

## ESTABILIDAD DE AGREGADOS DE UN ARGJUSTOL DEL SO BONAERENSE CON DIFERENTES SISTEMAS DE LABRANZA

JULIO OSVALDO IGLESIAS<sup>1\*</sup>; JUAN ALBERTO GALANTINI<sup>1-2</sup> & ADRIAN VALLEJOS<sup>1</sup>

Recibido: 03-02-17

Recibido con revisiones: 24-04-17

Aceptado: 29-04-17

### RESUMEN

El uso inadecuado del suelo produce la degradación de su estructura, afectando al ecosistema y reduciendo su potencial productivo. Los sistemas de labranza modifican la cantidad y distribución del carbono, influyendo sobre la estabilidad estructural de los suelos. En el presente trabajo se evaluó el efecto de la siembra directa (SD) y la labranza convencional (LC) sobre la distribución de diferentes tamaños de agregados, su estabilidad (EA) y sus contenidos de carbono en relación a un suelo sin cultivar o Natural (Nat). Se tomaron muestras de suelo de dos profundidades (0-5 y 5-10 cm). Se analizó el carbono orgánico total (COT), el particulado grueso (COPg), el particulado fino (COPf) y el asociado a la fracción mineral (COM). Se determinó el contenido de carbohidratos totales (CHt) y solubles (CHs). Se separaron los agregados por tamizados en seco y húmedo, calculándose la EA. En 0-5 cm todas las formas de CO disminuyeron a medida que aumentó el disturbio del suelo, mientras que en 5-10 cm no se observaron diferencias entre SD y LC. La fracción de agregados menor a 1 mm de los agregados tamizados en seco en 0-5 cm fue la más sensible al tipo de labranza, aumentando en el orden Nat (17,3%) < SD (24,9%) < LC (34,6%), siguiendo el misma tendencia que la EA. Al disminuir las labranzas se observó una tendencia a incrementar la cantidad de agregados mayores a 2,8 mm, con valores de 66 (Nat), 57 (SD) y 37% (LC). El contenido de CHs en los diferentes tamaños de agregados separados en seco siguió la misma tendencia que la EA en los agregados mayores a 2,8 mm y los menores a 1 mm. La EA estuvo relacionada a la fracción menor de 1 mm sensible al manejo.

**Palabras clave.** Agregados, carbono orgánico, fracciones orgánicas, agentes cementantes del suelo.

### AGGREGATE STABILITY OF AN ARGJUSTOL UNDER DIFFERENT TILLAGE SYSTEMS IN THE SOUTHWEST OF BUENOS AIRES

#### ABSTRACT

Land mismanagement leads to degradation of soil structure, affecting the ecosystem and jeopardizing the productive potential of soils. Tillage systems modify carbon content and distribution, and hence influence the structural stability of soils. This study discusses the effect of no tillage (NT) and conventional tillage (CT) on aggregate-size distribution and carbon content in comparison with an uncultivated or natural soil (Nat). The soil samples were taken to the 0-5 and 5-10 cm depths. They were analyzed for total organic carbon, coarse particulate organic carbon, fine particulate organic carbon and mineral-associated organic carbon. The content of total carbohydrates and soluble carbohydrates was determined. The aggregates were isolated by dry- and wet-sieving and their stability was calculated. All organic carbon forms within the 0-5 cm depth decreased as soil disturbance was higher, whereas no differences were observed in the 5-10 cm depth between NT and CT. The fraction of the dry-sieved aggregates smaller than 1 mm in the 0-5 cm depth turned out to be the most sensitive to tillage; it increased in the order Nat (17.3%) < NT (24.9%) < CT (34.6%), following the same tendency as aggregate stability. Tillage reduction tended to increase the amount of aggregates larger than 2.8 mm, with values of 66 (Nat), 57 (NT) and 37% (CT). Soluble carbohydrate content in the various sizes of the aggregates isolated by dry-sieving followed the same tendency as aggregate stability in aggregates larger than 2.8 mm and smaller than 1 mm. Aggregate stability was associated with the management-sensitive fraction smaller than 1 mm.

**Key words.** Aggregates, Organic carbon, Organic fractions, Soil cementing agents.

1. Universidad Nacional del Sur, Argentina

2. Comisión de Investigaciones Científicas (CIC)

\* Autor de contacto: jiglesia@criba.edu.ar

## INTRODUCCIÓN

La agricultura intensiva y el monocultivo, reducen los niveles de materia orgánica (MO) en los suelos, deteriorando su estructura (Lal, 2010). La degradación de la estructura del suelo, considerando los diferentes parámetros físicos que la determinan, influye en el crecimiento de los cultivos, la eficiencia del uso del agua, la erosión del suelo y el escurrimiento (Perfect *et al.*, 1990; Pagliai *et al.*, 1995; Golchin *et al.*, 1997). La estructura del suelo, clave en el secuestro de carbono (Bronick & Lal, 2005), se puede evaluar a través de la densidad aparente, la resistencia a la penetración, la conductividad hidráulica, la porosidad y la estabilidad de agregados (EA). En varios trabajos la EA ha sido una variable sensible al uso y manejo del suelo (Ferrerias *et al.*, 2007; Echeverría *et al.*, 2008; Campitelli *et al.*, 2010) y ha sido propuesta como un indicador de calidad de suelos (Shepherd *et al.*, 2001).

Un indicador de calidad física de suelo se vincula con procesos de degradación químicos y biológicos, donde las variables más estudiadas son la materia orgánica (MO) y la actividad biológica (Orellana & Pilatti, 1994). La dinámica del carbono dentro de la MO dependerá de la protección física dentro de los agregados del suelo (Roldan *et al.*, 2014). La agregación de las partículas del suelo es un proceso edafogénico resultado de la compleja interacción organo-mineral con influencia del clima, textura, carbono orgánico (CO), actividad microbiana, capacidad de intercambio catiónico y disponibilidad de nutrientes, que puede ser modificada por el manejo (Kay, 1998). Sin embargo se considera que los resultados obtenidos en estudios sobre efecto de labranzas en la EA son aún contradictorios debido a que éstos son dependientes del pretratamiento de las muestras, de su contenido de humedad y de la intensidad del tamizado. Luego, las investigaciones sobre EA y distribución de agregados por tamaño, son principalmente de valor comparativo y requieren de una detallada descripción de metodología aplicada y que los resultados se interpreten dentro del contexto de dicha metodología (Darghmeh *et al.*, 2009).

La teoría jerárquica de agregación propone que microagregados se unen para formar macroagregados y los lazos dentro de microagregados son más fuertes que entre los macroagregados (Edwards & Bremner, 1967), así las partículas de suelo se unen a través de materiales orgánicos e inorgánicos (Amezketta, 1999; Tisdall & Oades, 1982). Los agentes orgánicos pueden ser transitorios (polisacáridos microbianos y vegetales), temporarios (raíces e hifas

de hongos) y persistentes (materiales aromáticos asociados con cationes de metales polivalentes) (Jastrow & Miller, 1997; Tisdall & Oades, 1982; Bronick & Lal, 2005).

Los microagregados se forman a partir de MO asociada a la fracción mineral arcilla y cationes polivalentes para formar partículas compuestas (Edwards & Bremner, 1967; Tisdall, 1996). A partir de ellas se forman los macroagregados que pueden incluir a la materia orgánica particulada (MOP). La MOP, o materia macroorgánica (Willson *et al.*, 2001), es la fracción más dinámica de la MO del suelo, que representa un estado intermedio entre los restos vegetales y la materia orgánica más estable o MO asociada a la fracción mineral (MOM). Santos *et al.* (1997) propone una teoría de agregación donde las capas externas están construidas de manera concéntrica sobre la superficie externa del agregado, con MO más joven en las capas exteriores que en las interiores.

Los hidratos de carbono (CH) son agentes de unión para los agregados del suelo (Haynes & Beare, 1996; Degens, 1997), pero la medición de CH totales hidrolizados en ácido (CHt) no diferencia entre el total de CH y el pool más específico que está implicado en la agregación (Anger & Mehuys, 1989). Una alternativa sería extraer la fracción activa de CH que está implicado en la EA. En este sentido, la fracción de carbohidratos solubles en agua (CHs) ha sido propuesta por Haynes & Swift, 1990 y Puget *et al.*, 1999. Varios trabajos determinaron que la fracción de CHs está más relacionada con EA que los CHt o el carbono orgánico total (COT) (Haynes & Swit, 1990, 1991; Haynes & Francis, 1993). Esto podría deberse a que los CHs representan un sustrato superior para el metabolismo microbiano, promotores de las transformaciones de MO del suelo (MOS) (Cook & Allan, 1992). Golchin *et al.* (1995a,b) sugirieron que sólo una parte del CO o de los CH del suelo puede estar implicado en la EA. En suelos arenosos, los CHs no estarían relacionados con los agregados estables (Degens *et al.*, 1994). Según Duval *et al.* (2013), el contenido de CHt fue sensible para diferenciar el efecto de las prácticas agrícolas, mientras que el contenido de CHs, solo detectó diferencias entre el suelo natural y los cultivados. De la misma forma, Pajares *et al.* (2009), observaron diferencias significativas en CHs solamente entre suelos bajo tratamientos con sistemas de producción a base abonos orgánicos y mulching respecto de manejos convencionales (rotaciones, fertilizantes inorgánicos) donde el mayor valor de CHs se ubica en los tratamientos con manejo orgánico respecto del manejo convencional. En este trabajo se observa que a

mayor contenido de COT en sistemas de producción orgánica respecto de la convencional, también se incrementan sus componentes bioquímicos (CHs entre otros) pero con mayor intensidad que la observada en COT como consecuencia de los diferentes elementos orgánicos (compost vs fertilizante inorgánico) que ingresan en estos sistemas productivos. Los CHs correlacionaron mejor con la EA que con el contenido de CO (Haynes & Swift 1990). Estos autores sugieren que los CHs puede representar un grupo de CH involucrados en la formación de agregados estables.

