al pH de los suelos estudiados, el escaso rango de variación si bien presentó diferencias estadísticamente significativas entre los T y entre T y Rep en PII, son de escaso valor agronómico (Cuadro 1).

La resistencia mecánica a la penetración es considerada como un parámetro que refleja los cambios producidos en las propiedades físicas de los suelos. En el análisis de esta variable se observó interacción significativa entre las parcelas y sus respectivos tratamientos ($p = 0,023$) y entre los tratamientos y lugar ($p = 0,011$). La comparación de medias en la

primera interacción no mostró diferencias entre los T de PI y PII, sin embargo se observaron diferencias en PI, entre T y Rep, siendo mayor en T (Cuadro 1).

Estos resultados muestran la acción positiva de las tareas de descompactación en PI, con una disminución de esta variable del 17%. Los valores encontrados, marcarían una limitante en el crecimiento de las raíces del monte frutal de acuerdo a Draghi (2005), quien trabajó en huertos de manzanos de Río Negro y afirmó que valores mayores a 2 MPa son restrictivos para el desarrollo radical. Este autor halló incrementos similares en la resistencia a la penetración en el espacio entre hileras con respecto a la hilera de plantación de los árboles. También Nuñez Moreno y Valdez Gascon (1994), estudiando huertos de naranjos, encontraron que las zonas discriminadas como de baja producción (con valores cuatro veces inferiores), la resistencia a la penetración tenían una media de 1,5 MPa.

Respecto a la segunda interacción, presentó diferencias entre T y Rep en las filas, con valores superiores en los T (20%) y entre F y H de los Rep, con valores mayores en las H (28%) (Figura 2). Esto indicaría que el subsolado realizado en los suelos estudiados, previos a la implantación, no impidió una rápida recompactación en las H. Estos resultados coinciden con lo expresado por McKenzie (2010) quien trabajando en suelos de

Cuadro 1. Valores medios de Resistencia a la penetración (Rp) y pH, en los suelos (PI y PII) y en los tratamientos: testigos (T) y replantados (Rep).

Table 1. Mean values of penetration resistance (Rp) and pH in soils (PI and PII) and in the treatment control (T) and replanted (Rep).

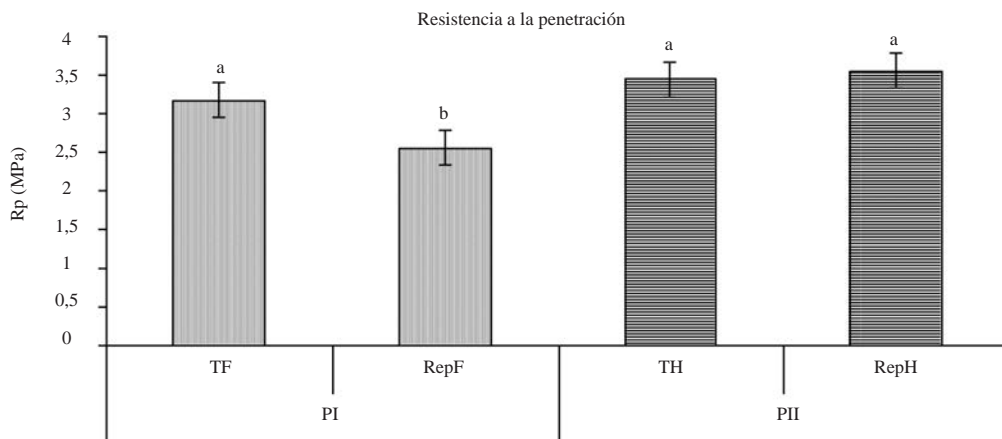
Suelos Tratamientos	Rp (g cm ³)	pH
PI T	3,45 a	7,14 a
PI Rep	2,87 b	7,26 a
PII T	3,17 a	7,48 b
PII Rep	3,23 a	7,24 a

Valores con la misma letra, en una columna, son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha < 0,05$).
Mean values with the same letter in a column are statistically equal (Tukey, $\alpha < 0,05$).

Alberta concluyó que cualquiera fuera la causa de la compactación es mejor la prevención que la corrección. Por otro lado, los agentes naturales que favorecen la descompactación tales como: alternancia de ciclos de humedad y sequía, actividad biológica, acumulación de materia orgánica y labranza disminuyen su participación en la medida que descendemos en el perfil del suelo, estamos frente a un problema acumulativo, incrementándose, o al

menos manteniéndose, de un ciclo productivo al siguiente (Gameda *et al.*, 1987).

