

**PID 2121
PICTO-UNER 30676**

Impacto de la intensificación en el uso del suelo en molisoles y vertisoles de la zona agrícola de Entre Ríos

Novelli, L.E.; Caviglia, O.P.; Melchiori, R.J.; Wilson, M.; Quintero, C.E.; Sasal, M.C.; Boschetti, N.G.; Zamero, M.

Autores: Área *Ciencias del Suelo*, Facultad de Ciencias Agropecuarias, UNER

Contacto: caviglia.octavio@inta.gob.ar

Resumen

La región pampeana ha atravesado en los últimos años un proceso de simplificación de sus sistemas agrícolas caracterizado por una alta frecuencia del cultivo de soja y una marcada reducción de cultivos invernales. La persistencia y/o profundización de esta situación en el tiempo plantea serios interrogantes tanto sobre la sustentabilidad del sistema como sobre su eficiencia productiva. El objetivo general de este proyecto fue evaluar el impacto del aumento de la proporción de soja en las secuencias de cultivos y de otras secuencias agrícolas y agrícola-ganaderas sobre el stock de Carbono orgánico del suelo (COS), en diferentes fracciones de agregados de suelos Molisoles y Vertisoles de la región agrícola de Entre Ríos. Los resultados obtenidos demuestran que la frecuencia de soja en las secuencias tuvo un impacto más importante sobre stock de Carbono y los mecanismos de agregación en suelos Molisoles que en los Vertisoles. Por otra parte, aquellas secuencias que mantuvieron un mayor periodo de ocupación con cobertura vegetal viva favorecieron una mayor agregación del suelo, principalmente en el Molisol. A pesar de la mayor resistencia intrínseca de los Vertisoles se encontró una reducción significativa del COS almacenado en los grandes macroagregados con una elevada frecuencia de soja en las secuencias de cultivos.

Palabras clave: Soja, Molisoles, Vertisoles, Agregación, Carbono orgánico, Sustentabilidad

I. Introducción

La superficie agrícola en Entre Ríos se ha incrementado notoriamente en los últimos 15 años. Este proceso no ha sido similar para todos los cultivos agrícolas; la proporción de soja en la composición del área sembrada provincial se incrementó desde un 7.5% en el decenio 1984/94 hasta un 65% en la campaña agrícola 2009/10 (estimaciones realizadas en base datos de la SAGPyA).

El cambio en las condiciones macroeconómicas y el bajo requerimiento de insumos para la producción han sido los factores claves conductores del proceso de incremento de la frecuencia de soja en tierras tradicionalmente agrícolas. La gran adaptación del cultivo a diferentes condiciones fue determinante del desplazamiento de las fronteras agrícolas hacia otros ambientes de menor aptitud.

El incremento en la proporción de soja en las secuencias de cultivos y el avance de la agricultura sobre zonas de mayor fragilidad ambiental, sumado a la gran susceptibilidad a la erosión hídrica, por las características topográficas y el alto contenido de arcilla de los suelos entrerrianos, ponen en grave riesgo la sustentabilidad del sistema. Este proceso puede derivar en la degradación de los suelos, a través de una reducción en el stock de Carbono orgánico del suelo (COS) y

alteraciones de las propiedades físicas, las que están directamente vinculadas con la funcionalidad del suelo y la productividad del sistema.

El objetivo general de este proyecto fue evaluar el impacto del aumento de la proporción de soja en las secuencias de cultivos y de otras secuencias agrícolas y agrícola-ganaderas sobre el stock de Carbono (C), en diferentes fracciones de agregados de suelos Molisoles y Vertisoles de la región agrícola de Entre Ríos.

II. Antecedentes

En numerosos trabajos se han evaluado distintas características del suelo como indicadores de la calidad de los mismos o como índices para evaluar el efecto de diferentes prácticas agrícolas. Sin embargo, en la mayoría de los casos la concentración de COS y la estabilidad de agregados han sobresalido sobre el resto como claros indicadores sensibles a los cambios.

II.1. Carbono orgánico, propiedades del suelo y la productividad del sistema

El COS es considerado un indicador de la salud del suelo y ha sido incluida como el principal componente para la elaboración de índices de calidad del suelo (Doran y Parkin, 1994; Herrick y Wander, 1998; Seybold *et al.*, 1998; Monreal *et al.*, 1998; Havlin *et al.*, 1990). Este interactúa con numerosos componentes del suelo, entre ellos la formación de agregados, la densidad aparente, reacción del suelo, capacidad buffer, capacidad de intercambio catiónico, adsorción de pesticidas, color, infiltración, aeración y la actividad de los organismos del suelo (Seybold *et al.*, 1998). Todos estos componentes están, directa o indirectamente, relacionados con procesos fundamentales para la productividad del sistema, tales como el ciclado de nutrientes, la retención de agua, el crecimiento de las raíces y la calidad del ambiente.

El COS es una de las propiedades del suelo que más se modifica por las prácticas de manejo, en especial por la composición de la secuencia de cultivos. Los cultivos agrícolas disminuyen el contenido de COS en el suelo en comparación con situaciones inalteradas, especialmente si los cultivos se realizan bajo labranza convencional (Studdert *et al.*, 1997; Studdert y Echeverría, 2000). El contenido de COS actual es el resultado del balance entre los aportes al suelo y las pérdidas por descomposición. El aporte de carbono a través de los residuos de cultivos, considerado el factor más importante en la dinámica de la COS (Havlin *et al.*, 1990), puede ser manejado a través de la selección de los cultivos que participan en la rotación y el manejo agronómico para incrementar la producción de biomasa (riego, fertilización, arreglos de siembra, etc) (Whitman y Meyer, 1990; Studdert y Echeverría, 2000, Caviglia y Sadras, 2001; Caviglia y Andrade, 2010; Caviglia *et al.*, 2011), mientras que la tasa de descomposición puede manipularse a través de la calidad de los residuos que se aportan y especialmente por el sistema de labranza utilizado.

La inclusión frecuente en la rotación de cultivos de baja producción de biomasa, como la soja y el girasol, produce disminuciones importantes en los aportes de residuos, tal como se documentó en un experimento de larga duración conducido en Balcarce (Studdert y Echeverría, 2000).

La calidad de los rastrojos aportados se encuentra estrechamente relacionada con la dinámica del COS (Stevenson, 1986; Varvel, 1994). Las mayores caídas en el contenido de COS, cuando se incluyen en las secuencias de cultivos a aquellos con baja relación C:N como la soja (Wright y Hons, 2004), podrían deberse a un efecto "priming" (Stevenson, 1986) que se da cuando se incorporan residuos que fomentan una mayor mineralización del COS nativo (Sisty *et al.*, 2004).

Los sistemas de cultivos intensificados (más cultivos por unidad de tiempo, Caviglia *et al.*, 2004) pueden incrementar los contenidos de COS del suelo (Wood *et al.*, 1991; Bordovsky *et al.*, 1999) sólo si los aportes de residuos son mayores que en otras secuencias y si la tasa de oxidación del COS es menor. Esto último puede modificarse por diferente ubicación estacional de las labranzas, por reducción de las mismas y por la calidad de los residuos aportados. Los aumentos en el contenido de COS en los sistemas intensificados parecen explicarse por el incremento en los aportes de residuos, por ejemplo la intensificación del sistema junto con el uso de siembra directa mejoró los niveles de COS en las grandes planicies de los EE.UU (Havlin *et al.*, 1999). Estos resultados coinciden con los encontrados en experiencias de simulación con el modelo Century (Monreal *et al.*, 1998; Paustian *et al.*, 1998), en los que el uso de trigo continuo versus la secuencia trigo-barbecho produjo un incremento del contenido de COS.

La siembra directa (SD) se encuentra íntimamente asociada a las alternativas de intensificación en la región pampeana argentina, si bien brinda beneficios desde el punto de vista de la conservación del suelo y el agua, su adopción se ha atribuido a la reducción de costos de combustibles, labores, equipamientos y mano de obra (Smith *et al.*, 1987). Los sistemas de labranza

reducida, en especial la SD, han demostrado ser promisorios en incrementar las concentraciones de COS sobre todo en la capa superficial del suelo (Rothon, 2000; Havlin *et al.*, 1990; Kern y Jonson, 1993; Mikha y Rice, 2004; Wright y Hons, 2005) como resultado de un retorno incrementado de residuos, menor mezcla y disturbios en el suelo, mayor contenido de humedad, menor temperatura, mayor proliferación de raíces y de actividad biológica y los menores riesgos de erosión (Blevins y Frye, 1993). Las labranzas en general afectan la dinámica del COS por: (1) incrementar la descomposición y mineralización de la biomasa debido al incremento en la aeración y la mezcla de los residuos con el suelo; (2) exponer el COS previamente protegido a los microorganismos del suelo e (3) incrementar las pérdidas por erosión (Bajracharya *et al.*, 1998).

II.2. El COS y la estabilidad estructural del suelo

Una estructura del suelo que presente una adecuada distribución de poros, garantiza la entrada de agua y aire, su circulación, almacenamiento y redistribución entre los horizontes y además, un óptimo aprovechamiento de los nutrientes. Sin embargo, el uso y manejo agrícola provoca modificaciones en la estructura natural del suelo, que a largo plazo puede condicionar su productividad.

La estabilidad estructural se refiere a la capacidad del suelo para mantener la arquitectura de la fase sólida y la organización del espacio poroso cuando es expuesto a diferentes tipos de estrés (Kay, 1990). A escala textural existe una dependencia entre la resistencia a la tracción, la organización de las partículas elementales y la constitución del suelo (Paz y Guérif, 1993). Asimismo, la pérdida de materia orgánica se traduce en la inestabilidad de los agregados y macroporos del suelo (Hénin *et al.*, 1972; Benito y Díaz Fierros, 1992; Orellana y Pilatti, 1994; Paz González, 2002). Además de la pérdida de MO existen otros mecanismos involucrados en la reducción de la estabilidad estructural, tal como sugiere Le Bissonnais (1996).