En Haplustoles típicos con producción agrícola y en Haplustoles Enticos con producciones agrícolas-ganaderas, Colazo *et al.* (2006) encontraron que la MO fue el agente cementante que explicaba el 50% de la variabilidad en los valores de EA.

En INTA Manfredi, Giubergia *et al.* (2010) a los 13 años de iniciado un ensayo donde compararon labranza reducida con siembra directa, hallaron relación entre la EA y la MO de los agregados de 1-2 mm. Los sistemas de labranza, afectan la agregación del suelo por ruptura física de los macroagregados y por alteración de factores biológicos y químicos (Barto *et al.*, 2010). La conversión de pasturas perennes a cultivos anuales produce la pérdida de la MO con la consecuente reducción de la EA (Golchin *et al.*, 1995a; Haynes & Beare, 1997). La labranza convencional (LC) aumenta la exposición al aire, el sol y el viento, en cambio prácticas de manejo reducidas como la siembra directa (SD) moderan el impacto de los ciclos mojado-secado, debido a la protección de residuos en superficie (Deneff *et al.*, 2001) mejorando la EA según Bronik & Lal (2005). El uso de SD en determinados ambientes al conservar humedad y MOS en el tiempo, logra aumentar la producción del cultivo con la consecuente mejora y/o incremento en el contenido de CO en el sistema; por ello para aumentar la agregación del suelo en los sistemas con labranza se debe incrementar la entrada de carbono en el suelo y disminuir la tasa de pérdida de carbono por procesos tales como la descomposición y la erosión (Galantini *et al.*, 2006). La disminución de la EA del suelo se traducirá en mayor degradación del suelo y en un aumento de la erosión (Zhang & Horn, 2001; Borie *et al.*, 2006). Por ello es importante cuantificar el efecto de los sistemas de labranza y su relación con la MO del suelo. En especial, en SD donde la evaluación de experiencias de largo plazo (25 años) tiene una importancia mayor al momento de predecir y/o proyectar los cambios futuros.

Actualmente no existe un consenso general sobre los suelos que deben ser considerados de máxima calidad. Fedoroff (1987) sugiere la idea de utilizar los suelos naturales sin cultivar como la más alta calidad para la evaluación de la degradación del suelo. Esto se basa en el hecho de que los suelos que se desarrollan libremente llegan a un equilibrio entre sus propiedades que conduce a la estabilidad a largo plazo en los ecosistemas naturales. Muchos investigadores han utilizado suelos sin cultivar para la evaluación de los efectos de las prácticas de manejo, dando un marco de referencia para otras investigaciones (Cook & Hendershot, 1996; Leirós *et al.*, 1999; Sánchez-Marañón *et al.*, 2002).

En base a estos antecedentes se plantearon como hipótesis:

- 1) Los cambios en el contenido y distribución de las fracciones orgánicas del suelo bajo distintos sistemas de labranza se reflejan mejor en el grado de estabilidad de los agregados de tamaños extremos, los más grandes y los más pequeños.
- 2) En la medida que se incrementa la intensidad del disturbio en el sistema de labranzas, aumenta la fracción de agregados menor a 1 mm obtenidos por tamizado en seco, consecuencia de la pérdida de estabilidad del suelo. Este valor se puede utilizar como un indicador de la intensidad de disturbio.

*Los objetivos del presente trabajo fueron:* 1) Evaluar el efecto de los sistemas de labranza a largo plazo sobre la distribución de los diferentes tamaños de agregados y sus contenidos de carbono; 2) Relacionar el impacto de agentes cementantes del suelo (MO y sus fracciones) sobre la distribución y estabilidad de los diferentes tamaños de agregados tamizados en seco y en húmedo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio y muestreo

El ensayo se realizó en el año 2009 en el establecimiento "Hogar Funke" ubicado en el partido de Tornquist, provincia de Buenos Aires, Argentina, en un Argiudol típico profundo de textura franca limosa (26,4% arcilla, 18,4% arena) en el horizonte A y franco-arcillosa en el B2 (29,6% de arcilla y 23,3% de arena). En los 0-20 cm los valores promedio de densidad aparente es 1,34 Mg m<sup>-3</sup>, de materia orgánica es 3,31 y el nitrógeno total 0,132% (Galantini *et al.*, 2006). La temperatura media anual es 15 °C y la precipitación media anual 735 mm (1887-2012). El lote en estudio fue sistematizado en 1975 con

curvas de nivel sin gradiente y desde el año 1986 sobre una parcela de 16 hectáreas se implementaron dos sistemas de labranza, SD y LC quedando dividida en 2 tratamientos de 8 hectáreas, uno SD y otro LC. Cada tratamiento se dividió en 3 bloques ubicados aleatoriamente. El detalle de los rendimientos fueron descriptos por Kleine y Puricelli (2001), la secuencia de cultivos y rendimientos de 2000 a 2009 se detalla en la Tabla 1. Durante el año en estudio en ambos sistemas se sembró trigo variedad Buck Poncho a fines del mes de Julio a razón de 100 kg ha<sup>-1</sup>. Debido que las precipitaciones ocurridas en los meses de agosto, octubre y noviembre fueron (104 mm) menores que las necesidades teóricas para el cultivo de trigo en esos meses críticos (297 mm), los rendimientos fueron extremadamente bajos.

Las muestras a las profundidades 0-5 y 5-10 cm, se tomaron durante el mes de diciembre de 2009 cuando el trigo se encontraba en el estadio madurez fisiológica, 2 muestras en cada bloque y profundidad (un total de 6 réplicas en cada tratamiento y profundidad). Una fracción de suelo aledaño se muestreó de igual forma. En este sitio (sin cultivar desde que se sistematizó el lote en estudio) asumido como "Natural" (Nat) cohabitaban especies leñosas entre las que se destacaban acacia negra (*Gleditsia triacanthos*), Molle negro (*Schinus fasciculatus*) y especies de gramíneas Flechilla crespa (*Aristida mendocina*) - Flechilla fina (*Stipa tenuis*).

De tal forma quedaron definidos tres tratamientos, Natural (Nat); siembra directa (SD) y labranza convencional (LC).

En los tratamientos Nat, SD y LC se tomaron muestras sin disturbar en forma de bloque de aproximadamente de 3 kg de peso y se los colocó en bandejas de aluminio cubriéndolos de un film para su transporte y posterior análisis.

### Determinaciones

En las muestras de suelo se determinó COT por combustión seca LECO. El COT se lo ponderó por el contenido de agre-

gados en cada uno de los tamaños estudiados y se lo llamó carbono orgánico ponderado (COas). Las fracciones orgánicas del suelo se separaron mediante tamizado en húmedo Cambardella & Elliott (1992) y Galantini (2005). Se obtuvieron las partículas asociadas a la fracción gruesa (2,0-0,1 mm), fracción media (0,100-0,053 mm) y fracción fina (0,053-0 mm) en las cuales se determinó el carbono orgánico particulado grueso (COPg), el particulado fino (COPf) y el asociado a la fracción mineral (COM), respectivamente. Las muestras de suelo secas al aire, se rompieron de forma manual siguiendo sus planos de debilidad y luego se las tamizó por 8,0 mm. Para determinar la EA se utilizó el cambio del diámetro medio ponderado (CDMP) propuesto por De Leenher & De Boodt (1958), adaptado por Santanatoglia & Fernández (1982). La EA se expresó como valores de CDMP, que es la diferencia entre el CDMP del tamizado en seco y el CDMP del tamizado en húmedo; a mayor CDMP mayor inestabilidad del suelo (Sanzano *et al.*, 2005; Vallejos *et al.*, 2012). El método consiste en un tamizado en seco donde se separaron 4 fracciones: 8-4,8, 4,8-2,8, 2,8-2,0 y 2,0-1,0 mm. La muestra menor de 1 mm se descartó. Posteriormente con las fracciones obtenidas se realizó un tamizado en húmedo con tamices malla 4,8; 2,8; 2; 1; 0,5 y 0,3 mm. También se calculó el índice de estabilidad de agregados (IEA) expresado como el cociente entre un valor de estabilidad (CDMPref) del suelo de referencia (natural, con valor 100) y el del tratamiento (CDMPtrat) multiplicado por 100, de esta forma valores menores de 100 para tratamientos disturbados expresan el porcentaje que conservan de la EA original del suelo (Aparicio & Costa, 2007; Echeverría *et al.*, 2015).

$$IEA = [CDMP_{ref}/CDMP_{trat}] * 100$$

CDMP: diámetro medio ponderado

En este trabajo se definió como macroagregados a los > 2,8 mm, mesoagregados a los comprendidos entre 2,8 y 1 mm y microagregados a los < 1 mm.