Los valores de carbono orgánico total, en ambas parcelas, se consideran medios a bajos, para suelos de la región (las medias regionales de suelos franco limosos son 25 a 35g kg⁻¹) (Cuadro 2). En el primer año, el efecto parcela y tratamiento fue altamente significativo, la comparación de medias de esta interacción si bien no presentó diferencias entre las



Valores con la misma letra, no son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha < 0,05$).
Average values with the same letter are not statistically equal (Tukey test, $\alpha < 0,05$).

Figura 2: Valores medios de Resistencia a la penetración en los tratamientos: testigos (T) y replantados (Rep), en dos suelos (PI y PII), en las filas de plantación (F) y con huellas de pasaje de maquinarias (H).
Figure 2: Mean values of penetration resistance in the treatments: control (T) and replanted (Rep), of the soils (PI and PII), in both the planting rows (F) and places with traces of machinery tracks (H).

Cuadro 2. Valores medios de carbono orgánico total (COT), en dos suelos (PI y PII) en las filas de plantación (F) y las huellas de pasaje de maquinarias (H), en los tratamientos testigo y replantado (T y Rep), durante el período 2005-2006.

Table 2. Mean values of total organic carbon (COT), of the soils (PI and PII) in both the planting rows (F) and traces of passage of machinery (H), of the treatment control (T) and replanted (Rep) during the period 2005-2006.

	COT g kg ⁻¹			
	2005		2006	
	PI	PII	PI	PII
F T	23,0	15,0	22,0	21,3
H T	26,0	23,0	24,0	26,8
F Rep	20,6	12,5	18,2	16,7
H Rep	20,2	14,0	19,4	16,0

parcelas y los tratamientos ($p=0,06$ y $p=0,08$ respectivamente), los valores fueron próximos a la significancia. Las tareas de descompactación disminuyeron el COT en PII y en ambos suelos fueron menores en las F de los Rep.

En PI la disminución de COT en Rep, fue del 10,4% en las F y 22,30% en las H y en PII del 17% en las F y 39% en las H. En el segundo año la tendencia fue igual, manteniéndose porcentuales semejantes (Cuadro 2).

En ambas temporadas, la menor pérdida del COT en PI podría ser atribuido a la mayor proporción de arcillas finas (montmorillonitas), que protegen la MO (Tan, 2003) y/o a la mayor porción de carbono orgánico humificado, considerado por Soane (1990) como estabilizador de las estructuras naturales. En general un aumento del contenido de materia orgánica humificada le da estabilidad a los agregados y por lo tanto baja la compactación (Ball *et al.*, 2000). Esto se muestra en el Cuadro 1, con las diferencias en la resistencia a la penetración en los Rep en PI y PII (PI menor Rp).

En el segundo año se obtuvo una interacción entre tratamiento y lugar, a partir del cual se encontró que el análisis de las medias de tratamiento y lugar expresaron diferencias significativas entre las F y H, con valores mayores en las huellas, y entre los T y los Rep, con una disminución del 17% en los huertos replantados (Cuadro 3); las tareas de descompactación favorecieron el proceso de mineralización. En general, la magnitud del COT mostró que, en los dos años considerados, las reservas fueron menores en los suelos replantados respecto a los testigos, estos resultados coinciden con los de Albanesi *et al.*, (2003) que observaron una disminución significativa del COT cuando los sitios de pastizal son sometidos a desmonte total y posterior uso agrícola. La dinámica del COT fue distinta en los suelos, en PII disminuyó en mayor proporción con el replante y al segundo año mostró mayor recuperación.

Las BH variaron entre $6,08 \times 10^6$ y $7,42 \times 10^7$ ufc g⁻¹ suelo seco, estos resultados no presentaron diferencias significativas entre los suelos y entre los tratamientos.

El análisis de las variables C-BM, RE, D y P, en ambos años, demostraron interacción entre parcela y tratamiento, las comparaciones de

Cuadro 3. Valores medios de Carbono orgánico total (COT), en los tratamientos: testigos (T) y replantados (Rep) en las hileras de plantación (F) y con huellas de pasaje de maquinarias (H), en la temporada 2006.
Table 3. Mean values of total organic carbon (COT) in the treatments: control (T) and replanted (Rep) in both the planting rows (F) and places with traces of machinery tracks (H) during 2006.