La estabilidad estructural es un atributo sensible que puede indicar tendencias a la recuperación o degradación por ser de carácter dinámico (Doran y Parkin, 1994). Orellana y Pilatti (1994), consideran a la estabilidad estructural como un componente importante de la calidad del suelo, dado que sus valores son resultantes de la calidad de los poros, el aporte orgánico y la actividad biológica. Para Vázquez *et al.* (1990) la estabilidad estructural fue el indicador más sensible en función del uso del suelo, trabajando con Molisoles de Buenos Aires.

En estudios realizados en diferentes regiones agrícolas del país y utilizando diferentes métodos de determinación, Pecorari (1988); Vázquez *et al.* (1990); Carlevaro *et al.* (1991); Orellana y Pilatti (1994), destacaron a la estabilidad estructural como variable afectada por el uso en función de la agricultura practicada y del número de años, que depende a su vez de cada tipo de suelo.

Los suelos vertisólicos de Entre Ríos, presentan alta estabilidad estructural en condiciones naturales, debido al aporte proporcionado por las elevadas cantidades de sus arcillas esmectitas (Wilson y Cerana, 2004), al alto contenido de Ca intercambiable (Conti, 2004) y de materia orgánica. Sin embargo, estos suelos pueden ser muy sensibles y podrían magnificar los síntomas de deterioro cuando son puestos en producción (So y Cook, 1993; Potter y Gerik, 2001).

Arias y De Battista (1984) hallaron que el uso agrícola continuo de Vertisoles de Entre Ríos mostró una marcada degradación de los agregados respecto a los suelos bajo pradera o campo natural. Wilson *et al.* (2000) evaluaron atributos físicos, químicos y biológicos del suelo e identificaron los más sensibles a los cambios ocasionados por el uso y manejo en suelos vertisólicos sobre rotación agrícola-ganadera, resultando el COS y la estabilidad de agregados las variables más apropiadas para ser utilizadas como indicadores de calidad y sostenibilidad.

II.3. La agregación como mecanismo de captura de carbono

La agregación, es un proceso por el cual las partículas de suelo son unidas a través de diferentes materiales orgánicos e inorgánicos (Amezketá, 1999). Es un proceso dinámico, que resulta de la interacción de muchos factores incluyendo climáticos, de manejo, tipo de vegetal presente, textura del suelo, procesos pedogenéticos, actividad microbiana, presencia de iones intercambiables, etc. (Kay, 1998).

Existen distintas teorías y modelos de agregación. Algunos sugieren que los macroagregados surgen de la unión de microagregados, los cuales presentan mayor resistencia a las prácticas agrícolas que los macroagregados debido a su fuerte unión (Edward y Bremner, 1967). Otros indican que los agregados se unen en distintos estados a través de agentes de unión orgánicos transitorios (polisacáridos microbianos y vegetales), temporarios (raíces e hifas de hongos), y persistentes (materiales aromáticos asociados con cationes de metales polivalentes) (Tisdall y Oades, 1982).

Alternativamente se ha sugerido que los macroagregados pueden formarse alrededor de materia orgánica particulada, proceso que permite protegerla del ataque microbiano al quedar ocluida dentro de los agregados de suelo (Beare *et al.*, 1994b).

La agregación del suelo es un mecanismo que incrementa el almacenaje de COS (Tisdall y Oades, 1982; Six *et al.*, 2004), debido a la protección física dentro de los agregados (Beare *et al.*, 1994b; Balesdent *et al.*, 2000). No obstante, la protección del COS puede cambiar en suelos que difieren en los agentes que estabilizan los agregados (Bronick y Lal, 2005a, 2005b; Deneff y Six, 2005; Fabrizzi *et al.*, 2009).

Se ha sugerido que en suelos dominados por arcillas de tipo 2:1, la materia orgánica es el mejor agente de unión de agregados debido a que los complejos materia orgánica-metales polivalentes forman puentes entre las cargas negativas de las arcillas 2:1 (Six *et al.*, 2000). Sin embargo, en suelos dominados por arcillas 1:1, la estabilidad del suelo es inducida por la capacidad de unión de los óxidos y los minerales 1:1 (Oades y Water, 1991).

Estudios previos han demostrado que la arcilla y el COS interactúan en el suelo para formar complejos y microagregados que protegen el COS de la degradación (Hassink y Whitmore, 1997) y que un incremento en el contenido de limo más arcilla en el suelo mejora el stock de COS (Hassink y Whitmore, 1997; Plante *et al.*, 2006).

En suelos del Orden Molisol, el COS es considerado uno de los principales agentes que estabilizan agregados de suelos (Fabrizzi *et al.*, 2009), mientras que en Oxisoles, la acción del óxidos de hierro y aluminio son responsables de la mayoría de la estabilidad de los agregados (Dalal y Bridge, 1996; Oades, 1993; Fabrizzi *et al.*, 2009). Por otra parte, en los Vertisoles, la estabilidad de agregados puede ser principalmente atribuida al elevado contenido de arcillas, principalmente del tipo de las esmectitas, el cual protege el COS (Stephan *et al.*, 1983; Novelli *et al.*, 2011, 2013). En adición, la capacidad de contracción y expansión propia de los Vertisoles ha sido sugerida como una propiedad que facilita el restablecimiento de la estructura suelo (Pillai y McGarry, 1999). Esto sugiere que las características mineralógicas pueden influenciar la estabilidad de la estructura y el almacenaje de COS, y que el impacto de la intensificación de las secuencias de cultivos puede ser muy diferente entre suelos que difieren en textura, mineralogía y estado orgánico.

Mientras que existen numerosos estudios que han evaluado el efecto de las prácticas de labranza sobre el almacenaje de COS y la distribución de agregados (Mikha y Rice, 2004; Wright y Hons, 2004, 2005; Fabrizzi *et al.*, 2009; López-Fando y Pardo, 2011), existe poca evidencia del impacto de la intensificación de las secuencias de cultivos sobre la consolidación de la estructura y el almacenaje de COS en agregados de suelos contrastantes. En comparación con los Molisoles, los Vertisoles han recibido una menor atención y surgen interrogantes si una mayor frecuencia de adición de residuos debido a la intensificación de las secuencias de cultivos permitiría incrementar la agregación y el almacenaje de COS. Un aporte más frecuente de residuos de cosecha podría contribuir a la estabilización de los agregados de suelo lo que permitiría reducir el reciclado de agregados al mantener la actividad biológica continua.

Es ampliamente conocido que la estabilidad de agregados puede ser incrementada por la adición de materia orgánica al suelo debido a la estimulación de la actividad microbiana. Esto puede deberse a la acción de hifas de hongos que permiten unir partículas de suelos (Degens *et al.*, 1996), al incremento en la repelencia entre agregados por la producción de sustancias hidrofóbicas (Hallett y Young, 1999), y a los polisacáridos extracelulares exudados por bacterias y hongos que pueden unir las partículas de suelo e incrementar su cohesión (Chenu y Guérif, 1991). Debido a que la intensificación de las secuencias de cultivos lograría aportes de residuos más frecuentes, la actividad microbiana podría mantener una elevada actividad en el suelo.

La estabilidad de la estructura del suelo, *i.e.* la habilidad del suelo para mantener su arreglo cuando se expone a un estrés (Anger y Carter, 1996), es la característica más deseable para sostener la productividad agrícola y preservar la calidad ambiental (Amezketá, 1999). Diferentes metodologías han sido desarrolladas para evaluar la estabilidad estructural debido a diversas razones: 1) existen distintos mecanismos que producen desestabilización del suelo, 2) por el tipo de escala a la cual puede ser determinada, y 3) por razones metodológicas (Amezketá, 1999).

Debido a que el proceso de agregación es dinámico e interactúan diferentes agentes de agregación (orgánicos e inorgánicos) durante su formación y estabilización, se hace dificultosa su discriminación (Amezketá, 1999). Sin embargo, se ha podido reproducir con éxito en laboratorio alguno de los mecanismos de desagregación que se producen en el suelo: la disgregación por compresión del aire ocluido que origina ruptura por efecto del estallido, la desagregación mecánica debida al impacto de las gotas de lluvia, la microfisuración por hinchamiento diferencial y la dispersión por procesos físicoquímicos (Le Bissonnais, 1996).

El conocimiento de los procesos involucrados en la consolidación estructural puede ayudar a elaborar estrategias que permitan incrementar la estabilidad de la estructura del suelo y el almacenaje de COS, presentando este último una importancia que excede el nivel de lote, debido a que es una opción viable que puede servir como destino del CO₂ atmosférico, responsable del calentamiento global (Lal, 2004, 2010). El estudio del impacto de la intensificación de las secuencias de cultivos sobre el almacenaje del COS y la agregación, a través del estudio comparativo de suelos contrastantes, puede proveer una valiosa información para alcanzar sistemas de cultivos ecoeficientes (Lal, 2010).

II.4. La evaluación de fracciones del carbono orgánico del suelo

El COS es un componente fundamental debido a su influencia en las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo que definen su productividad y calidad (Doran y Parkin, 1994). Permite incrementar la disponibilidad de nutrientes, reducir la erosión debido a su capacidad de unir partículas de suelo para formar agregados estables, mejora la infiltración, reduce la densidad y ayuda a mantener estable el pH del suelo (Bowman *et al.*, 1999). Sin embargo, debido a la elevada proporción de fracciones del COS de ciclado lento, la medición del C total aporta relativamente poco para el estudio de los efectos en el “corto plazo” de las prácticas agronómicas (Galantini, 2008). Las fracciones más lábiles del COS, sensibles a los efectos de diferentes usos de la tierra, pueden ser utilizadas como indicadores tempranos de la dirección de esos cambios (Six *et al.*, 2002).

Asimismo, la distribución del COS en agregados de suelo de diferentes tamaños (Cambardella y Elliott, 1993) podría ser un mejor indicador de la tendencia de cambios debido a las prácticas agrícolas (Mikha y Rice, 2004), y podría ser útil para detectar efectos de la intensificación de las secuencias de cultivos en el corto plazo. Se ha encontrado que los macroagregados (>2000 µm) y los pequeños macroagregados (250-2000 µm) son más sensibles a los efectos disruptivos de las prácticas asociadas a la agricultura que los microagregados (53-250 µm) (Fabrizzi *et al.*, 2003; Mikha y Rice, 2004). Las características diferenciales de los Molisoles y Vertisoles en cuanto a su composición granulométrica, mineralógica y del estado orgánico sugieren que el impacto de la intensificación sobre el stock de COS será diferente en distintos tamaños de agregados.