Tabla 1. Secuencia de cultivos y rendimientos en los sistemas estudiados (2001-2009).  
Table 1. Sequence of crops and yields in the studied systems (2001-2009).

años	cultivo	LC	SD	pp mm
		Rendimiento Mg ha <sup>-1</sup>		
2001	Girasol	1,35	1,85	1227
2002	Trigo	1,09	1,53	899
2003	Trigo	1,02	3,67	606
2004	Girasol	2,55	2,10	909
2005	Cebada Cervecera	1,38	1,83	590
2006	Girasol Oleico	0,26	0,21	668
2007	Trigo	1,66	2,05	749
2008	Verdeo Verano			535
2009	Trigo	No se cosechó	No se cosechó	573

LC: Labranza convencional; SD: siembra directa, pp, precipitaciones anuales.

LC: Conventional tillage; SD: No-tillage, pp: annual rainfall.

En los agregados obtenidos de los tamizados en seco y húmedo se determinó: COT por combustión seca LECO, y los CHT y CHs siguiendo el procedimiento propuesto por Puget *et al.*, (1999). Para la extracción de los CHT se pesó 1,00 g de muestra de suelo se le agregó 10 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5 M y se calentó a 80°C durante 24 h. Los CHs se obtuvieron a partir de una suspensión de 1 g de suelo en 10 mL de agua destilada, que se calentó a 80 °C durante 24 h. Luego de la extracción para cada fracción (total o soluble), se centrifugó a 4000 rpm durante 15 minutos (Puget *et al.*, 1999) y se midió por el método de espectrometría de fenol-sulfúrico con curva estándar de glucosa (Dubois *et al.*, 1956).

La muestra del tamizado en seco < 1 mm no se utilizó para tamizado en húmedo por ello los resultados obtenidos en los agregados en húmedo no se compararon con los obtenidos en el tamizado en seco dado que la cantidad de suelo de donde se partió no fue la misma. Para determinar CHT y CHs los agregados entre 1,0-0,5; 0,5-0,3; <0,3 mm separados en húmedo, se agruparon en una sola fracción < 1 mm, debido a que la cantidad de material obtenida fue demasiado pequeña para su análisis.

### Diseño estadístico

El diseño estadístico es parcelas divididas con tres bloques completos aleatorizados. Los datos en todas las tablas se presentan como medias en cada uno de los tres tratamientos (LC, SD y Nat). Las diferencias en los resultados obtenidos afectados por los tratamientos, así como la interacción entre ellos, se evaluaron mediante análisis de la varianza (ANOVA) y el test de diferencias mínimas significativas (DMS) para la comparación de medias ( $p \leq 0,05$ ). El análisis estadístico se realizó con el software INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2013).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Carbono orgánico total del suelo y sus fracciones

Los tratamientos estudiados mostraron efectos diferentes sobre la concentración de COT del suelo en 0-5 y 5-10 cm (Tabla 2). En el tratamiento Nat el estrato superficial presentó los mayores niveles de COT, seguidos por SD y LC. En 5-10 cm el COT fue mayor en Nat, no detectando diferencias entre los tratamientos cultivados, coincidiendo con los resultados de Wright *et al.* (2005) que en un ensayo de 20 años de duración sobre un suelo franco arcillo arenoso (26% de arcilla y 5% de limo), encontraron que en SD incrementa el COT en el estrato 0-5 cm respecto del tratamiento con laboreo, pero no debajo de esta profundidad. Sanzano *et al.* (2005) trabajando en un ensayo de 20 años de duración sobre un Haplustol típico (franco limoso), informaron que el CO disminuyó a medida que

aumentó el disturbio del suelo en los primeros 10 cm del suelo.

En el mismo sitio que se desarrolló el presente estudio, Galantini *et al.* (2006) determinaron que LC, comparándola con SD, produjo una pérdida promedio de suelo por erosión equivalente a 11,7 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y 0,35 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de CO por mayor oxidación. Ante esta situación, es importante conocer cómo estos cambios a largo plazo en el contenido de CO del suelo modifican aspectos físicos críticos, como lo son la distribución y estabilidad de los diferentes tamaños de agregados.

En el estrato superior, el contenido de COPg, COPf y COM (Tabla 2) presentaron la siguiente relación: Nat > SD > LC, con diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0,05$ ). Posiblemente la presencia de vegetación viva durante todo el año, que deja el suelo más seco y mayor densidad aparente (datos no mostrados), explique los más altos valores de todas las fracciones orgánicas. Por el contrario, la incorporación de los residuos superficiales y con-

Tabla 2. Concentración de carbono orgánico total y sus fracciones en los tratamientos estudiados.

Table 2. Concentration of total organic carbon and its fractions in the studied treatments.

Prof.	Tratamiento		
	Nat	SD	LC
	COT (%)		
0-5	4,71 a	2,45 b	1,94 c
5-10	2,62 a	1,87 b	1,92 b
0-10	3,67	2,16	1,93
	COPg (%)		
0-5	1,11 a	0,25 b	0,13 c
5-10	0,24 a	0,07 c	0,14 b
0-10	0,67	0,16	0,13
	COPf (%)		
0-5	0,91 a	0,31 b	0,20 c
5-10	0,52 a	0,22 b	0,21 b
0-10	0,71	0,26	0,20
	COM (%)		
0-5	2,70 a	1,90 b	1,61 c
5-10	1,76 a	1,58 b	1,57 b
0-10	2,23	1,74	1,59

Tratamiento: Nat, natural; SD, siembra directa; LC, labranza convencional. Para cada profundidad analizada letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ( $p < 0,05$ , test DMS). COT, carbono orgánico total; COPg, COPf, carbono orgánico particulado en 105-2000, 53-105 mm tamaños de partículas, respectivamente y COM carbono orgánico asociado a la fracción mineral <53 mm tamaño de partículas.

Treatments: Nat, Natural; SD, no-tillage; LC, conventional tillages. For each profundity different letters indicate statistical differences between treatments ( $p < 0.05$ , test DMS). COT: total organic carbon; COPg, COPf, organic particulate carbon in 105-2000, 53-105 mm particle size respective and COM, associated organic carbon to the mineral fraction (<53 mm particle size).

diciones para una más rápida oxidación de los materiales orgánicos en LC sean los responsables de los menores valores determinados. En SD los valores son intermedios y significativamente diferentes a Nat y LC.

En 5-10 cm las diferencias del tratamiento Nat con los cultivados se mantuvieron, pero desaparecieron entre ellos para COT, COM y COPf. El COPg en el estrato 5-10 cm bajo SD presentó una concentración significativamente inferior ( $p < 0,05$ ) respecto a LC. Esta diferencia estuvo asociada al ingreso y mezclado de residuos en el suelo con las labranzas, generando una homogeneización de los niveles de COPg en ambos estratos de LC en contraste con la estratificación en SD.

El efecto de estratificación de residuos en los sistemas sin laboreo es conocido, dependiendo del tipo de suelo y cobertura las fracciones orgánicas lábiles se encuentran en la zona de mayor densidad radicular y de contacto entre suelo y residuos vegetales. A medida que ocurren los procesos de transformación, el COPg permanece en la zona superior del suelo, mientras que en capas subterráneas tales procesos son más lentos. De allí que estas diferencias en concentración de COPg sean más notables en las labranzas tipo siembra directa (Prescott *et al.*, 1995; Franzluebbbers, 2002; Toledo *et al.*, 2013). En coincidencia con estos autores, en este trabajo se midió una concentración de COPg significativamente menor en la capa 5-10 cm en SD (0,07%) que en LC (0,14%), ya que parte de los residuos fueron incorporados en esta profundidad por efecto de las labores. En el tratamiento Nat presentó mayores niveles de COPg (0,24%), probablemente por un mayor ingreso de residuos (no hubo extracción por cosechas). La presencia de diversidad de especies vegetales con diferente sistema radicular favorecería la incorporación de carbono al suelo con un patrón diferente a los tratamientos con cultivos (Duval *et al.*, 2013). Puede observarse en la Tabla 2 que los valores de COPg en LC en la profundidad 0-5 cm (0,13%) fueron similares a 5-10 cm (0,14%), evidenciando el efecto de mezclado de los residuos en los primeros 10 cm de profundidad.

En las fracciones COPf y COM en 5-10 cm no se observaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre LC y SD, difiriendo del Nat. La fracción de partículas gruesas en LC y SD mostró mayor dinámica y sensibilidad a las condiciones climáticas que la fracción de partículas finas, por ello el tratamiento Nat sin ningún tipo de actividad agropecuaria presentó mayor COPg coincidiendo con Benbi *et al.* (2014) y Duval *et al.* (2013, 2014).

### **Distribución de los tamaños de agregados tamizados en seco y húmedo**

Cuando se analizó la distribución promedio de las fracciones de agregados de tamizado en seco se observó interacción entre tratamientos y profundidades en algunos tamaños de agregados. Posiblemente el laboreo en LC mezcló los dos estratos en estudio afectando en forma diferente las categorías de agregados, por tal motivo se analizó cada profundidad por separado.