	Tratamientos-Lugar			
	T F	T H	Rep F	Rep H
COT (g kg ⁻¹)	21,7 a	25,6 b	18,1 c	18,6 a

Valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha < 0.05$).

Mean values with the same letter are not statistically different (Tukey, $\alpha < 0.05$).

medias mostraron diferencias entre los T, los valores mayores se observaron en PII (Cuadro 4). Es sabido que la actividad biológica está relacionada a la disponibilidad de nutrientes para los microorganismos, en este suelo el COT es menor que en PI, no obstante la actividad biológica fue mayor posiblemente debido a que poseen una fracción más lábil de C.

El análisis de estas variables evidenció que los suelos presentaron comportamientos diferentes respecto a las tareas de descompactación, en PI

el efecto de estas prácticas no fue significativo (Cuadro 4), teniendo en cuenta las características químicas de este suelo (CIC:18-20 meq 100 g⁻¹ de suelo), las arcillas podrían ejercer un efecto protector, la oxidación de los ácidos húmicos es más lenta con montmorillonita. En PII las diferencias fueron significativas y menores en los Rep, estos resultados se corresponden con la disminución de COT (en promedio 30%), el laboreo de los suelos genera ruptura de agregados y una mayor oxidación de la materia orgánica (Frioni 2011).

Cuadro 4. Valores promedios de la respiración microbiana (RE), carbono de la biomasa microbiana (C-BM), deshidrogenasa (Dasa) y fosfotriesterasa (P) en los tratamientos (Trat): testigos (T) y replantados (Rep) de los suelos (PI y PII) durante el período 2005-2006.

Table 4. Average values of microbial respiration (SMR), microbial biomass carbon (MBC), soil dehydrogenase activity (DHA) and phosphotriesterase (P) in the treatments (Trat): control (T) and replanted (Rep) of the soils (PI and PII) during the period 2005-2006).

Suelos	Trat	C-BM mg C 100 g ⁻¹ ss trifenilformazan (TPF) g ⁻¹ h ⁻¹)		Dh-asa (mg 2,3,5)		RE mg CO ₂ g ⁻¹ ss		P (μ g p-nitrofenol g ⁻¹ h ⁻¹)	
		2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006
		PI	T	117,3a	133,1a	1,94a	1,98a	5,67a	6,44a
PI	Rep	111,7a	117,4a	1,95a	2,1a	5,40a	5,68a	91,12a	75,0a
PII	T	186,6 b	188 b	3,35b	4,04b	9,0b	9,1b	111,7b	72,3a
PII	Rep	91,5a	92,9c	1,23a	1,97c	4,41c	4,5a	74,2a	50,9 b

Valores con la misma letra, en una columna, son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha < 0,05$).

Mean values with the same letter in a column are statistically equal (Tukey, $\alpha < 0.05$).

El C-BM es un componente vivo y dinámico de la MO del suelo, y se le considera un buen indicador del estado y los cambios del carbono orgánico (Rice *et al.*, 1996), los resultados mostraron que el promedio del T de PII, en ambos años, fue 1,6 veces mayor que el T de PI (Cuadro 4).

El metabolismo del suelo ocasionado por la biomasa microbiana refleja las condiciones del ambiente edáfico (Moscatelli *et al.*, 2005; Álvarez-Solís *et al.*, 2010), en este ensayo expresó diferencias cuando se realizaron las tareas de descompactación. Esto puede observarse en el Cuadro 4, donde PII presentó diferencias significativas entre el T y Rep, con valores que duplicaron el testigo en los dos años evaluados. Las diferencias observadas en los suelos replantados indican que el C-BM constituye una de las medidas de tipo biológico sensible a las alteraciones introducidas en los suelos, cambios en el manejo, debido a su alta tasa de recambio en relación a la materia orgánica total del suelo (Paul, 1984). Esto no se observó en PI, las diferencias podrían atribuirse a la protección de la MOS contra la biodegradación. La protección ocurre cuando la MOS es adsorbida sobre la superficie de las partículas de arcilla y limo, o cuando es “incrustada” o recubierta por los minerales de arcilla o cuando se localiza dentro de los microagregados, fuera del alcance de los microorganismos. Todos estos mecanismos afectan negativamente las tasas de mineralización de C y N (Matus y Maire, 2000).