La metodología de tamizado en húmedo (Yoder, 1936) se ha utilizado ampliamente para evaluar la estabilidad estructural de los agregados y para separarlos y evaluar el COS asociado a los mismos (Beare *et al.*, 1994a; Wright *et al.*, 2004; Mikha y Rice, 2004). En general, debido a que la dinámica de la formación de agregados influye en la transformación del COS, la calidad de éste estaría asociada al tamaño de agregado en la que se encuentre (Beare *et al.*, 1994b).

Una mayor frecuencia de adición de residuos vegetales por la intensificación de las secuencias de cultivos podría lograr mantener la flora microbiana activa por un mayor periodo de tiempo (principalmente la flora fúngica), produciendo diferentes sustancias cementantes que proporcionarían una mayor estabilidad de la estructura del suelo y un incremento en el secuestro de COS (Six *et al.*, 2006), debido a que disminuiría la velocidad del ciclo de los agregados (formación, estabilización y destrucción) (Six *et al.*, 2004). Este mecanismo podría ser más notorio en suelos Molisoles que en Vertisoles debido a que el ciclo de los agregados es más controlado por agentes bióticos de la estructura.

Si bien los efectos de la cantidad y la calidad de los residuos aportados sobre la estructura y el COS han sido documentados (Peterson *et al.*, 1998; Bowman *et al.*, 1999; Martens, 2000a, 2000b; Wright y Hons, 2004, 2005; López-Fando y Pardo, 2011), no existen evidencias experimentales acerca de la importancia de la frecuencia de adición de residuos (lograda al intensificar las secuencias de cultivos) sobre la consolidación de la estructura y el almacenaje de COS en agregados de suelos con características mineralógicas contrastantes. El conocimiento de esta información resulta de gran utilidad para contribuir al diseño de estrategias productivas en contextos de decisiones de cambios frecuentes en los cultivos de cosecha o de generación de cobertura de suelos y aporta un avance en el conocimiento de los mecanismos de consolidación estructural y los vínculos entre la agregación y la dinámica del C del suelo.

III. Finalidad del proyecto

Contribuir al diseño de secuencias agrícolas sustentables para la región agrícola de Entre Ríos

IV. Hipótesis

1. El incremento de la frecuencia de soja en las secuencias de cultivos reduce el stock de COS en el suelo.
2. La asociación entre el contenido de COS en las fracciones de agregados de diferente tamaño y las propiedades físicas es mayor en los suelos del orden Molisol.
3. Los suelos del orden Vertisol tienen mayor capacidad de acumular C en los microagregados y en el material asociado a la fracción mineral que los suelos del orden Molisol.

V. Objetivos Específicos

Los objetivos planteados, para suelos de los órdenes Molisol y Vertisol sometidos a secuencias agrícolas que difieren en la proporción de soja en los últimos 6 años, fueron:

- a) Cuantificar los niveles de C en diferentes fracciones de tamaños de agregados.
- b) Evaluar el impacto del incremento en la proporción de soja sobre la estabilidad de agregados.
- c) Evaluar las interrelaciones en las propiedades químicas y físicas en las diferentes fracciones de tamaños de agregados.

VI. Metodología

VI.1. Selección de los sitios de muestreo

Se relevaron y seleccionaron de un total aproximado de 60 lotes de producción, al menos 22 lotes sobre un suelo Molisol Serie Tezanos Pinto (Argiudol ácuico) y un Vertisol Serie Santiago (Peluderte árgico) de la provincia de Entre Ríos. De cada lote se recabó la información de las secuencias de cultivos y los rendimientos obtenidos de los últimos 6 años al momento del muestreo. Para la selección de los lotes se tuvo en cuenta que pertenezcan a la misma serie y fase de erosión de suelo, que presenten siembra directa en al menos los últimos 10 años al momento del muestreo, que utilicen similar nivel tecnológico (fertilización, aplicación de herbicidas y pesticidas) y que exploren rangos amplios y similares en cada tipo de suelos de la fuente de variación a utilizar (índice de intensificación o frecuencia de algún cultivo en particular). Además, de cada suelo se identificó una situación inalterada, prístina, para poder compararla con las situaciones agrícolas.

VI.2. Toma de muestras

Se tomaron muestras de suelo sin disturbar por triplicado a 0-5 cm, 5-15 cm y 15-30 cm entre los meses de marzo y octubre luego de la cosecha de los cultivos de verano y antes de la siembra del próximo cultivo estival. Para estandarizar la humedad durante la metodología de muestreo las mismas se obtuvieron lo más cercano posible y posterior a un evento de precipitación. Para la toma de muestras se utilizó pala de punta, eliminando los residuos superficiales y el suelo en contacto con la pala. Además, en cada sector de muestreo se determinó la densidad aparente por el método del cilindro (Porta Casanellas *et al.*, 1999) en dos profundidades (0-5 cm y 5-15 cm). Para minimizar la variabilidad espacial en las propiedades bajo evaluación los sitios de muestreo se ubicaron en una posición del paisaje de loma o media loma alta en cada lote, evitando muestrear zonas con erosión o deposición evidente de suelo, y con distanciamientos aproximados de 50m.

VI.3. Tratamiento de muestras

No más allá de tres días posteriores a la fecha de muestreo se procedió a desterronar las muestras y tamizarlas por 10 mm, teniendo la precaución de que sea realizada siempre por el mismo operario y evitando dejar remanentes de agregados > 10 mm sobre el tamiz. Posteriormente se secaron al aire.

VI.4. Fraccionamiento del suelo

En las muestras de 0-5 cm y 5-15 cm los agregados (100 g) fueron separados por tamizado en húmedo (TH) (Yoder, 1936) en cuatro clases de tamaño: macroagregados (> 2000 μ m), pequeños macroagregados (2000-250 μ m), microagregados (250-53 μ m) y fracción asociada a minerales (< 53 μ m), la cual fue obtenida por diferencia entre la muestra total y la suma de los tres tamaños de agregados superiores (macroagregados, pequeños macroagregados y microagregados). Para minimizar la disrupción de los agregados durante la inmersión en agua, los mismos fueron humedecidos por capilaridad durante 10 minutos y agitados posteriormente 60 veces por un periodo de 2 minutos y con un recorrido vertical de 6 cm antes de comenzar el agitado. La selección del tiempo de agitado es para asegurar una cantidad mínima de macroagregados, de acuerdo a ensayos preliminares. Cada fracción de agregados se secó a 60 °C durante 72 hs antes de registrar el peso.

VI.5. Determinación de la concentración de C

En la muestra total (0-5, 5-15 y 15-30 cm) y en cada tamaño de agregados obtenidos del tamizado en húmedo se determinó la concentración de C por combustión seca utilizando un autoanalizador LECO modelo TRU SPEC.

VI.6. Determinación de la estabilidad de agregados

En las muestras de 0-5 y 5-15 cm de profundidad, una submuestra de los agregados secos al aire <10 mm se tamizaron en seco por 5 minutos y se separaron en seis clases de tamaño (>5 mm, 3 a 5 mm, 2 a 3 mm, 1 a 2 mm, 0,2 a 1mm y <0,2 mm) utilizando un equipo de vibración. Los agregados de suelo entre 3 y 5 mm separados por tamizado en seco, se secaron a 40 °C por 24 h y utilizaron para determinar la estabilidad de agregados por el método de Le Bissonais (1996).

Este método involucra tres pretratamientos (humedecimiento repentino, agitado luego del prehumedecimiento, y humedecimiento lento), los cuales permiten distinguir tres mecanismos de desagregación: estallido, disgregación mecánica y microfisuración (Le Bissonais, 1996; Cosentino *et al.*, 2006).

Se utilizaron 10 g de agregados entre 3 y 5 mm para cada pretratamiento. En el pretratamiento de humedecimiento repentino, los agregados fueron inmersos en agua destilada por 10 minutos; en el pretratamiento de disgregación mecánica los agregados fueron saturados en etanol por 30 minutos y posteriormente transferidos a un Erlenmeyer con agua destilada y agitados 10 veces por medio de giros completos del erlenmeyer. Por otra parte, en el pretratamiento de humedecimiento lento, los agregados se humedecieron por capilaridad en agua destilada por 60 minutos. Los agregados de los distintos pretratamientos fueron tamizados en etanol por 50 μm . Los agregados que quedaron retenidos sobre el tamiz de 50 μm , se secaron a estufa a 40 °C por 48 h, y posteriormente se tamizaron en seco en una columna de 6 tamices (2000 μm , 1000 μm , 500 μm , 200 μm , 100 μm y 50 μm). La suma de la fracción de masa remanente sobre cada tamiz multiplicado por la apertura media de los tamices adyacentes fue utilizada para calcular el diámetro medio ponderado de los agregados para cada pretratamiento (DMP_{hr}: humedecimiento repentino; DMP_{dm}: disgregación mecánica; DMP_{hl}: humedecimiento lento).

De manera similar a lo descrito anteriormente, se calculó el diámetro medio ponderado de los agregados obtenidos del fraccionamiento por tamizado en húmedo (DMP_{TH}) como la suma de la fracción de masa de suelo remanente sobre cada tamiz luego del tamizado, multiplicado por la apertura media de los tamices adyacentes.