En la profundidad 0-5 cm los tratamientos afectaron la distribución de algunos agregados tamizados en seco (Tabla 3). En el tamaño 8,0-4,8 mm el Nat no difirió con SD, en cambio en 4,8-2,8 mm fue superior. Los agregados mayores de 4,8 mm se incrementaron a medida que disminuyó el disturbio, probablemente la ausencia de actividad agropecuaria en Nat y de labranzas en SD permitieron la unión de microagregados en agregados más grandes, 8 a 4,8 mm, según los conceptos de la teoría de Tisdall & Oades (1982). En cuanto al Nat, si bien no se midió la producción de materia seca, es de esperar mayor aporte que en LC, por que produjo biomasa durante todo el año por ausencia de barbecho y con un reciclado total por no haber extracción de grano ni de pasto.

Por otro lado cuando se incrementó el nivel de disturbio aumentó la cantidad de material (partículas y agregados menores de 1 mm) y presentó una tendencia a disminuir el porcentaje de agregados mayores de 2,8 mm. La disminución de los macroagregados en los sistemas cultivados podría ser por cambios en el aporte de carbono al suelo y por acción del laboreo.

En LC la fracción menor a 1 mm (34,57%), formada principalmente por material suelto por efecto del laboreo, evidenció mayor destrucción de los macroagregados, que SD y Nat. Según Kasper *et al.* (2009), la disminución en la EA está relacionada al manejo, una disminución en el ingreso de residuos afectaría la agregación. Una caída en el porcentaje de macroagregados asociada con el menor aporte de residuos de cultivo con diferentes secuencias fue observada por Shaver *et al.* (2002). Por otro lado Shu *et al.* (2015) observaron un incremento de la proporción de macroagregados cuando disminuyeron las labranzas y aumentaron los residuos en un suelo franco arenoso.

En el presente estudio los microagregados aumentaron por efecto las labranzas, producto de la destrucción de los macroagregados  $< 0,250$  mm. En cambio, Tisdall & Oades (1980) y Elliott (1986) mencionan que los microagregados no son afectados por las labranzas, en este traba-

jo solo se determinaron microagregados < 1 mm incluyéndose en esta fracción todo el material suelto. Esta categorización de los microagregados sería la causa de la diferencia con la bibliografía citada.

En el estrato inferior (5-10 cm) los tratamientos Nat y SD presentaron mayores porcentajes de agregados > 2,8 mm que LC, probablemente producto del sistema de labranza. Los agregados menores que 1 mm aumentaron en LC y no se encontraron diferencias entre SD y Nat. En SD las diferencias observadas en los agregados < 1 mm fueron menos importantes que en el estrato superficial posiblemente el no laboreo promovió menor grado de disturbio que en superficie.

La cantidad de agregados < 1 mm mostró tendencia del efecto de los tratamientos sobre la EA. En la capa super-

ficial fueron todos diferentes (Nat<SD<LC), en profundidad LC fue el más inestable (Nat=SD<LC). Por lo que esta fracción podría ser un indicador sensible de la estabilidad de la estructura del suelo.

La distribución promedio de las fracciones de agregados tamizados en húmedo (Tabla 3) presentó interacción entre tratamientos y profundidades en algunos tamaños de agregados. Por tal motivo se analizó cada profundidad por separado. El análisis de la cantidad de los agregados en húmedo en la profundidad 0-5 cm presentó mayor cantidad de agregados superiores a 2,8 mm en Nat y SD, aunque este último no difirió de LC. Los agregados de este tamaño presentaron una tendencia a disminuir cuando aumentó el disturbio. En suelos de diferente textura, Spaccini *et al.* (2001) encontraron un comportamiento similar. El menor

Tabla 3. Distribución promedio (%) de fracciones de agregados de tamizado en seco y húmedo.

Table 3. Average distribution (%) of aggregate fractions dry and wet sieving.

Seco	Tamaño de agregados (mm)						
	8,0-4,8	4,8-2,8	2,8-2,0	2,0-1,0	< 1		
0-5 cm							
Nat	29,02 a	29,55 a	7,81 a	16,28 a	17,33 c		
SD	24,68 ab	22,69 b	9,33 a	18,36 a	24,94 b		
LC	20,07 b	18,17 b	9,10 a	17,95 a	34,57 a		
5-10 cm							
Nat	35,32 a	28,17 a	7,31 a	14,45 a	14,75 b		
SD	39,47 a	26,48 a	6,73 a	14,21 a	13,11 b		
LC	29,16 b	19,54 b	6,35 a	15,37 a	29,57a		
Tratamiento	*	**	ns	ns	**		
Profundidad	**	*	**	ns	**		
Interacción	*	*	ns	ns	*		
Húmedo							
0-5 cm							
Nat	33,70 a	33,01 a	8,38 a	18,74 a	0,83 b	0,32 b	5,07 b
SD	28,13 ab	21,67ab	9,17 a	18,99 a	5,71 a	3,10 a	15,89a
LC	22,39 b	16,20 b	7,87 a	21,87 a	7,14 a	6,93 a	17,77a
5-10 cm							
Nat	37,94 a	23,44 a	7,20 a	15,64 a	4,13 a	2,49 a	9,16 b
SD	32,12 a	22,72 ab	7,22 a	15,04 a	3,46 a	5,38 a	14,06 a
LC	33,02 a	16,67 b	7,09 a	15,93 a	5,86 a	4,44 a	16,99 a
Tratamiento	ns	*	ns	ns	ns	ns	*
Profundidad	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Interacción	*	ns	ns	ns	*	*	ns

Tratamiento: Nat, natural; SD, siembra directa; LC, labranza convencional. Para cada profundidad analizada en cada tamaño de agregados (tamizados en seco o en húmedo), letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ( $p < 0,05$ , test DMS).\*:  $p < 0,05$ ; \*\*:  $p < 0,01$ ; ns: no significativa.

Treatments: Nat, Natural; SD, no-tillage; LC, conventional tillage. For each profundity in each particle size (dry or wet), different letters indicate statistical differences between treatments ( $p < 0.05$ , test DMS).\*:  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; ns: non-significant.

porcentaje de agregados menores de 1 mm fue condicionado por la resistencia de los agregados de 8 a 1 mm. Estos resultados fueron similares a los informados por Spaccini *et al.* (2001), quienes indicaron que el monocultivo reduce los agregados más grandes. La distribución de agregados tamizados en húmedo diferenció entre los tratamientos Nat y LC.

En la profundidad 5-10 cm la cantidad de agregados en cada categoría fueron similares en todos los tratamientos excepto la fracción 4,8-2,8 mm y la fracción < 1 mm.

### Estabilidad de agregados y cambio del diámetro medio ponderado

La mayores diferencias en la EA se encontraron en la capa superficial, donde se observó que el CDMP aumentó (Tabla 4) a medida que aumentó el disturbio con la historia de laboreo. Resultados similares fueron publicados por Sanzano *et al.* (2005) quien trabajó en un Haplustol típico con diferentes tratamientos obteniendo valores entre 0,42 y 1,35 mm. En la profundidad 5-10 cm no se encontraron diferencias en el CDMP entre Nat y SD.

Al analizar los resultados del IEA podemos afirmar que los suelos con mayor remoción tuvieron menor estabilidad estructural que el mismo suelo cuando disminuye el disturbio. En 0-5 cm el tratamiento LC presentó un valor menor que Nat (80%), en cambio SD solo el 37%. Coincidiendo con un efecto similar descripto por Echeverría *et*

*al.*, 2015, trabajando en un Paleudol Petrocalcico en el estrato superficial. En 5-10 cm se observó que solo en LC el valor de IEA fue menor (44%) que el obtenido en los tratamientos Nat y SD.

### Carbono orgánico total en agregados tamizados en seco y húmedo

El porcentaje de COT en los agregados tamizados en seco, presentó interacción entre tratamiento y profundidad (Tabla 5). Para 0-5 cm el contenido de COT fue disminuyendo en todos los tamaños de agregados a medida que aumentó el disturbio. Se podría afirmar que el contenido de COT en los agregados tamizados en seco explicaría la EA expresada como CDMP (Tabla 4). Al comparar los valores de las fracciones de agregados tamizados en seco (Tabla 5), se observó que la fracción < 1 mm fue menor en el tratamiento Nat aumentando con el disturbio y el COT presentó el mismo orden (Tabla 2).

En la profundidad 5-10 cm en el tratamiento Nat el contenido de COT fue superior y no se detectó diferencia entre LC y SD.

El porcentaje de COT en los agregados tamizados en húmedo, presentó interacción entre tratamiento y profundidad (Tabla 5). Este porcentaje mostró diferencias significativas entre tratamientos en la profundidad 0-5 cm, disminuyendo el COT cuando el disturbio del suelo fue mayor. Esto implica que cada unidad de agregado presentó menos carbono cuando hubo más laboreo, posiblemente por la pérdida de los materiales lábiles y/o estructura alifáticas (Galantini & Rosell, 1997). La dinámica de los agregados en LC fue mayor, donde los periódicos laboreos rompen agregados con pérdida del carbono lábil y posteriormente se reestructuran dando lugar a las diferencias observadas. Varios autores también observaron una disminución del carbono en los macroagregados con el aumento de las labranzas (Haynes & Beare, 1996; Six *et al.*, 2000). El COT en los agregados tamizados en húmedo, coincidió con la EA (Tabla 4).