La medición de la actividad de la deshidrogenasa es un reflejo de las actividades oxidativas de la microflora del suelo (Ladd, 1978; Skujins, 1978). La comparación de medias, evidenció comportamientos similares al CBM, hubo diferencias significativas entre los T de PI y PII y entre el T y los Rep de PII (Cuadro 4). Dado que esa enzima interviene en la oxidación de la MO de los suelos (Dick *et al.*, 1996), en PII el aumento de la actividad en los T indica una mayor mineralización de la MO en respuesta a la disponibilidad de sustratos. Esto coincide con distintos autores quienes observaron una correlación positiva entre la actividad de la deshidrogenasa y el contenido de MO en suelos cultivables (Nannipiere *et*

al., 1990; Malcomes, 1991). Respecto a PI no mostró diferencias entre T y Rep, de acuerdo a Frioni (2011) las enzimas del suelo están inmovilizadas con las arcillas.

Comunmente se analiza la respiración, tasa de evolución del CO₂ desprendido proveniente de la mineralización del sustrato orgánico del suelo, que provee una indicación de la respuesta de la actividad microbiana al manejo del medio (Peña, 2004).

Las mediciones revelaron maneras similares al C-BM, efecto parcela y tratamiento en los dos años estudiados, las comparaciones de medias mostraron diferencias entre los testigos. Los valores promedios de los T de PII fueron 1,5 veces mayores que los de PI y las diferencias entre el T y Rep en PII respecto a PI, fueron del 49% y 50,5% respectivamente (Cuadro 4), la respiración microbiana es la señal más evidente de la mineralización (Frioni, 2006) en PII y Rep.

La actividad de la fosfotriesterasa en PII fue 1,5 veces superior en los T que en los Rep, la pérdida de C por las prácticas de descompactación provocó disminución en la enzima (Cuadro 4).

La actividad de la fosfotriesterasa, enzima importante en el ciclo del fósforo, fue similar a lo observado en las actividades biológicas y enzimáticas anteriormente mencionadas (Cuadro 4). La acumulación de fósforo cerca de la superficie es un fenómeno de los suelos no labrados debido al aporte de nutrientes que genera el incremento de la MO (Aruani *et al* 2006), esto se manifestó en PII con diferencias significativas entre los T y los Rep (1,5 veces superior en los T). La descompactación motivó la pérdida de COT y la merma en la actividad de la fosfotriesterasa, que provee un índice importante de la mineralización del P orgánico (Dick *et al.*, 1996), en PI no hubo diferencias posiblemente debido a la protección de la MO.

Se evaluaron las correlaciones entre el COT y las variables biológicas, en los tratamientos y suelos para ambas temporadas, considerándose sólo aquellas significativas a un nivel del 5%. En la primera temporada el T de PI se correlacionó con el CBM ($r = 0,71$), esto no ocurrió en la segunda temporada. Respecto a PII, el T en la primera temporada se correlacionó con el

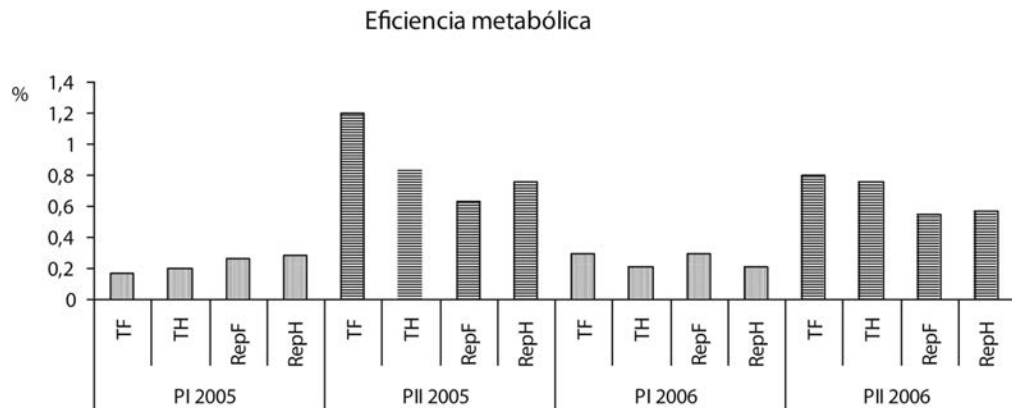


Figura 3: Eficiencia metabólica (C-BM/ COT) en dos temporadas (2005-2006), en los suelos (PI y PII) en los tratamientos: testigos (T) y replantados (Rep) en las filas de plantación (F) y con huellas de pasaje de maquinarias (H).