VI.7. Cálculos

VI.7.1. Índices de uso de la tierra

Mediante entrevistas con los productores y propietarios de los lotes seleccionados, se recabó información de las rotaciones que presentaron los sitios de muestreos durante un período de 6 años previos al momento de muestreo de suelo. Con dicha información, se calcularon diferentes índices (Tabla 1) basados en: i) número de cultivos por año, el cual fue identificado como IIS (índice de intensificación de las secuencias de cultivos en base anual) (Farahani *et al.*, 1998), ii) número de meses con cobertura vegetal viva en relación al número total de meses (Sasal *et al.*, 2010) en un período de 6 años, el cual fue identificado como IIS_m (índice de intensificación de las secuencias de cultivos en base mensual); iii) el número de meses con soja (ICS), trigo (*Triticum aestivum* L.) (ICT), cereales - incluido maíz (*Zea mays* L.), sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) y trigo (ICC) y pasturas (ICP) en relación al número total de meses en un período de 6 años, y, iv) la frecuencia de un cultivo dado, basado en el número de meses cultivados con soja (FCS, Novelli *et al.*, 2011), trigo (FCT), cereales (FCC) incluidos trigo, maíz y sorgo o pastura (FCP) en relación al número total de meses con cultivos para los 6 años previos al muestreo (Tabla 1).

Para el cálculo de estos índices, se utilizó un promedio anual de uso de la tierra de 6 meses para el maíz y trigo, y 5 meses para soja. En algunos casos, otros cultivos como trébol de olor blanco (*Melilotus albus* Medik), sorgo, o lino (*Linum usitatissimum* L.) estuvieron presentes dentro de las secuencias de cultivos. Para el trébol de olor blanco se utilizó un promedio anual de uso de la tierra de 8 meses, 5 meses para sorgo y 5,5 meses para lino. Para el sitio inalterado (bajo monte nativo) o durante el período con alfalfa (*Medicago sativa* L.) en la rotación agrícola-ganadera, se utilizó un período de uso de la tierra de 12 meses.

Tabla 1. Índices de uso de la tierra para once sitios cultivados y un sitio inalterado, en un Molisol y un Vertisol de Entre Ríos, Argentina

Suelo	Sitios	Índices de uso de la tierra									
		IIS	IIS _m	ICS	ICT	ICC	ICP	FCS	FCT	FCC	FCP
Molisol	1	2	1	0	0	0	1	0	0	0	1
	2	1,83	0,88	0,14	0,17	0,17	0,57	0,16	0,19	0,19	0,65
	3	1,50	0,67	0,14	0,17	0,42	0	0,21	0,25	0,63	0
	4	1,50	0,71	0,21	0,25	0,50	0	0,30	0,35	0,70	0
	5	1,33	0,63	0,21	0,17	0,42	0	0,33	0,27	0,67	0
	6	1,33	0,63	0,21	0,17	0,42	0	0,33	0,27	0,67	0
	7	1,33	0,63	0,21	0,17	0,42	0	0,33	0,27	0,67	0
	8	1,33	0,61	0,28	0,17	0,33	0	0,46	0,28	0,54	0
	9	1,33	0,61	0,28	0,17	0,33	0	0,46	0,28	0,54	0
	10	1,50	0,68	0,35	0,25	0,33	0	0,51	0,37	0,49	0
	11	1,17	0,57	0,32	0,08	0,25	0	0,56	0,14	0,44	0
	12	1,33	0,62	0,38	0,17	0,17	0	0,61	0,27	0,27	0
Vertisol	13	2	1	0	0	0	1	0	0	0	1
	14	2	0,97	0,07	0,08	0,08	0,82	0,07	0,08	0,08	0,84
	15	2	0,96	0,14	0,08	0,08	0,74	0,15	0,08	0,08	0,77
	16	1,33	0,65	0,21	0,17	0,33	0	0,32	0,26	0,51	0
	17	1,67	0,76	0,28	0,33	0,42	0	0,37	0,43	0,55	0
	18	1,5	0,69	0,28	0,25	0,42	0	0,41	0,36	0,61	0
	19	1,33	0,61	0,28	0,17	0,33	0	0,46	0,28	0,54	0
	20	1,67	0,75	0,35	0,25	0,33	0,07	0,47	0,33	0,44	0,09
	21	1,33	0,58	0,28	0,17	0,31	0	0,48	0,29	0,53	0
	22	1,50	0,68	0,35	0,25	0,33	0	0,51	0,37	0,49	0
	23	1,33	0,60	0,35	0,17	0,33	0	0,58	0,28	0,55	0
	24	1,33	0,61	0,36	0,17	0,25	0	0,59	0,28	0,41	0

IIS= índice de intensificación de la secuencia (cultivos por año); IIS_m= índice de intensificación de la secuencia (meses con cultivos en relación a los meses de la secuencia); ICS= índice del cultivo de soja; ICT= índice del cultivo de trigo; ICC= índice de cultivos cereales; ICP= índice de pasturas; FCS= frecuencia del cultivo de soja; FCT= frecuencia del cultivo de trigo; FCC= frecuencia de cultivos cereales; FCP= frecuencia de pasturas. Los índices fueron calculados utilizando la fracción de tiempo anual con cobertura vegetal viva en un período de 6 años previos al período del muestreo de suelos (2002-2008).

VI.7.2. Carbono orgánico en masa de suelo equivalente

El almacenaje de COS dentro de cada fracción de agregados se obtuvo del producto del C en el agregado (%) y la masa de agregados (g).

Para el cuantificar el stock de C en cada profundidad y de 0-30 cm, los valores de carbono fueron corregidos a masa de suelo equivalente (Lee *et al.*, 2009) utilizando la situación inalterada en cada tipo de suelo como sistema de referencia.

Para ello, las siguientes ecuaciones fueron utilizadas:

$$C_{equiv(0-5cm)} = (M_{i(0-5cm)} - M_{i,add(0-5cm)}) * \%C_{(0-5cm)} \quad (II-1)$$

$$C_{equiv(5-15cm)} = (M_{i,add(0-5cm)} * \%C_{(0-5cm)}) + ((M_{i(5-15cm)} - (M_{i,add(5-15cm)} + M_{i,add(0-5cm)})) * \%C_{(5-15cm)}) \quad (II-2)$$

$$C_{equiv(15-30cm)} = (M_{i,add(5-15cm)} * \%C_{(5-15cm)}) + ((M_{i(15-30cm)} - (M_{i,add(15-30cm)} + M_{i,add(5-15cm)})) * \%C_{(15-30cm)}) \quad (II-3)$$

$$C_{equiv(0-30cm)} = (II-1) + (II-2) + (II-3)$$

donde C_{equiv} es el C en masa equivalente ($Mg\ ha^{-1}$), M_i es la masa de suelo seca ($Mg\ ha^{-1}$) para cada profundidad, obtenida del producto entre el espesor de la capa de suelo (m), la densidad de suelo ($Mg\ m^{-3}$), y el factor de conversión $10^4\ (m^2\ ha^{-1})$, $M_{i,add}$ es la diferencia entre M_i y la masa del sistema de referencia.

VII. Procesamiento de la información obtenida

Se realizaron análisis de correlación y de regresión entre los distintos índices de uso de la tierra, concentración y stock de COS, y la estabilidad de agregados considerando todos los usos de la tierra y aquéllas con uso agrícola continuo. Todos los análisis se realizaron utilizando el software estadístico INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2011).

VIII. Resultados

El stock de COS ($C_{\text{equiv}0-5\text{cm}}$, $C_{\text{equiv}0-15\text{cm}}$ y $C_{\text{equiv}0-30\text{cm}}$) en el Molisol se relacionó positivamente con el índice de intensificación de las secuencias ya sea como cultivos por año (IIS- $P<0,01$) o como meses con cultivos (IIS_m- $P<0,01$), pero no sucedió lo mismo en el Vertisol (**Tabla 2**). Además, se detectó una relación positiva entre el stock de COS ($C_{\text{equiv}0-5\text{cm}}$, $C_{\text{equiv}0-15\text{cm}}$ y $C_{\text{equiv}0-30\text{cm}}$) y los índices ICP y FCP en ambos suelos, aunque la relación fue más estrecha en el Molisol (**Tabla 2**). En el Vertisol, por su parte, el stock de COS ($C_{\text{equiv}0-5\text{cm}}$) se relacionó negativamente sólo con los índices ICS y FCS (**Tabla 2**), mientras que al considerar el total de las profundidades ($C_{\text{equiv}0-30\text{cm}}$) se detectó una relación negativa con los índices que incluyeron al trigo y demás cereales (i.e. ICT, FCT, ICC, FCC) (*datos no mostrados*).

Sin embargo, estas relaciones son debidas principalmente a las diferencias entre la situación inalterada y las agrícolas más que a la composición de las secuencias. Considerando sólo las tierras bajo uso agrícola no se observaron diferencias significativas en el stock de COS para ninguno de los suelos ni profundidades analizadas (*datos no mostrados*). A pesar de que en ambos suelos no se registraron diferencias significativas en el stock de COS por el uso de la tierra entre las situaciones en uso agrícola, los valores más bajos de stock de COS se detectaron en los sitios que presentaron un bajo IIS_m y alta FCS (**Tabla 2**).

Los DMP's se relacionaron positivamente con los índices IIS, IIS_m, ICP, FCP en el Molisol para las dos profundidades consideradas, principalmente con los pretratamientos de humedecimiento repentino y humedecimiento lento (**Tabla 2**). En el Vertisol, sólo se detectó una relación positiva entre la estabilidad de agregados y los índices IIS_m, ICP y FCP con el pretratamiento de humedecimiento lento a 5-15 cm (**Tabla 2**). La inclusión frecuente del cultivo de soja (ICS y FCS) se asoció de manera negativa con la estabilidad de los agregados en ambas profundidades del Molisol (**Tabla 2**). En el Vertisol, el impacto de la inclusión frecuente del cultivo de soja fue imperceptible utilizando estos índices, detectándose sólo una relación negativa con el pretratamiento de humedecimiento lento a 5-15 cm de profundidad (**Tabla 2**).

En ambos tipo de suelos, se detectó una fuerte influencia de la situación inalterada o sitios con rotación agrícola-ganadera en el promedio de los datos ya que se detectó un escaso impacto de los usos de la tierra al considerar sólo las tierras en uso agrícola.