En 5-10 cm (Tabla 5) no se observaron diferencias en el contenido de COT entre los sistemas de labranza en los distintos tamaños de agregados. En este caso las diferencias en la EA (Tabla 4) no se explicarían por el COT en cada agregado.

El COT en las profundidades estudiadas se relacionó al aporte de carbono que recibió. En 0-5 cm se acentuaron las diferencias donde Nat > SD > LC debido a la acumulación

Tabla 4. Cambio en el diámetro medio ponderado, índice de estabilidad de los agregados del suelo en los tratamientos estudiados.

Table 4. Change in the weighted average diameter, stability index of soil aggregates in the studied treatments.

Prof. (cm)	Tratamiento		
	Nat	SD	LC
	CDMP (mm)		
0-5	0,24 c	0,38 b	1,20 a
5-10	0,53 b	0,54 b	1,00 a
0-10	0,38	0,46	1,10
	IEA		
0-5	100	63	20
5-10	100	103	56
0-10	100	81	38

Tratamiento: Nat, natural; SD, siembra directa; LC, labranza convencional. Para cada profundidad analizada letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ( $p < 0,05$ , test DMS). CDMP cambio en el diámetro medio ponderado; IEA: índice de estabilidad de agregados.

Treatments: Nat, Natural; SD, no-tillage; LC, conventional tillage. For each profundity different letters indicate statistical differences between treatments ( $p < 0,05$ , test DMS). CDMP: changes in the average diameter size; IEA, stability index of aggregated.



Tabla 5. Carbono orgánico total (%) en diferentes tamaños de agregados tamizados en seco y húmedo.  
Table 5. Total Organic Carbon (%) in different sizes of dry and wet aggregates.

Seco	Tamaño de agregados (mm)						
	8,0-4,8	4,8-2,8	2,8-2,0	2,0-1,0	< 1		
	0-5 cm						
Nat	2,88 a	3,52 a	4,19 a	4,19 a	2,99 a		
SD	2,40 b	2,44 b	2,57 b	2,61 b	2,67 b		
LC	1,99 c	2,15 c	2,17 c	2,27 c	1,97 c		
	5-10 cm						
Nat	2,16 a	2,72 a	2,72 a	3,06 a	3,12 a		
SD	1,93 b	2,03 b	2,05 b	2,09 b	2,00 b		
LC	2,04 b	2,10 b	2,16 b	2,21 b	2,03 b		
Tratamiento	*	ns	ns	ns	**		
Profundidad	**	*	*	ns	**		
Interacción	**	*	*	*	**		
	Húmedo						
	8,0-4,8	4,8-2,8	2,8-2,0	2,0-1,0	1-0,5	0,5-0,3	< 0,3
	0-5 cm						
Nat	2,89 a	3,11 a	3,85 a	3,90 a	3,00 a	3,33 a	3,68 a
SD	2,40 b	2,39 b	2,40 b	2,42 b	2,36 b	2,33 b	2,33 b
LC	2,10 c	2,06 c	2,10 c	2,10 c	1,89 c	1,99 c	1,84 c
	5-10 cm						
Nat	2,09 a	2,19 a	2,19 a	2,20 a	2,04 a	2,11 a	2,11 a
SD	1,94 a	2,18 a	2,14 a	2,11 a	2,02 a	1,93 a	2,08 a
LC	2,05 a	2,06 a	2,06 a	2,06 a	1,99 a	1,99 a	1,99 a
Tratamiento	ns	*	*	*	*	*	**
Profundidad	*	ns	ns	ns	*	**	ns
Interacción	*	*	*	*	**	**	*

Tratamiento: Nat, natural; SD, siembra directa; LC, labranza convencional. Para cada profundidad analizada en cada tamaño de agregados (tamizados en seco o en húmedo), letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ( $p < 0,05$ , test DMS).\*:  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; ns: no significativa.

Treatments: Nat, Natural; SD, no-tillage; LC, conventional tillage. For each profundity in each particle size (dry or wet), different letters indicate statistical differences between treatments ( $p < 0.05$ , test DMS).\*:  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; ns: non-significant.

de material orgánico por la falta de labranza en los tratamientos Nat y SD, y a la incorporación subsuperficial de residuos en LC. En 5-10 cm no se observaron diferencias siendo los valores semejantes por la falta de aportes de COT en Nat y SD, mientras que en LC presentó homogenización por el laboreo del suelo.

### Carbono orgánico ponderado en los agregados tamizados en seco y húmedo

Al ponderar la cantidad de cada uno de los tamaños de agregados tamizados en seco por su concentración de carbono (COas) se encontraron solo diferencias entre profundidad y tratamiento (Tabla 6). La mayor parte el carbono del suelo (del 38 al 55% del total) se encontró en los agregados de mayor tamaño (8,0-4,8 y 4,8-2,8 mm). Las diferencias de manejo se observaron en el tamaño 4,8-

2,8mm, si bien la mayor acumulación de carbono en el suelo en el tratamiento SD fue estadísticamente significativa en la profundidad 5-10 cm. Al analizar los agregados de menor tamaño, < 1 mm, su contenido de carbono fue más sensible para detectar las diferencias entre tratamientos. En la medida que aumentó la intensidad de laboreo (o cultivo) el C en la fracción < 1 mm fue mayor. Otros estudios han determinado que este carbono corresponde a moléculas predominantemente aromáticas (Galantini & Rosell, 1997; Galantini *et al.*, 2014). Es decir, este cambio en la localización iría acompañado de un cambio en la calidad de los materiales orgánicos, modificando el potencial aporte a la disponibilidad de nutrientes.

Cuando se ponderó el valor de carbono en cada uno de los tamaños de agregados en húmedo se observaron menores diferencias (Tabla 6). La mayor parte del carbono

se encontró en los agregados de tamaños mayores. Solo se encontró diferencias en los agregados el tamaño 4,8-2,8 mm, aunque en este caso las diferencias entre profundidades fueron opuestas a la mostrada en los agregados en seco. No se observó acumulación en los agregados de menor tamaño, ya que el material < 1 mm no es considerado dentro del fraccionamiento en húmedo. La suma de carbono en los agregados (8,0-4,8) + (4,8-2,8) mm, disminuyó después del fraccionamiento en húmedo de manera diferente entre sistemas. En promedio para 0-10 cm la menor disminución ocurrió en el suelo natural (8% menos), luego en SD (17,7% menos) y la mayor en LC (21,6% menor). Esto estaría poniendo en evidencia una mayor susceptibilidad a la degradación de los agregados en suelos cultivados.

### Carbohidratos totales en agregados tamizados en seco

En este estudio en ambas profundidades los CHt no presentaron diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 7), coincidiendo con Duval *et al.* (2015) quienes en un Haplustol Entico de textura franco arenosa no encontraron diferencias entre prácticas agrícolas. Bongiovani & Lobartini (2006) en un Haplustol Típico de textura franco grueso comparando sistemas natural y cultivados, encontraron que los CHt disminuyeron un 47% en el horizonte superficial a causa del cultivo. Angers *et al.* (1993) trabajando en un suelo arcilloso informaron que la proporción de CHt fue mayor bajo SD que LC, mientras Angers & Mehuys (1989), hallaron que aumentó la proporción de CHt en el orden: suelo desnudo < maíz < cebada < alfalfa.

Tabla 6. Porcentaje del carbono orgánico del suelo en diferentes tamaños de agregados tamizados en seco y húmedo.  
Table 6. Percentage of soil organic carbon in each of different sizes of dry and wet sieved aggregates.

Seco	Tamaño de agregados (mm)						
	8,0-4,8	4,8-2,8	2,8-2,0	2,0-1,0	< 1		
0-5 cm							
Nat	24,3 a	30,4 b	10,2 a	19,9 a	15,2 a		
SD	23,6 a	22,0 a	9,4 a	18,4 a	26,0 b		
LC	19,3 a	18,8 a	9,7 a	19,3 a	32,9 c		
5-10 cm							
Nat	28,7 a	29,1 b	7,7 a	16,9 a	17,6 a		
SD	38,3 a	26,9 ab	7,0 a	14,9 a	12,9 a		
LC	28,4 a	19,7 a	6,7 a	16,3 a	28,8 b		
Tratamiento	ns	**	ns	ns	**		
Profundidad	*	ns	**	ns	ns		
Interacción	*	*	ns	ns	*		
Húmedo	8,0-4,8	4,8-2,8	2,8-2,0	2,0-1,0	1-0,5	0,5-0,3	< 0,3
0-5 cm							
Nat	25,7 a	27,2 b	6,9 a	19,3 a	0,5 a	0,3 a	6,3 a
SD	23,3 a	17,8 ab	7,5 a	16,1 a	4,5 a	2,4 a	5,8 a
LC	17,4 a	11,9 <sup>a</sup>	5,9 a	16,7 a	5,2 a	5,6 a	12,2 a
5-10 cm							
Nat	30,6 a	19,8 b	6,2 a	13,2 a	3,1 a	1,9 a	7,4 a
SD	27,0 a	21,5 b	6,9 a	13,7 a	2,6 a	4,3 a	12,9 a
LC	25,5 a	12,9 a	5,3 a	12,5 a	4,6 a	3,4 a	12,9 a
Tratamiento	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Profundidad	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Interacción	ns	*	ns	ns	ns	ns	*

Tratamiento: Nat: natural; SD, siembra directa; LC, labranza convencional. Para cada profundidad analizada en cada tamaño de agregados (tamizados en seco o en húmedo), letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ( $p < 0,05$ , test DMS). \*:  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; ns: no significativa.