Figure 3: Metabolic efficiency (C-BM/ COT) in the planting rows (F) and places with traces of machinery tracks (H) of control (T) and replanted (Rep) soils (PI and PII) for the period 2005-2006.

C-BM ($r=0,71$), RE ($r=0,73$) y D ($r=0,98$) y en la segunda temporada con CBM (098) y RE (0,89).

La relación C-BM/COT, brinda indicios de la eficiencia metabólica de la biota del suelo y permite interpretar la dinámica de los procesos biológicos que ocurren en el suelo (Filip, 2002), los T de PI variaron entre 0,17 y 0,29% (Figura 3), la relación en los Rep se ubicó dentro de los valores delimitados por los T. En PII los T variaron entre 0,76 y 1,20% (Figura 3), la relación en los Rep fue menor, ello se atribuyó a la disminución en el C-BM que implica una reducida disponibilidad de sustratos de fácil descomposición generando una baja incorporación de sustratos por parte de la biomasa microbiana que mineraliza una alta proporción de MO para mitigar las demandas energéticas (Anriquez *et al.* 2005). La descompactación redujo la calidad del suelo en PII evaluada mediante los parámetros C-BM, RE, D-hasa, fosfotriesterasa y eficiencia metabólica.

CONCLUSION

Los valores de humedad detectados fueron eficaces a la compactación de los suelos y la

Rp fue un parámetro adecuado para evaluar la descompactación, detectándose que los suelos PI respondieron en forma positiva a la misma. Los suelos fueron restrictivos para el desarrollo radicular, con mayor impacto de negatividad en los T.

El subsolado no impide la recompactación de las H.

El insumo de COT fue mayor en PII y en ambos suelos con la tarea de descompactación (replantes). Las menores pérdidas en PI podrían atribuirse a las arcillas y/o humus.

La Dap no mostró ser un parámetro adecuado para evaluar la descompactación en los suelos estudiados.

La resistencia a la penetración junto a la determinación de COT y las pruebas biológicas: carbono de la biomasa microbiana, deshidrogenasa y respiración de los suelos, fueron las más sensibles para detectar el impacto de las prácticas agrícolas realizadas bajo las condiciones en que se realizó el estudio.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto fue desarrollado en el marco del Proyecto de Investigación 04/077 financiado por la Secretaría de la Universidad Nacional del Comahue.