En el Molisol, el máximo valor de DMP por la metodología propuesta por Le Bissonnais (1996) fue encontrado con valores de concentración de COS de ca. 30 y 20 g C kg⁻¹, a 0-5 y 5-15 cm de profundidad respectivamente (**Figura 1 a-f**). En este suelo, considerando ambas profundidades, el DMP estuvo estrecha y positivamente relacionado con la concentración de COS hasta 30 g C kg⁻¹, principalmente con el pretratamiento de disgregación mecánica (**Figura 1 c y d**).

En el Vertisol, el máximo valor de DMP, coincidente con la situación inalterada, fue encontrado con valores de concentración de COS de 50 y 40 g C kg⁻¹ a 0-5 y 5-15 cm de profundidad, respectivamente (**Figura 1 a-f**). Sin embargo, y a diferencia del Molisol, la estabilidad de agregados en el Vertisol no se incrementó en un rango de concentración de COS de 25 a 35 g C kg⁻¹, el cual incluyó todos lotes en uso agrícola (**Figura 1 a-f**).

Al analizar el impacto del uso frecuente del cultivo de soja en las secuencias de cultivos sobre la distribución de agregados pudo observarse una fuerte disminución en la cantidad de grandes macroagregados (>2000 µm) del suelo Molisol ($P<0,0005$) (**Figura 2**) con el subsecuente incremento en las clases de tamaños de agregados menores (250-2000 µm: $P<0,01$; 53-250 µm: $P<0,01$) (*datos no mostrados*). Similarmente, si se consideran todos los agregados >250 µm en el suelo Molisol se observó una disminución en la cantidad de esta fracción con el aumento en la frecuencia de soja con el consiguiente incremento de las fracciones < 250 µm ($P<0,005$). Por su parte, en 5-15 cm del suelo Molisol, la FS solo disminuyó la cantidad de pequeños macroagregados ($P<0,05$) (*datos no mostrados*). Contrariamente a lo observado en el suelo Molisol, la FS no afectó la cantidad de agregados para ninguna clase de tamaños de agregados y profundidad en el suelo Vertisol.

Tabla 2. Coeficientes de correlación (r) de la relación entre los índices de uso de la tierra, el carbono en masa de suelo equivalente y el diámetro medio ponderado (DMP) por la metodología de Le Bissonnais (1996) y por tamizado en húmedo a 0-5 y 5-15 cm de profundidad para once sitios agrícolas y un sitio inalterado, en un Molisol y un Vertisol de Entre Ríos, Argentina

DMP	Índices de uso de la tierra									
	IIS	IIS _m	ICS	ICT	ICC	ICP	FCS	FCT	FCC	FCP
Molisol 0-5 cm										
hr	0,80 **	0,81 **	-0,79 **	-0,46 NS	-0,51 NS	0,82 **	-0,81 **	-0,62 *	-0,57 NS	0,84 ***
dm	0,66 *	0,68 *	-0,84 ***	-0,41 NS	-0,23 NS	0,66 *	-0,84 ***	-0,52 NS	-0,28 NS	0,66 *
hl	0,76 **	0,78 **	-0,78 **	-0,46 NS	-0,4 NS	0,79 **	-0,80 **	-0,61 *	-0,53 NS	0,80 **
TH	0,78 **	0,76 **	-0,85 ***	-0,38 NS	-0,35 NS	0,71 **	-0,87 ***	-0,52 NS	-0,42 NS	0,72 **
C _{equiv}	0,76 **	0,83 ***	-0,81 **	-0,71 **	-0,59 *	0,88 ***	-0,77 **	-0,78 **	-0,61 *	0,86 ***
Molisol 5-15 cm										
hr	0,81 **	0,84 ***	-0,68 *	-0,45 NS	-0,61 *	0,86 ***	-0,71 **	-0,64 *	-0,68 *	0,88 ***
dm	0,48 NS	0,56 NS	-0,64 *	-0,43 NS	-0,26 NS	0,59 *	-0,61 *	-0,51 NS	-0,30 NS	0,59 *
hl	0,82 **	0,86 ***	-0,73 **	-0,47 NS	-0,58 *	0,87 ***	-0,76 **	-0,66 *	-0,66 *	0,89 ***
TH	0,53 NS	0,52 NS	-0,47 NS	-0,18 NS	-0,30 NS	0,50 NS	-0,52 NS	-0,37 NS	-0,38 NS	0,54 NS
C _{equiv}	0,50 NS	0,53 NS	-0,58 *	-0,38 NS	-0,32 NS	0,55 NS	-0,55 NS	-0,44 NS	-0,36 NS	0,54 NS
Vertisol 0-5 cm										
hr	0,35 NS	0,42 NS	-0,57 NS	-0,56 NS	-0,47 NS	0,53 NS	-0,51 NS	-0,54 NS	-0,44 NS	0,52 NS
dm	0,07 NS	0,15 NS	-0,33 NS	-0,33 NS	-0,19 NS	0,24 NS	-0,25 NS	-0,27 NS	-0,15 NS	0,22 NS
hl	0,36 NS	0,45 NS	-0,54 NS	-0,48 NS	-0,45 NS	0,50 NS	-0,50 NS	-0,49 NS	-0,44 NS	0,49 NS
TH	-0,12 NS	-0,08 NS	0,01 NS	-0,39 NS	-0,25 NS	0,09 NS	0,09 NS	-0,32 NS	-0,16 NS	0,09 NS
C _{equiv}	0,50 NS	0,55 NS	-0,66 *	-0,48 NS	-0,48 NS	0,61 *	-0,62 *	-0,51 NS	-0,48 NS	0,59 *
Vertisol 5-15 cm										
hr	0,31 NS	0,37 NS	-0,55 NS	-0,33 NS	-0,26 NS	0,41 NS	-0,50 NS	-0,33 NS	-0,26 NS	0,39 NS
dm	0,08 NS	0,15 NS	-0,38 NS	-0,12 NS	-0,05 NS	0,16 NS	-0,32 NS	-0,09 NS	-0,04 NS	0,15 NS
hl	0,52 NS	0,58 *	-0,70 *	-0,52 NS	-0,53 NS	0,64 *	-0,66 *	-0,55 NS	-0,54 NS	0,62 *
TH	0,19 NS	0,21 NS	-0,43 NS	-0,04 NS	-0,06 NS	0,21 NS	-0,39 NS	-0,06 NS	-0,08 NS	0,20 NS
C _{equiv}	0,41 NS	0,46 NS	-0,60 *	-0,62 *	-0,60 *	0,61 *	-0,51 NS	-0,59 *	-0,54 NS	0,60 *

NS, *, **, *** indica no significativo, P<0,05, P<0,01, P<0,001, respectivamente. hr= pretratamiento de humedecimiento repentino; dm= pretratamiento de disgregación mecánica; hl= pretratamiento de humedecimiento lento; TH= tamizado en húmedo. IIS= índice de intensificación de la secuencia (cultivos por año); IIS_m= índice de intensificación de la secuencia (meses con cultivos en relación a los meses de la secuencia); ICS= índice del cultivo de soja; ICT= índice del cultivo de trigo; ICC= índice de cultivos cereales; ICP= índice de pasturas; FCS= frecuencia del cultivo de soja; FCT= frecuencia del cultivo de trigo; FCC= frecuencia de cultivos cereales; FCP= frecuencia de pasturas. Los índices fueron calculados utilizando la fracción de tiempo anual con cobertura vegetal viva en un periodo de 6 años previos al período del muestreo de suelos (2002-2008). C_{equiv} fue calculado utilizando la situación inalterada de cada tipo de suelo como sistema de referencia.

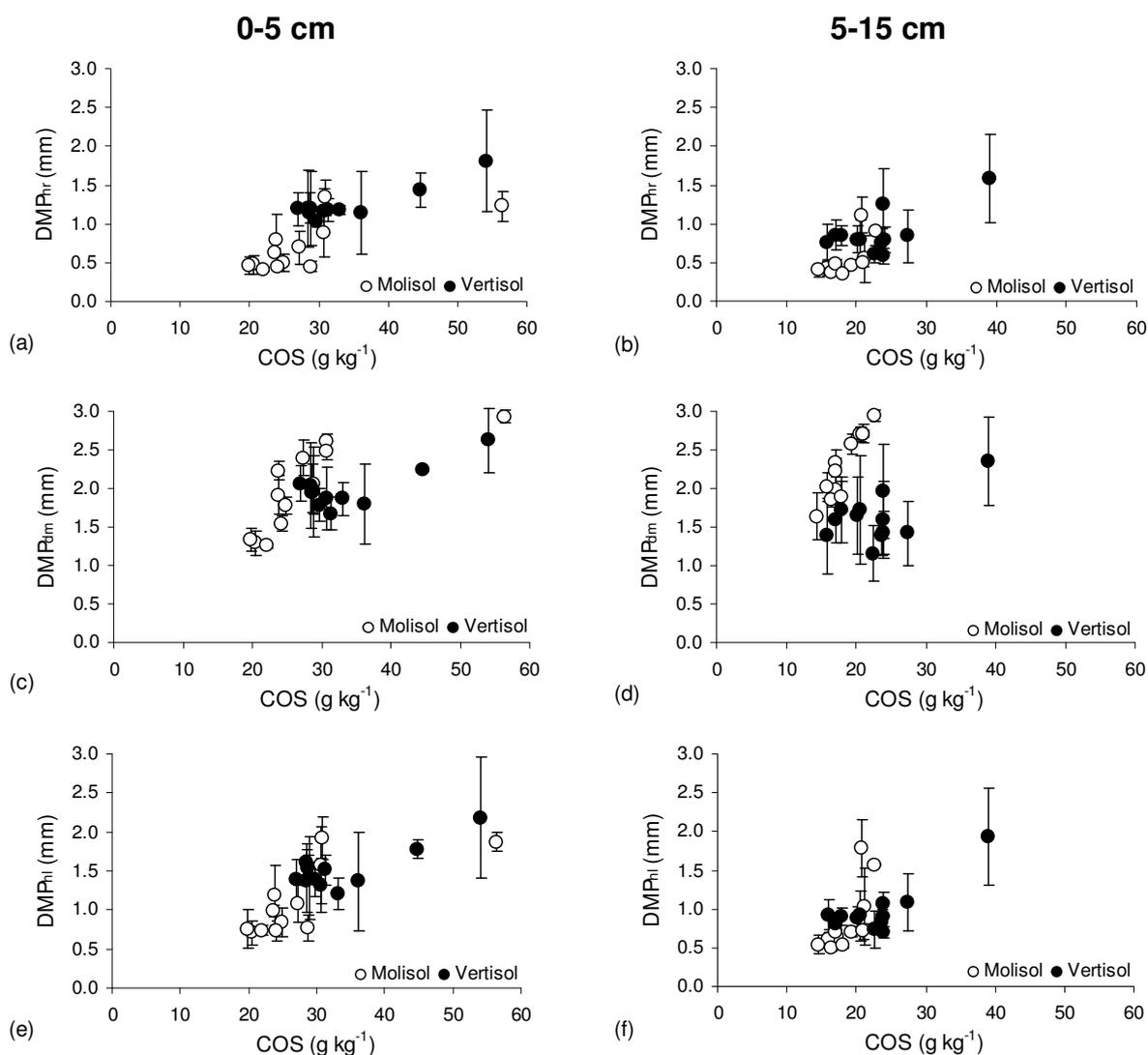


Figura 1. Diámetro medio ponderado de los agregados (DMP) afectados por la concentración de COS a 0-5 y 5-15 cm de profundidad.