Treatments: Nat, Natural; SD, no-tillage; LC, conventional tillage. For each profundity in each particle size (dry or wet), different letters indicate statistical differences between treatments ( $p < 0,05$ , test DMS). \*:  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; ns: non-significant.

Los exudados de las raíces y de sus tejidos muertos pueden comprender hasta un 30-40% o más del ingreso total de la MO a los suelos (Fogel, 1985), por lo tanto, un cambio en la secuencia de los cultivos, tanto en frecuencia como en el tipo de cultivo puede modificar el contenido de CH (Duval, 2015). Estas diferencias podrían ser consecuencia que en el tratamiento natural al tener mayor cantidad de especies vivas durante todo el año, podría contener mayor cantidad de carbonocomplejo aromático que no es atacado por el ácido diluido que se empleó para la extracción; de manera que presentaría valores menores en su determinación.

### Carbohidratos solubles en agregados tamizados en seco

Cuando se analizó los CHs en las fracciones de agregados de tamizado en seco (Tabla 7) se observó interacción

entre tratamientos y profundidades en algunos tamaños de agregados, por tal motivo se analizó cada profundidad por separado.

Los carbohidratos son agentes de unión de tipo transitorio, se produce por la actividad microbiana, que utiliza como substrato los residuos incorporados al suelo, este tipo de carbohidratos estaría asociado a la formación de microagregados, dado su asociación con las arcillas (Jastrow & Miller, 1997; Tisdall & Oades, 1980). Las raíces e hifas de hongos que se desarrollan en la rizósfera, podrían participar en la unión de microagregados para la formación de macroagregados (Tisdall & Oades, 1980). Esto explicaría los mayores niveles de CHs encontrados todas las categorías de agregados del tratamiento Nat. En este tratamiento hay raíces vivas durante todo el año y mayor contenido de

Tabla 7. Carbohidratos totales (mg kg<sup>-1</sup>) y solubles (mg kg<sup>-1</sup>) en diferentes tamaños de agregados tamizado en seco.

Table 7. Total (mg kg<sup>-1</sup>) and soluble (mg kg<sup>-1</sup>) carbohydrate in different sizes dry sieving aggregates.

		Tamaño de agregados (mm)				
Tratamiento		8,0-4,8	4,8-2,8	2,8-2,0	2,0-1,0	< 1
CHt		0-5 cm				
	Nat	3230 a	3705 a	4254 a	4381 a	4573 a
	SD	3938 a	4020 a	4142 a	4505 a	4320 a
	LC	3116 a	3934 a	3610 a	3968 a	3175 a
		5-10 cm				
	Nat	2784 a	3362 a	3807 a	3683 a	4158 a
	SD	2922 a	3468 a	3301 a	3419 a	3924 a
	LC	3102 a	3014 a	3257 a	3599 a	3456 a
Tratamiento		ns	ns	ns	ns	ns
Profundidad		ns	ns	ns	ns	ns
Interacción		ns	ns	ns	ns	ns
CHs		0-5 cm				
	Nat	742 a	884 a	781 a	819 a	1060 a
	SD	384 b	379 b	431 b	449 b	476 b
	LC	275 c	335 b	399 b	385 b	294 c
		5-10 cm				
	Nat	305 a	382 a	447 a	464 a	645 a
	SD	235 a	302 b	295 b	296 b	292 b
	LC	253 a	258 b	299 b	302 b	322 b
Tratamiento		*	ns	ns	ns	**
Profundidad		**	ns	*	**	**
Interacción		**	ns	ns	ns	**

Tratamiento: Nat, natural; SD, siembra directa; LC, labranza convencional. CHt, carbohidratos totales; CHs carbohidratos solubles. Para cada profundidad analizada en cada tamaño de agregados, letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ( $p < 0,05$ , test DMS).\*:  $p < 0,05$ ; \*\*:  $p < 0,01$ ; ns: no significativa.

Treatments: Nat, Natural; SD, no-tillage; LC, conventional tillage. CHt, total carbohydrates; CHs, soluble carbohydrates. For each profundity into each particle size, different letters indicated statistical difference between treatments ( $p < 0,05$ , test DMS).\*:  $p < 0,05$ ; \*\*:  $p < 0,01$ ; ns: non-significant.

COT (Tabla 2), favoreciendo la generación de CHs y la EA (Tabla 4) expresada como CDMP.

En 0-5 cm se encontraron diferencias en el contenido de CHs para las categorías mayor y menor de agregados tamizados en seco, disminuyendo cuando aumentaba el disturbio del suelo (Tabla 7). Los contenidos de CHs de los agregados tamizado en seco en los tratamientos LC y SD en los tamaños de agregados entre 4,8 y mayores que 1 mm no difirieron entre sí y fueron menores al tratamiento Nat. En las categorías 8,0-4,8 y < 1 mm, la ausencia de labranzas evitó la ruptura de los agregados en SD presentando mayor contenido CHs que en LC.

Los contenidos de COT fueron menores a medida que aumentó el disturbio del suelo (Tabla 5), en cambio los CHs

solo en los agregados mayores y en los menores coinciden con esta tendencia. Probablemente los CHs reflejarían la actividad biológica más que el COT en estos tamaños de agregados.

Los CHs en el estrato superior en los tamaños 8,0-4,8 y < 1 mm, serían valiosos como indicadores de la degradación de la estructura del suelo, debido a las prácticas de cultivo de acuerdo a lo sugerido por Duval (2015), Haynes & Beare (1996) y Haynes & Swift (1990). En cambio en los agregados entre 4,8 y 1 mm los CHs solo diferencian el suelo natural del suelo laboreado.

En 5-10 cm, el tratamiento Nat presentó mayor contenido de CHs que los tratamientos SD y LC excepto en el tamaño mayor que no difieren entre sí. Para el caso de los

Tabla 8. Carbohidratos totales ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) y solubles ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en diferentes tamaños de agregados tamizado en húmedo.

Table 8. Total ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) and soluble ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) carbohydrate in different sizes sieving wet aggregates.

Tratamiento	Tamaño de agregados (mm)				
	8,0-4,8	4,8-2,8	2,8-2,0	2,0-1,0	< 1
0-5 cm					
CHt					
Nat	3077 a	3804 a	3775 a	4007 a	2960 a
SD	3789 a	3788 a	3714 a	3790 a	3440 a
LC	3344 a	3484 a	3802 a	3623 a	2799 a
5-10 cm					
Nat	2768 a	2777 a	2851 a	2312 a	2330 a
SD	3064 a	3131 a	3462 a	2840 a	2345 a
LC	2769 a	2505 a	2608 a	3015 a	2421 a
Tratamiento	ns	ns	ns	ns	ns
Profundidad	ns	ns	ns	ns	ns
Interacción	ns	ns	ns	ns	ns
0-5 cm					
CHs					
Nat	1048 a	1077 a	1707 a	1206 a	1100 a
SD	414 b	495 b	499 b	584 b	384 b
LC	319 b	337 b	303 b	313 b	289 b
5-10 cm					
Nat	316 b	315 b	372 b	330 b	576 a
SD	482 a	517 a	586 a	470 a	414 a
LC	344 b	399 b	394 b	374 b	355 a
Tratamiento	*	ns	**	**	ns
Profundidad	ns	ns	ns	ns	ns
Interacción	ns	ns	ns	ns	ns

Tratamiento: Nat, natural; SD, siembra directa; LC, labranza convencional. CHt, carbohidratos totales; CHs carbohidratos solubles. Para cada profundidad analizada en cada tamaño de agregados, letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ( $p < 0,05$ , test DMS).\*:  $p < 0,05$ ; \*\*:  $p < 0,01$ ; ns: no significativa.

Treatments: Nat, Natural; SD, no-tillage; LC, conventional tillage. CHt, total carbohydrates; CHs, soluble carbohydrates. For each profundity into each particle size, different letters indicated statistical difference between treatments ( $p < 0,05$ , test DMS).\*:  $p < 0,05$ ; \*\*:  $p < 0,01$ ; ns: non-significant.

agregados < 1 mm, el contenido de CHs disminuyó en profundidad excepto en LC posiblemente debido a la labranza que igualó las cantidades de CH en ambas profundidades, de tal forma los niveles de CHs no difirieron entre SD y LC.

### Carbohidratos totales y solubles en agregados tamizados en húmedo

Al analizar los CHt en húmedo (Tabla 8) se observó que no hubo diferencias significativas en ningún tamaño de agregados ni en las profundidades estudiadas.

Los CHs en 0-5 cm, presentaron la misma tendencia observada en los agregados tamizados en seco, en todas las categorías de agregados el tratamiento Nat tiene mayor contenido de CHs, no obstante SD y LC no presentaron diferencias entre sí en ninguna de las fracciones.

La ausencia de diferencias entre tratamientos en las categorías 8 a 4,8 mm y menor de 1 mm sería producida por el tamizado en agua del suelo que produciría una homogenización de los distintos tamaños de agregados, un proceso similar fue descrito por Elmholt *et al.* (2008). En 5-10 cm en todos los tamaños de agregados > 1 mm el tratamiento SD presentó mayor contenido de CHs tamizados en agua.