BIBLIOGRAFÍA

- ABERCROMBIE, R.A. 1990. Root distribution of avocado trees on a sandy loam soil as affected by soil compaction. *Acta Hort.* 275:505-512.
- ALBANESI, A.; ANRIQUEZ, A.; POLO SANCHEZ, A. 2003. Efectos de la agricultura convencional sobre algunas formas del C en una toposecuencia de la región Chaqueña, Argentina. *Agriscientia* 20: 9-17.
- ALVAREZ, C.R.; TORRES DUGAN, M.; CHAMORRO, E.; D'AMBROSIO, D.; TABOADA, M. 2009. Descompactación de suelos franco limosos en siembra directa: efectos sobre las propiedades edáficas y los cultivos. *Ci. Suelo* 27: 159-169.
- ÁLVAREZ-SOLÍS, J.D.; DÍAZ-PÉREZ, E.; LEÓN MARTINEZ, N.S.; & GUILLÉN, J VELASQUEZ, J. 2010. Enmiendas orgánicas y actividad metabólica del suelo en el rendimiento de maíz. *Terra Latinoamericana* 28:239-245.
- ANRIQUEZ, A.; ALBANESI, A.; KUNST, C.; LEDESMA, R.; LÓPEZ, C.; RODRÍGUEZ TORRESI, A.; GODOY, J. 2005. Rolado de fahinales y calidad de suelos en el Chaco occidental, Argentina. *Ci. Suelo* 23: 145-157
- ARUANI, M.C.; SÁNCHEZ, E.; REEB, P. 2006. Cambios en las propiedades de un suelo bajo producción orgánica de manzano utilizando coberturas vegetales. *Ci. Suelo* 24: 131-137.
- BALL, B.C.; CAMPBELL, D.J.; HUNTER, E.A. 2000. Soil compactibility in relation to physical and organic properties at 156 sites in UK. *Soil Till. Res.* 57:83-91.
- CASIDA, L.E.; JR KLEIN, D.A.; SANTORO, T. 1964. Soil dehydrogenase activity. *Soil Sci.* 98: 371-376.
- DICK, R.O.; BREAKWELL, D.P.; TURCO, R.F. 1996. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In: Doran, J.W.; Jones, A.J. (eds.). *Methods for Assessing Soil Quality*. American Society of Agronomy. Madison. Wisconsin, USA. pp 247-271.
- DI PRINZIO, A.P.; JORAJURÍA, D.; BEHMER, S.N.; AYALA, C.D.; ARAGÓN, A. 1999. El tráfico en el monte frutal. El tapiz vegetal y la distribución de la compactación. *Agrociencia* 14: 1-4.
- DORAN, J.W.; PARKING, T.B. 1996 Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. En: *Methods for assessing soil quality*. Chapter 2: pp 25-37 (special publication).
- DRAGHI, L. 2001. Compactación del suelo del huerto frutal bajo diferentes intensidades de tráfico. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Valencia. España.
- DRAGHI, L. 2005. Mecanización del huerto frutal: Tráfico controlado con vehículos de bajo peso/eje y altas intensidades de tráfico. En: *Reología del suelo agrícola bajo tráfico*. Jorajuría D (Ed). Universidad Nacional de La Plata, Argentina 85:106.
- DRAGHI, L.; MARQUEZ DELGADO, L.; CERISOLA, C. 2003. Compattamento del sulo in frutteti a diverse intansità di traffico. *Riv di Ing. Agr.* 1.17:22.
- DRAGHI, L.; JORAJURÍA, D.; CERISOLA, C.; MARQUEZ DELGADO, L. 2004. Reologia do solo de um bosque frutícola relacionada ao manejo entre linhas e intensidade de tráfeço. *Engenharia Agrícola. Journal of the Brazilian Society of Agricultural Engineering* 24:158-166.
- EIVAZI, F.; TABATABAI, M. A. 1977. Phosphatases in soil. *Soil Biol. Biochem* 9: 167-172.
- FILIP, Z.K. 2002. International approach to assessing soil quality by ecological parameters. *Agr. Ecosyst. Environ* 88:169-174.
- FRIONI, L. 2006. Microbiología: básica, ambiental y agrícola. Departamento de publicaciones de la Facultad de Agronomía. Universidad de la República. Montevideo, Uruguay. 407 p.
- FRIONI, L. 2011. Microbiología: básica, ambiental y agrícola. Buenos Aires: Orientación gráfica Editora. 768 p.
- GAMEDA, S.; RAGHAVAN, G.S.V.; MCKYES, E.; THERIAULT, R. 1987. Subsoil compaction in a clay soil. *Soil Tillage Res.* 10:113.122.
- GROSSMAN, R.B.; REINSCH, T.G. 2002. SSSA Book Series: 5 Methods of Soil Analysis Ch2, Ed. Dane J.H, Clarke Topp G. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- JIN, H.; HONGWEN, L.; XIAOYAN, W.; MCHUGH, A.D.; WENYING, L.; HUANWEN, G.; KUHN, N.J. 2007. The adoption of annual subsoiling as conservation tillage in dryland maize and wheat cultivation in northern China. *Soil Till. Res.* 94: 493-502.
- JORAJURÍA, D. 2005. Compactación del suelo agrícola inducida por tráfico vehicular. Una revisión. En: *Jorajuría D. (ed). Reología del suelo agrícola bajo tráfico*. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. pp 39-55
- JACKSON, M.L. 1982. Análisis químicos de suelos. Traducción al español de J. M. Beltrán Omega, Barcelona, España.
- LADD, J.N. 1978. Origins and range of enzymes in soil. En: *Soil Enzymes*. R. G. Burns (Ed.). New York, Academic Press pp. 51-95.