Círculos vacíos representan el Molisol. Círculos llenos representan el Vertisol. a y b) Humedecimiento repentino (DMP_{hr}) (Molisol 0-5 cm: $R^2=0,51$, $P<0,01$; Vertisol 0-5cm: $R^2=0,82$, $P<0,001$; Molisol 5-15cm: $R^2=0,44$, $P<0,05$; Vertisol 5-15 cm: $R^2=0,47$, $P<0,05$). c y d) Disgregación mecánica (DMP_m) (Molisol 0-5 cm: $R^2=0,59$, $P<0,01$; Vertisol 0-5 cm: $R^2=0,58$, $P<0,01$; Molisol 5-15 cm: $R^2=0,87$, $P<0,001$; Vertisol 5-15 cm: $R^2=0,32$, $P=NS$). e y f) Humedecimiento lento (DMP_{hl}) (Molisol 0-5 cm: $R^2=0,54$, $P<0,01$; Vertisol 0-5 cm: $R^2=0,67$, $P<0,01$; Molisol 5-15 cm: $R^2=0,55$, $P<0,01$; Vertisol 5-15 cm: $R^2=0,68$, $P<0,01$). Las barras verticales junto a los círculos representan el desvío estándar de cada media (n=3).

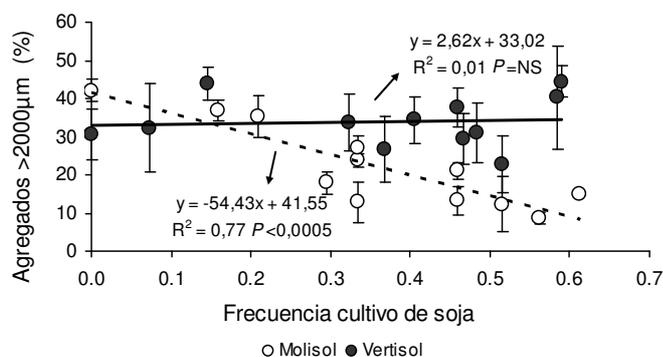


Figura 2. Porcentaje de agregados >2000µm afectado por la frecuencia de soja en 0-5 cm de profundidad

Círculos vacíos representan el suelo Molisol; círculos llenos representan el suelo Vertisol. Adaptado de Novelli et al. (2011).

La concentración de COS en los agregados de diferente tamaño sólo disminuyó en los pequeños macroagregados ($P<0,05$) y microagregados ($P<0,05$) del suelo Molisol por el aumento en la FS (*datos no mostrados*). En el Vertisol, sólo se registraron cambios en la concentración de COS entre la situación inalterada y las agrícolas para todas las clases de tamaños de agregados y profundidades analizadas (*datos no mostrados*).

La FS sólo redujo el almacenaje de COS en los agregados $>250 \mu\text{m}$ en ambos suelos a 0-5 cm de profundidad ($P<0,01$), en mayor medida en los grandes macroagregados ($>2000 \mu\text{m}$) del suelo Molisol ($P<0,01$), que en el Vertisol ($P<0,05$) (**Figura 3**).

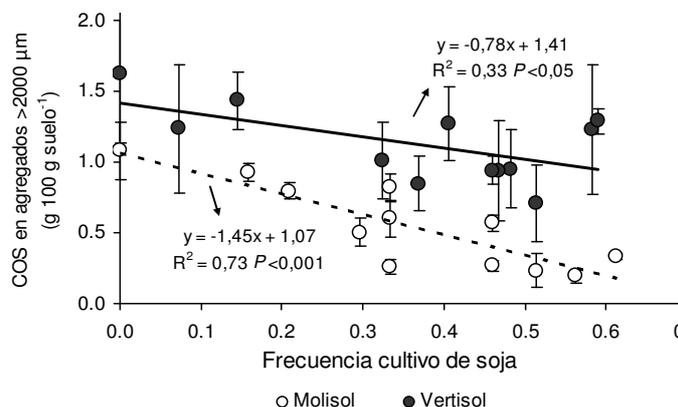


Figura 3. Carbono orgánico del suelo (COS) en grandes macroagregados ($>2000\mu\text{m}$) de 0-5 cm de profundidad, afectado por la frecuencia de soja

Círculos vacíos representan el suelo Molisol; círculos llenos representan el suelo Vertisol. (Adaptado de Novelli *et al.*, 2011).

IX. Discusión

Los resultados proveen evidencias sobre el impacto que presenta la intensidad en el uso de la tierra y la composición de las secuencias de cultivos sobre la agregación del suelo y el almacenaje de COS, y reflejan el comportamiento diferencial entre tipos de suelo. En nuestro trabajo, la elevada frecuencia de soja se asoció con un menor stock de COS, menor estabilidad de agregados y en consecuencia un menor almacenaje de COS en los agregados, principalmente en el suelo Molisol (**Figuras 2 y 3**). En contraste, aquellas situaciones que presentaron mayores tiempos de ocupación con cobertura viva, se asociaron con mejoras en la estabilidad de agregados y en el almacenaje de C. Similares resultados fueron reportados por Wright y Hons (2004), quienes en un ensayo de rotaciones y sistemas de labranzas encontraron que los grandes macroagregados en 0-5 cm fueron reducidos de manera importante en la situación bajo monocultivo de soja en comparación con las secuencias que incluyeron el doble cultivo trigo/soja y trigo/soja-sorgo.

Una mayor intensidad en el uso de recursos ambientales, *i.e.* agua de lluvia y radiación solar, típico de sistemas caracterizados por un elevado índice de intensificación de las secuencias (ISI), puede incrementar la cantidad total de residuos retornados al suelo (Caviglia *et al.*, 2011). Una mayor y más frecuente adición de residuos al suelo, además de generar una protección física al impacto erosivo de la gota de lluvia, le provee un suministro continuo de agentes orgánicos de agregación particularmente de tipos temporarios y transitorios (Tisdall y Oades, 1982), los cuales pueden contribuir a incrementar la estabilidad de los agregados (Álvaro-Fuentes *et al.*, 2009) y consecuentemente el almacenaje de COS (Peterson *et al.*, 1998; Shaver *et al.*, 2003; Sherrod *et al.*, 2003; Wood *et al.*, 1990, 1991).

En nuestro trabajo, el COS fue un importante agente de agregación para el Molisol hasta los 30 g kg^{-1} , sin incrementos relevantes en la agregación a mayores valores de concentración de COS (**Figura 1 a-f**). En contraste, el COS fue un importante agente de agregación en el Vertisol con valores de concentración superiores a 35 g kg^{-1} , pero comenzó a ser irrelevante a valores menores. El tipo de arcilla característico de este tipo de suelo, puede estar involucrado en la mayor resistencia aparente al uso de la tierra reportada en estos suelos (Cerana *et al.*, 2006; Fabrizzi *et al.*, 2009). La mayor concentración de COS y mayor agregación en la situación inalterada del Vertisol evidencia que las fracciones lábiles del COS podrían jugar un rol importante en la agregación del Vertisol con valores de concentración de COS mayores a 35 g kg^{-1} .

El Vertisol tuvo no sólo mayor contenido de arcilla desde la superficie que el Molisol, sino también difirió en la mineralogía de las arcillas, lo cual le puede haber conferido mayor estabilidad en los agregados (**Fig. 3**). Se ha sugerido que debido a la propiedad de expansión y contracción que poseen los Vertisoles, su estructura puede restablecerse fácilmente (Pillai y McGarry, 1999). Esta característica podría ser la causa de la mayor resistencia aparente que posee este suelo a incrementos en la FS en las secuencias de cultivos. La respuesta diferencial a la FS del Vertisol comparado con el Molisol, puede reflejar la elevada capacidad para proteger el COS. En efecto, Fabrizzi *et al.*, (2009), encontraron similares valores de stock de COS entre labranza convencional, siembra directa y una situación inalterada de un suelo Vertisol de Argentina, sin ningún impacto en la distribución de tamaños de agregados.

El incremento en la FS disminuyó el almacenaje de COS en los agregados >250 µm en ambos suelos a 0-5 cm, principalmente en los grandes macroagregados (>2000 µm) del suelo Molisol (**Fig. 3**). En este suelo, la reducción en el almacenaje de COS en los grandes macroagregados con incrementos en la FS, fueron debidos principalmente a una disminución en la estabilidad estructural (**Fig.2**), ya que no se observaron cambios significativos en la concentración de COS para esta clase de tamaño de agregado. Similares resultados han sido reportados por Wright y Hons (2004), quienes encontraron en un suelo franco-arcillo-limoso de Texas, que a 0-5 cm de profundidad, los grandes macroagregados (>2000 µm) de la situación en monocultivo de soja, representó la fracción más pequeña de suelo para esta secuencia y para esta clase de tamaño de agregados, en comparación con secuencias más intensificadas.

X. Conclusiones

Los resultados demuestran que una elevada FS en las secuencias de cultivos en el suelo Molisol, puede tener un importante impacto sobre la estabilidad de los agregados y, en consecuencia, en el almacenaje de C, reforzando el concepto de que el C orgánico juega un importante rol en la agregación de este tipo de suelo. Por otra parte, un elevado periodo de ocupación del suelo con cobertura vegetal viva se asoció con mejoras en la agregación del suelo y en el almacenaje de COS, principalmente en el suelo Molisol.

La estrecha relación detectada entre la estabilidad estructural y la concentración de COS en el Molisol, sugieren que en este suelo el COS tiene un rol preponderante en la agregación, en comparación con el Vertisol en donde el tipo de arcillas puede estar involucrada en la mayor resistencia aparente al uso de la tierra en este tipo de suelo.

A pesar del menor impacto de la FS sobre la agregación y el stock de COS en el Vertisol, una reducción significativa en el almacenaje de COS en los agregados >250 µm fue detectada lo que sugiere que, a pesar de la mayor resistencia aparente de este suelo, la elevada FS en las secuencias de cultivos puede reducir el almacenaje de COS en el largo plazo.

Referencias bibliográficas

- Álvaro-Fuentes, J.; Cantero-Martínez, C.; López, M.V.; Paustian, K.; Deneq, K.; Stewart, C.E.; Arrúe, J.L. 2009. Soil aggregation and soil organic carbon stabilization: effects of management in semiarid mediterranean agroecosystems. *Soil Science Society of America Journal* 73:1519-1529.
- Amezketta, E. 1999. Soil aggregate stability: a review. *Journal of Sustainable Agriculture*. 14:83-151.
- Arias, N; De Battista, J.J. 1984. Evaluación de métodos para la determinación de estabilidad estructural en Vertisoles de Entre Ríos. *Ciencia del Suelo* 2: 87-92.
- Angers, D.A. ; Carter, M.R. 1996. Aggregation and organic matter storage in cool, humid agricultural soils. pp. 193-211. En Carter, M.R., Stewart, B.A. (eds.). *Structure and organic matter storage in agricultural soils. Advances in Soil Science*. Lewis Publishers, CRC Press, Inc., Boca Raton, FL.
- Bajracharya, R.M.; Lal, R.; Kimble, J.M. 1998. Long-term effects on soil organic carbon distribution in aggregates and primary particle fractions of two Ohio soils. In: Lal, R.; Kimble, J.M.; Follet, R.F.; Stewart, B.A. (Eds). *Management of carbon sequestration in soil. Advances in Soil Scienc*. 113-123
- Balesdent, J.; Chenu, C. ; Balabane, M. 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil & Tillage Research*. 53: 215-230.
- Beare, M.H., Cabrera, M.L., Hendrix, P.F.; Coleman, D.C. 1994 b. Aggregate-protected and unprotected organic matter pools in conventional-and no-tillage soils. *Soil Science Society of America Journal*. 58:787-795.
- Beare, M.H.; Hendrix, P.F.; Coleman, D.C. 1994 a. Water-stable aggregates and organic matter fractions in conventional-and no-tillage soils. *Soil Science Society of America Journal*. 58: 777-786.

- Benito, E.; Díaz-Fierros, F. 1992. Effects of cropping on the structural stability of soils rich in organic matter. *Soil and Tillage Research*, 23: 153-161.
- Blevins, R.L.; Frye, W.W. 1993. Conservation tillage: an ecological approach to soil management. *Advances in Agronomy*. 51: 33-78
- Bordovsky, D.G.; Choudhary, M.; Gerard, C.J. 1999. Effect of tillage, cropping and residue management on soil properties of Texas Rolling plains. *Soil Science*. 164: 331-340
- Bowman, R.A.; Vigil, M.F.; Nielsen, D.C.; Anderson, R.L. 1999. Soil organic matter changes in intensively cropped dryland systems. *Soil Science Society of America Journal*. 63:186-191.
- Bronick, C.J.; Lal, R. 2005a. Soil structure and management: a review. *Geoderma*. 124: 3-22.
- Bronick, C.J.; Lal, R. 2005b. Manuring and rotation effects on soil organic carbon concentration for different aggregate size fractions on two soils in northeastern Ohio, USA. *Soil & Tillage Research*. 81:239-252.
- Cambardella, C.A.; Elliot, E.T. 1993. Carbon and nitrogen distribution in aggregates from cultivated and native grassland soils. *Soil Science Society of America Journal*. 57:1071-1076.
- Carlevaro, L.; Sensever, M.; Benavides, R.; Meléndez, J. 1991. La estabilidad estructural del suelo como parámetro de los efectos de su laboreo y cultivo. *Gaceta Agronómica XI* 64:395-405.
- Caviglia, O.P.; Sadras, V.O. 2001. Effect of nitrogen supply on crop conductance, water- and radiation-use efficiency of wheat. *Field Crops Research* 69: 259-266.
- Caviglia, O.P.; Andrade, F.H. 2010. Sustainable intensification of agriculture in the argentinean pampas: capture and use efficiency of environmental resources. *The Americas Journal of Plant Science and Biotechnology*. 3:1-8.
- Caviglia, O.P.; Sadras, V.O.; Andrade, F.H. 2011. Grain Yield and Quality of Wheat and Soybean in Sole- and Double-Cropping. *Agronomy Journal* 103:1081–1089.
- Caviglia, O.P.; Sadras, V.O.; Andrade, F.H. 2004. Intensification of agriculture in the south-eastern Pampas. I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double cropped wheat-soybean. *Field Crops Research*. 87:117-129.
- Cerana, J.A.; Wilson, M.; De Battista, J.J.; Noir, J.; Quintero, C. 2006. Estabilidad estructural de los Vertisoles de Entre Ríos en un sistema arrocero regado con agua subterránea. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA)*. 35:87-106.
- Chenu, C.; Guérif, J. 1991. Mechanical strength of clay minerals as influenced by an adsorbed polysaccharide. *Soil Science Society of America Journal*. 55:1076-1080.
- Conti, M. 2004. Efectos del uso agrícola sobre suelos vertisólicos. *Revista Científica Agropecuaria* 8 (1): 31-36.
- Cosentino, D., Chenu, C., Le Bissonnais, L. 2006. Aggregate stability and microbial community dynamics under drying-wetting cycles in a silt loam soil. *Soil Biology and Biochemistry*. 38:2053-2062.
- Dalal, R.C.; Bridge, B.J. 1996. Aggregation and organic matter storage in sub-humid and semi-arid soils. In: Carter, M.R., Stewart, B.A. (Eds.), *Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils*. Boca Raton (FL): CRC Press. pp. 263-307.
- Degens, B.P.; Sparling, G.P.; Abbott, L.K. 1996. Increasing the length of hyphae in a sandy soil increases the amount of water-stable aggregates. *Applied Soil Ecology*. 3:149-159.
- Denef, K., Six, J., 2005. Clay mineralogy determines the importance of biological versus abiotic processes for macroaggregate formation and stabilization. *European Journal of Soil Science*. 56:469-479.
- Di Rienzo, J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; Gonzalez, L.; Tablada, M.; Robledo, C.W. 2011. *InfoStat* versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Doran, J.W.; Parkin, T.B. 1994. Defining and assessing soil quality. In: Studdert, G.A.; Echeverria, H.E. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Science Society of America Journal*. 64:1496-1503
- Edwards, A.P.; Bremner, J.M. 1967. Microaggregates in soils. *Journal of Soil Science* 18:64-73.
- Fabrizzi, K.P.; Rice, C.W.; Amado, T.J.C.; Fiorin, J.; Barbagelata, P.; Melchiori, R. 2009. Protection of soil organic C and N in temperate and tropical soils: effect of native and agroecosystems. *Biogeochemistry*. 92:129-143.
- Farahani, H.J.; Peterson G.A.; Westfall D.G. 1998. Dryland cropping intensification: a fundamental solution to efficient use of precipitation. *Advances in Agronomy* 64:197-223.
- Galantini, J. A. 2008, Fraccionamiento de la materia orgánica del suelo. En: Galantini, J. A., (Eds). *Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina*. Bahía Blanca: Universidad Nacional del Sur. EdiUNS, 2008. 309 p.

- Hallett, P.D.; Young, I.M. 1999. Changes to water repellence of soil aggregates caused by substrate-induced microbial activity. *European Journal of Soil Science* 50:35-40.
- Hassink, J., Whitmore, A.P., 1997. A model of the physical protection of organic matter in soils. *Soil Science Society of America Journal*. 61, 131-139.
- Havlin, J.L.; Kissel, D.E.; Maddux, L.D.; Claassen, M.M.; Long, J.H. 1990. Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen. *Soil Science Society of America Journal*. 54:448-452.
- Henin, S.; Monnier, G.; Combeau, A. 1958. Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. *Advances in Agronomy*. 9: 73-92.
- Hénin, S.; Gras, R.; Monnier, G. 1972. *El perfil cultural, el estado físico del suelo y sus consecuencias agronómicas*. Madrid: Ed. Mundi Prensa.
- Herrick, J.E.; Wander, M.M. 1998. Relationships between soil organic carbon and soil quality in cropped and rangeland soils: the importance of distribution, composition and soil biological activity. In: Lal, R.; Kimble, J.M.; Follet, R.F.; Stewart, B.A. (Eds). *Soil processes and the carbon cycle. Advances in Soil Science* 405-425
- Kay, B.D. 1990. Rates of change of soil structure under different cropping systems. *Advances in Soil Science*. 12: 1-41.
- Kay, B.D., 1998. Soil structure and organic carbon: a review. In: Lal, R., Kimble, J.M., Follett, R.F., Stewart, B.A. (Eds.), *Soil processes and the carbon cycle*. Boca Raton (FL): CRC Press, pp. 169-197.
- Kern, J.S.; Johnson, M.G. 1993. Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. *Soil Science. Society of America Journal*. 57:200-210
- Lal, R. 2004. Agricultural activities and the global carbon cycle. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 70, 103-116.
- Lal, R. 2010. Enhancing eco-efficiency in agro-ecosystems through soil carbon sequestration. *Crop Science*. 50:S-120-S-131.
- Le Bissonnais, Y. 1996. Aggregate stability and assesement of soil crustability and erodability. I. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science*. 47:425-437.
- Lee, J.; Hopmans, J.W.; Rolston, D.E.; Baer, S.G.; Six, J. 2009. Determining soil carbon stock changes: simple bulk density corrections fail. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 134:251-256.
- López-Fando, C.; Pardo, M.T. 2011. Soil carbon storage and stratification under different tillage systems in a semi-arid region. *Soil Tillage Research*. 111:224-230.
- Martens, D.A. 2000a. Management and crop residue influence soil aggregate stability. *Journal of Environmental Quality*. 29:723-727.
- Martens, D.A. 2000b. Plant residue biochemistry regulates soil carbon cycling and carbon sequestration. *Soil Biology & Biochemistry*. 32:361-369.
- Mikha M.M.; Rice, C.W. 2004. Tillage and manure effects on soil and aggregate-associated carbon and nitrogen. *Soil Science Society of America Journal*. 68:809-816.
- Monreal, C.M.; Dinel, H.; Schnitzer, M.; Gamble, D.S.; Biederbeck, V.O. 1998. Impact of carbon sequestration on functional indicators of soil quality as influenced by management in sustainable agriculture. In: Lal,R.; Kimble, J.M.; Follet, R.F.; Stewart, B.A. (Eds). *Soil processes and the carbon cycle. Advances in Soil Science*. 435-457
- Novelli, L.E.; Caviglia, O.P.; Melchiori, R.J.M. 2011. Impact of soybean cropping frequency on soil carbon storage in Mollisols and Vertisols. *Geoderma* 167-168:254-260.
- Novelli, L.E.; Caviglia, O.P.; Wilson, M.G.; Sasal., M.C. 2013. Land use intensity and cropping sequence effects on aggregate stability and C storage in a Vertisol and a Mollisol. *Geoderma* 195-196:260-267.
- Oades, J.M. 1993. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma*. 56:377-400.
- Oades, J.M.; Waters, A.G. 1991. Aggregate hierarchy in soils. *Australian Journal of Soil Research*. 29:815-828.
- Orellana De, J.; Pilatti, M. 1994. La estabilidad de agregados como indicador edáfico de sostenibilidad. *Ciencia del Suelo* 12: 75-80.
- Paustian, K.; Elliot, E.T.; Killian, K. 1998. Modelling soil carbon in relation to management and climate change in some agroecosystems in Central North America. In: Lal,R.; Kimble, J.M.; Follet, R.F.; Stewart, B.A. (Eds). *Soil processes and the carbon cycle. Advances in Soil Science*. 459-471
- Paz González, A. 2002. Influence of long-term cultivation on soil physical properties and compaction of an Umbric horizon. In: Sustainable land management- Environmental protection. A Soil physical approach. *Advances in GeoEcology* 35: 387-396.

- Paz, A.; Guérif, J. 1993. Propiedades físicas y mecánicas a escala textural de suelos con cantidades limitadas de materiales hinchables. *Investigación Agraria: Producción y Protección Vegetal* 8(3): 387-410.
- Pecorari C. 1988. *Inestabilidad estructural de los suelos de la Pampa Ondulada*. Informe Técnico EEA INTA N° 216.
- Peterson, G.A.; Halvorson, A.D.; Havlin, J.L.; Jones, O.R.; Lyon, D.J.; Tanaka, D.L. 1998. Reduced tillage and increasing cropping intensity in the Great Plains conserves soil C. *Soil & Tillage Research*. 47:207-218.
- Pillai, U.P., McGarry, D., 1999. Structure repair of a compacted Vertisol with wet-dry cycles and crops. *Soil Science Society of America Journal*. 63:201-210.
- Plante, A.F.; Conant, R.T.; Stewart, C.E.; Paustian, K.; Six, J. 2006. Impact of soil texture on the distribution of soil organic matter in physical and chemical fractions. *Soil Science Society of America Journal*. 70:287-296.
- Porta Casanellas, J.; López Acevedo, M., Roquero de Laburu, C. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ed. Mundi-Prensa. 2ª edición. Madrid. 849 p.
- Potter, K.; Gerik, T. 2001. The Vertisols of Texas. In: J. Syes, F. Penning de Vries, P. Nyamudeza (eds.). *The sustainable management of Vertisols*. CABI Publishing, U.K. 267-279.
- Rothon, F.E. 2000. Influence of time on soil response to no-till practices. *Soil Science Society of America Journal*. 64: 700-709
- Sasal, M.C.; Castiglioni, M.G.; Wilson, M.G. 2010. Effect of crop sequences on soil properties and runoff on natural-rainfall erosion plots under no tillage. *Soil and Tillage Research* 108:24-29.
- Seybold, C.A.; Mausbach, M.J.; Karlen, D.L.; Rogers, H.H. 1998. Quantification of soil quality. In: Lal,R.; Kimble, J.M.; Follet, R.F.; Stewart, B.A. (Eds). Soil processes and the carbon cycle. *Advances in Soil Science*. 387-404
- Shaver, T.M.; Peterson, G.A.; Sherrod, L.A. 2003. Cropping intensification in dryland systems improves soil physical properties: regression relations. *Geoderma* 166:149-164.
- Sherrod, L.A.; Peterson, G.A.; Westfall, D.G.; Ahuja, L.R. 2003. Cropping intensity enhances soil organic carbon and nitrogen in a no-till agroecosystem. *Soil Science Society of America Journal* 67:1533-1543.
- Sisty, C.P.J.; dos Santos, H.P.; Kohhann, R.; Alves, B.J.R.; Urquiaga, S. Boddey, R.M. 2004. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil & Tillage Research*. 76: 39-58
- Six, J.; Bossuyt, H.; Degryze, S.; Deneff, K. 2004. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil & Tillage Research*. 79:7-31.
- Six, J.; Callewaert, P.; Lenders, S.; De Gryze, S; Morris, S.J.; Gregorich, E.G.; Paul, E.A.; Paustian, K. 2002. Measuring and Understanding Carbon Storage in afforested soils by physical fractionation. *Soil Science Society of America Journal*. 66:1981-1987.
- Six, J.; Elliott, E.T.; Paustian, K. 2000. Soil structure and soil organic matter: II. A Normalized stability index and the effect of mineralogy. *Soil Science Society of America Journal*. 64:1042-1049.
- Six, J.; Frey, S. D.; Thiet, R. K.; Batten, K. M. 2006. Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems. *Soil Science Society of America Journal*. 70:555-569.
- Smith, M.S.; Frye, W.W.; Varco, J.J. 1987. Legume winter cover crops. *Advances in Soil Science*. 7: 95-138
- So, H.B.; Cook, G.D. 1993. The effect of slaking and dispersion on the hydraulic conductivity of clay soils. In Soil Surface sealing and crusting. In: Poesen, J.W.A. and Nearing, M.A. (Eds.). Cremlingen, Germany. *Catena Supplement* 24: 55-64.
- Stephan, S. Berrier, J., De Petre, A.A., Jeanson, C., Kooistra, M.J., Scharpenseel, H.W., Shiffmann, H., 1983. Characterization of in situ organic matter constituents in Vertisols from Argentina, using submicroscopic and cytochemical methods – first report. *Geoderma*. 30, 21-34.
- Stevenson, F.J. 1986. Cycles of soil carbon, nitrogen, phosphorus, sulphur and micronutrients. New York: John Willey & Sons.
- Studdert, G.A.; Echeverria, H.E. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Science Society of America Journal* 64:1496-1503.
- Studdert, G.A.; Echeverria, H.E.; Casanovas, E.M. 1997. Crop-pasture rotation for sustaining the quality and productivity of a typic argiudoll. *Soil Science Society of America Journal*. 61:1466-1472
- Sullivan, P. 2003. Overview of cover crops and green manures. Disponible en: www.attra.ncat.org.
- Tisdall, J.M.; Oades, J.M. 1982. Organic Matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*. 33:141-163.
- Varvel, G.E. 1994. Rotation and nitrogen fertilization effects on changes in soil carbon and nitrogen. *Agronomy Journal*. 319-325

- Vázquez, M.; Berasategui, L.; Chamorro, E.; Taquín, L.; Barberis, L. 1990. Evolución de la estabilidad estructural y diferentes propiedades químicas según el uso de los suelos en tres áreas de la pradera pampeana. *Ciencia del Suelo* 8: 203-210.
- Whitman, C.E.; Meyer, R.E. 1990. Strategies for increasing the productivity and stability of dryland farming systems. *Advances in Soil Science* 13: 347-358.
- Wilson, M.; Cerana, J. 2004. Mediciones físicas en suelos con características vérticas. *Revista Científica Agropecuaria* 8 (1): 11-22.
- Wilson, M.; Quintero, C.; Boschetti, N.; Benavides, R.; Mancuso, W. 2000. Evaluación de atributos del suelo para su utilización como indicadores de calidad y sostenibilidad en Entre Ríos. *Revista Facultad de Agronomía UBA*. 20 (1): 23-30.
- Wood, C.W.; Westfall, D.G.; Peterson, G.A. 1991. Soil carbon and nitrogen changes on initiation of no-till cropping systems. *Soil Science Society of America Journal*. 55:470-476.
- Wood, C.W.; Westfall, D.G.; Peterson, G.A.; Burke, I.C. 1990. Impacts of cropping intensity on carbon and nitrogen mineralization under no-till dryland agroecosystems. *Agronomy Journal* 82:1115-1120.
- Wright, A.L.; Hons, F.H. 2004. Soil aggregation and carbon and nitrogen storage under soybean cropping sequences. *Soil Science Society of America Journal*. 68:507-513.
- Wright, A.L., Hons, F.M., 2005. Soil carbon and nitrogen storage in aggregates from different tillage and crop regimes. *Soil Science Society of America Journal*. 69:141-147.
- Yoder, R.E. 1936. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. *Journal of the American Society of Agronomy*. 28:337-351.