### CONCLUSIONES

La estabilidad de agregados en 0-5 cm superficiales permitió separar mejor los manejos estudiados que en 5-10 cm. La distribución de tamaños de agregados en seco fue afectada por la intensidad de disturbio, cuando esta fue mayor, disminuyeron los agregados > 2,8 mm y aumentaron los < 1 mm. Este último tamaño de agregados fue el más sensible para diferenciar el efecto del manejo, siguiendo el mismo patrón que la EA. Por ello, se la podría utilizar como un parámetro simple de obtener para inferir la EA.

El COT y sus fracciones COPg, COPf y COM mostraron el mismo comportamiento que la EA en superficie. La cantidad de carbono en los agregados mayores a 2,8 mm en el estrato 0-5 cm fueron los que mejor se asociaron a la EA, a través del CDMP, y al índice de EA.

Los CHs en los diferentes tamaños de agregados en seco fueron mayores en el natural en relación a los tratamientos cultivados. Los CHs estuvieron asociados al tamaño de agregados y presentaron el mismo comportamiento que la EA en los agregados mayores a 2,8 mm y los menores de 1 mm.

Del estudio de las fracciones de agregados producto del tamizado en seco y los agentes cementantes en ambas profundidades se puede concluir que la EA está relacionada a la fracción menor de 1 mm, la que resultó sensible al sistema de manejo.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ing. Cristian Kleine y a la regional Bahía Blanca AAPRESID por apoyar la realización del ensayo.

### BIBLIOGRAFÍA

- Amezketta E. 1999. Soil aggregate stability: a review. *J. Sustain. Agr.* 14(2-3): 83-151.
- Angers DA & GR Mehuys. 1989. Effects of cropping on carbohydrate content and water-stable aggregation of a clay soil. *Can. J. Soil Sci.* 69: 373-380.
- Angers DA; N Bissonnette; A Légère & N Samson. 1993. Microbial and biochemical changes induced by rotation and tillage in a soil under barley production. *Can. J. Soil Sci.* 73 (1): 39-50.
- Aparicio V & JL Costa. 2007. Soil quality indicators cropping systems in Argentinean Pampas. *Soil Till. Res.* 96: 155-165.
- Barto EK; F Alt; Y Oelmann; W Wilcke & MC Rillig. 2010. Contributions of biotic and abiotic factors to soil aggregation across a land use gradient. *Soil Biol. Biochem.* 42: 2316-2324.
- Benbi DK; AK Boparai & K Brar. 2014. Decomposition of particulate organic matter is more sensitive to temperature than the mineral associated organic matter. *Soil Biol. Biochem.* 70: 183-192.
- Bongiovani MD & JC Lobartini. 2006. Particulate organic matter, carbohydrate, humic acid contents in soil macro- and micro-aggregates as affected by cultivation. *Geoderma* 136: 660-665.
- Borie F; R Rubio; JL Rouanet; A Morales; G Borie & C Rojas. 2006. Effects of tillage systems on soil characteristics, glomalin and mycorrhizal propagules in a Chilean Ultisol. *Soil Till. Res.* 88(1): 253-261.
- Bronick CJ & R Lal. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124(1): 3-22.
- Cambardella CA & ET Elliott. 1992. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 777-783.
- Campitelli P; A Aoki; O Gaudelj; A Rubenacker & R Sueno. 2010. Selección de indicadores de calidad de suelos para determinar los efectos del uso y prácticas agrícolas en un área piloto de la Región Central de Córdoba. *Ciencia del Suelo* 28(2): 223-231.
- Colazo JC; P Blanco; A Becker; P Bouza; H Del Valle; C Quintero; G Boschetti; J De Dios Herrero; M Osterrieth; MF Alvarez; N Borelli & D Buschiazzo. 2006. Estabilidad estructural en suelos de la Argentina. XX CACS, Salta-Jujuy, Argentina, En CD.
- Cook BD; DL Allan. 1992. Dissolved organic matter in old field soils: total amounts as a measure of available resources for soil mineralization. *Soil Biol. Biochem.* (24): 585-594.

- Cook, N & WH Hendershot. 1996. The problem of establishing ecologically based soil quality criteria: The case of lead. *Can J. Soil Sci.* 76 (3): 335-342.
- Daraghmeh OA; JR Jensen & CT Petersen. 2009. Soil structure stability under conventional and reduced tillage in a sandy loam. *Geoderma* (150): 64-71.
- De Leenheer L & M De Boedt. 1958. Determination of aggregate stability by change in mean weight diameter, *In: Proc. Int. Symp. on soil structure*, Medelinger, Van de Landbowhoge School, Gent, *Belgie* 24: 290-300.
- Degens BP. 1997. Macro-aggregation of soils by biological bonding and binding mechanisms and the factors affecting these: A review. *Aust. J. Soil Res.* 35: 431-460.
- Degens BP; Sparling GP & LK Abbott. 1994. The contribution from hyphae, roots and organic C involved in the macro-aggregation of a sandy loam soil under long-term clover-based or grass pastures. *Eur. J. Soil Sci.* 45: 459-468.
- Denef, K; J Six; H Bossuyt; SD Frey; ET Elliott; R Merckx & K Paustian. 2001. Influence of dry-wet cycles on the interrelationship between aggregate, particulate organic matter, and microbial community dynamics. *Soil. Biol. Biochem.* 33: 1599-1611.
- Di Rienzo JA; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo, InfoStat versión 2013, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, URL <http://www.infostat.com.ar>.
- Dubois M; KA Gilles; JK Hamilton; PA Rebers & F Smith. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal of Chemistry* 28: 350-356.
- Duval ME. 2015. Contenido y dinámica de las fracciones orgánicas como indicadores de calidad de suelos bajo diferentes manejos en siembra directa. Tesis doctoral. UNS. (Bahía Blanca, Argentina).
- Duval ME; E de Sa Pereira; JO Iglesias & JA Galantini. 2014. Efecto de uso y manejo del suelo sobre las fracciones de carbono orgánico en un Argiudol. *Ciencia del Suelo* 32(1): 105-115.
- Duval ME; JA Galantini; JO Iglesias; S Canelo; JM Martinez & L Wall. 2013. Analysis of organic fractions as indicators of soil quality under natural and cultivated systems. *Soil Till. Res.* 131: 11-19.
- Duval ME; JM Martinez; J Iglesias; JA Galantini & L Wall. 2015. Secuencia de cultivos y su efecto sobre las fracciones orgánicas del suelo. *En: Sá Pereira, E, Minoldo, G, Galantini, J, Impacto de los sistemas actuales de cultivo sobre las propiedades químicas del suelo y sus efectos sobre los balances de carbono*, Ediciones INTA, ebook, Cnel. Suárez, Argentina 51-55 pp.
- Echeverría N; G Blanco; JC Silenzi; AG Vallejos; R Jersonsk & M De Lucia. 2008. Efecto del uso y manejo sobre la degradación física de un Hapludol éntico. XXI AACCS, San Luis. En CD.
- Echeverría N; S Querejazu; M De Lucia; JC Silenzi; H Forjan & M Manso. 2015. Estabilidad y carbono orgánico de agregados bajo rotaciones en siembra directa, *En: Sá Pereira, E, Minoldo, G, Galantini, J, Impacto de los sistemas actuales de cultivo sobre las propiedades químicas del suelo y sus efectos sobre los balances de carbono*, Ediciones INTA, ebook, Cnel. Suárez, Argentina 56-61 pp.
- Edwards AP & JM Bremner 1967. Microaggregates in soils. *J. Soil Sci.* 18(1): 64-73.
- Elliott ET. 1986. Aggregate structure and carbon, nitrogen and phosphorus in native and cultivated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 627-633.
- Elmholt S; P Schjøning; LJ Munkholm & K Debosz. 2008. Soil management effects on aggregate stability and biological binding. *Geoderma* 144: 455-467.
- Fedoroff, N. 1987. The Production Potential of Soils: Part I—Sensitivity of Principal Soil Types to the Intensive Agriculture of North-Western Europe. *In: Scientific basis for soil protection in the European Community* (pp. 65-85). Springer Netherlands.
- Ferreras L; G Magra; P Besson; E Kovalavski & F Garcia. 2007. Indicadores de calidad física en suelos de la Región Pampeana norte Argentina bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo* 25(2): 159-172.
- Fogel R. 1985. Roots as primary producers in below-ground ecosystems. *In: Fitter, AH; D Atkinson; DJ Read & MB Usher (eds). Ecological Interactions in Soil: Plants, Microbes and Animals.* Blackwell Scientific Publications, Oxford., 23-36.
- Franzluebbers AJ. 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil Till. Res.* 66 (2): 95-106.
- Galantini JA & RA Rosell. 1997. Organic fractions, N, P and S changes in an Argentine semiarid Haplustoll under different crop sequences. *Soil Till. Res.* 43(3): 221-228.
- Galantini JA. 2005. Separación y análisis de las fracciones orgánicas, *En: Marban L & S, Ratto (eds). Manual «Tecnología en Análisis de Suelos: Alcances a laboratorios agropecuarios» AACCS, Capítulo IV parte 2, 103-114.*
- Galantini JA; JO Iglesias; C Maneiro; L Santiago & C Kleine. 2006. Sistemas de labranza en el sudoeste bonaerense, Efectos de largo plazo sobre las fracciones orgánicas y el espacio poroso del suelo. *Rev. Inv. Agro. (RIA)-INTA*, 35: 15-30.
- Galantini JA; M Duval; JO Iglesias & H Krüger. 2014. Continuous wheat in semiarid regions: long-term effects on stock and quality of soil organic carbon. *Soil Sci.* 179, 284-292.
- Giubergia JP; M Basanta; I Garino & E Lovera. 2010. Estabilidad estructural de un Haplustol éntico con diferentes labranzas y secuencias de cultivos, *XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*, Rosario, Argentina, En CD.
- Golchin A; JA Baldock & JM Oades. 1997. A model linking organic carbon decomposition, chemistry, and aggregate dynamics, *In: Lal R, JM Kimble, RF Follet & BA Stewart (eds). Soil processes and the carbon cycle.* Ch 17: 245-266 pp (CRC Press: Boca Raton, FL).
- Golchin A; JM Oades; JO Skjemstad & P Clarke. 1995b. Structural and dynamic properties of soil organic carbon as reflected by <sup>13</sup>C natural abundance, pyrolysis mass spectrometry and solid state <sup>13</sup>C-NMR spectroscopy in density fractions of an Oxisol under forest and pasture, *Aust. J. Soil Res.* 33: 59-76.
- Golchin A; P Clarke; JM Oades & JO Skjemstad. 1995a. The effects of cultivation on the composition of organic carbon and structural stability of soils. *Aust. J. Soil Res.* 33: 975-993.
- Haynes RJ & GS Francis. 1993. Changes in microbial biomass C, soil carbohydrate composition and aggregate stability induced by growth of selected crop and forage species under field conditions. *J. Soil Sci.* 44: 665-675.
- Haynes RJ & MH Beare. 1996. Aggregation and organic matter storage in mesothermal, humid soils, *In: Carter, MR & BA Stewart (eds). Structure and organic matter storage in agricultural soils.* CRC Press, Boca Raton, FL, USA. 213-262.
- Haynes RJ & MH Beare. 1997. Influence of six crop species on aggregate stability and some labile organic matter fractions. *Soil Biol. Biochem.* 29: 1647-1653.

- Haynes RJ & RS Swift. 1990. Stability of soil aggregates in relation to organic constituents and soil water content. *J. Soil Sci.* 41: 73-83.
- Haynes RJ & RS Swift. 1991. Concentrations of extractable Cu, Zn, Fe and Mn in a group of soils as influenced by air- and oven-drying and rewetting. *Geoderma* 49: 319-333.
- Jastrow JD & RM Miller. 1997. Soil aggregate stabilization and carbon sequestration: Feedbacks through organo-mineral associations, *In: Lal R, JM Kimble, RF Follett, BA Stewart (eds)*. Soil processes and the carbon cycle. CRC Press: Boca Raton. FL. USA. Ch, 15: 207-223.
- Kasper M; GD Buchan; A Mentler & WEH Blum. 2009. Influence of soil tillage systems on aggregate stability and the distribution of C and N in different aggregate fractions. *Soil Till. Res.* 105: 192-199.
- Kay BD. 1998. Soil structure and organic carbon: a review, *In: Lal R, JM Kimble, RF Follett & BA Stewart. (eds)*. Soil Processes and the Carbon Cycle. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. Vol 198, 169-197.
- Kleine C & A Puricelli. 2001. Comparación de los rendimientos y algunos parámetros químicos luego de varios años bajo LC y SD en el sudoeste de Buenos Aires. *Informaciones Agronómicas INPOFOS* 12: 15-19.
- Lal R. 2010. Enhancing eco-efficiency in agro-ecosystems through soil carbon sequestration. *Crop Sci.* 50: 120-131.
- Leirós, MC; C Trasar-Cepeda; F García-Fernández & F Gil-Sotres. 1999. Defining the validity of a biochemical index of soil quality. *Biol. Fert. Soils* 30; 140-146.
- Orellana J & MPilatti. 1994. La estabilidad de agregados como indicador edáfico de sostenibilidad. *Ciencia del Suelo* 12: 75-80.
- Pagliai M; M Raglione; T Panini; M Maletta & M La Marca. 1995. The soil structure after ten years of conventional and minimum tillage of two Italian soils. *Soil Till. Res.* 34: 209-223.
- Pajares S; JF Gallardo; G Masciandaro; B Ceccanti; S Marinari & JD Etchevers. 2009. Biochemical indicators of carbon dynamic in an Acrisol cultivated under different management practices in the central Mexican highlands. *Soil Till. Res.* 105: 156-163.
- Perfect E; BD Kay; WKP Vanloon; RW Sheared & T Pojasok. 1990. Rates of change in soil structural stability under forages and corn. *Soil Sci. Am. J.* 54: 179-186.
- Prescott CE; GF Weetman; LE De Montigny; CM Preston & RJ Keenan. 1995. Carbon chemistry and nutrient supply in cedar-hemlock and hemlock-amabilis fir forest floors, *In: McFee, W.W. & Kelley, J.M. (eds)*. Carbon Forms and Functions in Forest Soils, *Soil Sci. Soc. Am.*, Madison, WI. USA. 377-396.
- Puget P; DA Angers & C Chenu. 1999. Nature of carbohydrates associated with water-stable aggregates of two cultivated soils. *Soil Biology and Biochemistry* 31: 55-63.
- Roldán MF; GA Studdert; C Videla; S San Martino & L Picone. 2014. Distribución de tamaño y estabilidad de agregados en molisoles bajo labranzas contrastantes. *Ciencia del Suelo* 32(2): 247-257.
- Sanchez-Marañón, M; M Soriano; G Delgado & R Delgado. 2002. Soil quality in Mediterranean mountain environments: effects of land use change. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 948-958.
- Santanatoglia OJ & N Fernández. 1982. Modificación del método de De Boodt y De Leenheer para el análisis de la distribución de agregados y efecto del tipo de embalaje y acondicionamiento de la muestra sobre la estabilidad estructural. *RIA Rev. Inv. Agro.* 17(1): 23-31.
- Santos D; SLS Murphy; H Taubner; AJM Smucker & R Horn. 1997. Uniform separation of concentric surface layers from soil aggregates. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 720-724.
- Sanzano G; R Corbella; J García & G Fadda. 2005. Degradación física y química de un Haplustol Típico bajo distintos sistemas de manejos del suelo. *Ciencia del Suelo* 23: 93-100.
- Shaver TM; GA Peterson; LR Ahuja; DG Westfall; LA Sherrod & G Dunn. 2002. Surface soil physical properties after twelve years of dryland no-till management. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66(4): 1296-1303.
- Shepherd TG; S Saggari; RH Newman; CW Ross & JL Dando. (2001). Tillage-induced changes to soil structure and organic carbon fractions in New Zealand soils. *Soil Res.* 39(3): 465-489.
- Shu X; A Zhu; J Zhang; W Yang; X Xin & X Zhang. 2015. Changes in soil organic carbon and aggregates stability after conversion to conservation tillage for seven years in the Huang-Huai-Hai of china. *J. Int. Agr.* 14(6): 1202-1211.
- Six J; K Paustian; E Elliott & C Combrink. 2000. Soil structure and organic matter: I, Distribution of aggregate-size classes and aggregate associated carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 681-689.
- Spaccini R; A Zena; CA Igwe; JSC Mbagwu & A Piccolo. 2001. Carbohydrates in water-stable aggregates and particle size fractions of forested and cultivated soils in two contrasting tropical ecosystems. *Biogeochemistry* 53(1): 1-22.
- Tisdal JM & JM Oades. 1980. The management of ryegrass to stabilize aggregates of a red-brown earth. *Austr. J. Soil Res.* 18: 415-422.
- Tisdal JM & JM Oades. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33: 141-163.
- Tisdal JM. 1996. Formation of soil aggregates and accumulation of soil organic matter, *In: Carter, MR & BA Stewart (eds)*. Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils, CRC Press, Boca Raton, FL. USA. 57-96 pp.
- Toledo DM; JA Galantini; E Ferreccio; S Arzuaga; L Gimenez & S Vázquez. 2013. Indicadores e índices de calidad en suelos rojos bajo sistemas naturales y cultivados. *Ciencia del Suelo* 31(2): 201-212.
- Vallejos AG; JC Silenzi; NE Echeverría, & M De Lucía. 2012. Utilización de cáscaras de girasol (*Helianthus annuus* L.) como enmienda orgánica y sus efectos sobre propiedades del suelo. *Agro-Ciencia, Chilean J. Agric. Anim. Sci.* 28(2): 117-126.
- Willson, TC; EA Paul & RR Harwood. 2001. Biologically active soil organic matter fractions in sustainable cropping systems. *Applied Soil Ecology* 16(1); 63-76.
- Wright A; F Hons & J Marocha. 2005. Tillage impacts on microbial biomass and soil carbon and nitrogen dynamics of corn and cotton rotations. *Applied Soil Ecology* 29(1): 85-92.
- Zhang B & R Horn. 2001. Mechanisms of aggregate stabilization in Ultisols from subtropical China. *Geoderma* 99(1): 123-145.