- MALCOMES, H.P. 1991. Existing alternative test to measure side-effects of pesticides on soil microorganisms: dehydrogenase activity. *Toxicol. Environ. Chem.* 30: 167-176.
- McKENZIE, 2010 : Disponible [http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/newslett.nsf/all/agnw17314](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/newslett.nsf/all/agnw17314)
- MATUS, F.J.; MAIRE, G. C. 2000. Relación entre la materia orgánica del suelo, textura del suelo y tasas de mineralización de carbono y nitrógeno. *Agric. Téc.* 60: 112-126.
- MOSCATELLI, M.C.; LAGOMARSINO, A.; MARINARI, S.; DE ANGELIS, P.; GREGO, S. 2005. Soil microbiol indices as bioindicators of environmental changes in a poplar plantation. *Ecol. Indicators* 5: 171-179.
- NANNIPIERI, P.; GREGO, S.; CECCANTI, B. 1990. Ecological significance of the biological activity in soil. In: Bollag, J.M.; Stotzky, G. (eds.). *Soil biochemistry*. vol 6. New York, USA, Dekker pp. 293-355
- NUÑEZ MORENO, J.H.; VALDEZ GASCÓN, B. 1994. Effect of soil condition on orange trees. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 25: 1747-1753.
- ÖHLINGER, R. 1996. Soil respiration by titration. En: *Methods in Soil Biology*. Schinner F. et al. (Eds). New York, Springer pp. 95-98.
- OLDEMAN, L.R.; HAKKELING, R.T.A., SOMBROEK, W.B. 1991. World map of the status of human-induced soil degradation. An explanatory note. ISIRC. Wageningen, Netherlands/UNEP, Nairobi, Kenia. 34 p.
- PAUL, E.A. 1984. Dynamics of organics matter in soils. *Plant and Soil* 76: 275-285.
- PEÑA, W. 2004. Los suelos desarrollados sobre serpentinitas y su relación con la flora endémica. Tesis Doctoral, Universidad de Santiago de Compostela, España. 404 p
- REYNOLDS, W.D.; BOWMAN, B.T.; DRURY, C.F.; TANA, C.S.; LU, X. 2002. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. *Geoderma* 110: 131-146.
- RICE, C. T.; MOORMAN, B.; BEARE, M. 1996. Role of microbial biomass carbon and nitrogen in soil quality. In: Doran, J.W.; Jones, A.J. (eds.). *Methods for assessing soil quality*. Special Publication 49. Soil Science Society America, Madison, WI, USA. pp 203-217.
- SKUJINS, J.J. 1978. History of abiotic soil enzyme research. In: Burns, R.G. (eds.). *Soil Enzymes*. New York, Academic Press, pp. 1-49.
- SOANE, B.D. 1990. The role of organic matter in soil compactibility: a review of some practical aspects. *Soil Tillage Res.* 16: 179-202.
- SOIL SURVEY STAFF, 1998. *Keys to Soil Taxonomy*. 8th Ed. USDA. Natural Resources Conservation Service. Washington, D C, USA 326 p.
- SPOOR, G. 2006. Alliviation of soil compaction: requeriments, equipment and techniques. *Soil Use Manage.* 22: 113-122.
- TABATABAI M, A.; BREMNER, J. M. 1969. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biol. Biochem.* 1: 301-307.
- TAN, K.H. 2003. *Humic Matter in Soil and the Environment*. Kim Howard. Marcel Dekkers . 270 Madison Avenue. New York. USA.
- TERZAGUI, K.; PECK, R. 1996. *Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica*. 2da Ed., Buenos Aires, El Ateneo 722 p
- USDA. 1999. *Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo*. Departamento de Agricultura. Servicio de Investigación Agrícola. Servicio de Conservación de Recursos Naturales. Instituto de Calidad de Suelos .
- WEAVER, R.; BOTTOMLEY, P. 1994. Methods of soil analysis. Part 2: Microbiological and biochemical properties. SSSA Book Series 5, Madison, USA. 1121 p
- ZUBERER, D. A. 1994. Recovery and enumeration of viable bacteria. En: *Methods of Soil Analysis*. Part 2. Microbiological and Biochemical Properties. Weaver, R. W.; Angle, J. S.; Bottomley, P. S. (Eds.), SSSA Book Series No. 5, Madison, pp 119-144.: