

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

Trabajo Final presentado para optar al
Grado de Ingeniero Agrónomo

**EFEECTO DEL SISTEMA DE LABRANZA Y DE LA
ROTACIÓN SOBRE LA MATERIA ORGÁNICA TOTAL
Y LÁBIL DE UN HAPLUDOL TÍPICO DEL SUR OESTE
DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA**

Alumno: César Omar Natali
DNI: 32.208.041

Director: Carmen Cholaky
Co-Director: Inés Moreno

Río Cuarto - Córdoba
Diciembre / 2013

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Efecto del sistema de labranza y de la rotación sobre la
materia orgánica total y lábil de un Hapludol típico del sur
oeste de la provincia de Córdoba

Autor: César Omar Natali

DNI: 32.208.041

Director: Ing. Agr. M.Sc. Carmen Cholaky

Co-Director: Lic. M.Sc. Inés Moreno

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias de la
Comisión Evaluadora:

Ing. Agr. Marcos D. Bongiovanni _____

Ing. Agr. Ricardo R. Mattana _____

Ing. Agr. M.Sc. Carmen Cholaky _____

Fecha de presentación: ____/____/____

Aprobado por secretaria académica: ____/____/____

Secretario Académico

AGRADECIMIENTOS

A mis directores, Carmen e Inés, por su dedicación, colaboración y enseñanzas depositadas en mí.

A mis compañeros y amigos, por el estímulo y apoyo incondicional en esta etapa.

A la Universidad Nacional de Río Cuarto, por permitirme este periodo de estudios.

A mi familia, a mis padres y hermanos por el esfuerzo, comprensión y confianza que me brindaron para cumplir mis objetivos personales y profesionales.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1

| | |
|---|---|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. Presentación, fundamentación e importancia del trabajo | 1 |
| 1.2. Antecedentes | 4 |
| 1.3. Hipótesis | 6 |
| 1.4. Objetivo general | 6 |
| 1.5. Objetivos específicos | 6 |

CAPÍTULO 2

| | |
|--|----|
| MATERIALES Y MÉTODOS | 7 |
| 2.1. Caracterización del área de estudio | 7 |
| 2.2. Descripción de los tratamientos y diseño experimental | 7 |
| 2.3. Determinaciones realizadas | 10 |
| 2.3.1. Muestreo | 10 |
| 2.3.2. Fraccionamiento físico de la materia orgánica | 10 |
| 2.3.3. Determinación de la materia orgánica | 10 |
| 2.3.3.1. Cálculos de materia orgánica | 11 |
| 2.4. Análisis estadístico de los resultados | 11 |

CAPÍTULO 3

| | |
|---|----|
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 12 |
| 3.1. Efecto de los diferentes sistemas de labranza sobre el contenido de materia orgánica total y sus fracciones estabilizada y lábil | 12 |
| 3.2. Efecto de una labor de descompactación subsuperficial sobre el contenido de materia orgánica en un sistema de siembra directa | 18 |
| 3.3. Comparación del contenido de materia orgánica de la rotación agrícola con una situación de mínimo disturbio | 20 |
| 3.4. Efecto del uso del suelo sobre el contenido de materia orgánica total y sus fracciones | 22 |

CAPÍTULO 4

| | |
|--------------|----|
| CONCLUSIONES | 27 |
|--------------|----|

| | |
|--------------|----|
| BIBLIOGRAFÍA | 28 |
|--------------|----|

INDICE DE TABLAS

| | | |
|----------|--|----|
| Tabla 1. | Contenido de materia orgánica total en la capa superficial del suelo en diferentes sistemas de labranza | 12 |
| Tabla 2. | Contenido de materia orgánica estabilizada en la capa superficial del suelo en diferentes sistemas de labranza | 15 |
| Tabla 3. | Contenido de materia orgánica lábil en la capa superficial del suelo en diferentes sistemas de labranza | 17 |
| Tabla 4. | Contenido de materia orgánica total, estabilizada y lábil de la capa superficial del suelo en un sistema de siembra directa con una labor de descompactación | 18 |
| Tabla 5. | Contenido de materia orgánica total, estabilizada y lábil de tres sistemas de labranza y una situación de mínimo disturbio para la profundidad de 0 a 10 cm | 20 |

INDICE DE FIGURAS

| | | |
|-----------|--|----|
| Figura 1. | Efecto combinado de la rotación y sistema de labranza sobre el contenido de materia orgánica total para la profundidad de 0 a 20 cm | 22 |
| Figura 2. | Efecto combinado de la rotación y sistema de labranza sobre el contenido de materia orgánica estabilizada para la profundidad de 0 a 20 cm | 24 |
| Figura 3. | Efecto combinado de la rotación y sistema de labranza sobre el contenido de materia orgánica lábil para la profundidad de 0 a 20 cm | 25 |

RESUMEN

En los suelos agrícolas el contenido de materia orgánica (MO) varía en el tiempo, producto del clima y de su uso y manejo. Se evaluó el efecto de la labranza y de la rotación sobre la MO total, estabilizada y lábil de un Hapludol típico del sur oeste de Córdoba. Sobre un diseño en bloques aleatorizados el estudio comprendió una rotación agrícola con tres sistemas de labranzas: siembra directa (SD), reducida (LR) y convencional (LC), y en SD se analizó el impacto de una labor de descompactación subsuperficial. Estos datos se contrastaron con una situación de mínimo disturbio (MD). Para considerar el efecto de la rotación se comparó con un sistema agrícola-ganadero con las mismas alternativas de manejo. La MO de 0-10 cm y 10-20 cm se fraccionó físicamente en materia orgánica lábil (MOL) y estabilizada (MOE), y en cada compartimento y en la materia orgánica total (MOT) se determinó la MO por oxidación. Los resultados indican que el contenido de MO total y sus fracciones fueron significativamente superiores en LR y SD con respecto a LC. La fracción lábil presentó diferencias significativas en la profundidad de 10-20 cm a favor de LC, asociado a la incorporación de residuos orgánicos. La labor de descompactación subsuperficial en SD no manifestó diferencias significativas respecto al tratamiento sin intervención. Al compararlos con la situación de MD, todas las labranzas registraron una fuerte caída en el contenido de MOT y de las fracciones. Al evaluar el efecto del uso, no hubo diferencias significativas aunque la rotación agrícola-ganadera presentó una tendencia más favorable en la MO que en la rotación agrícola pura. La labranza conservacionista y la inclusión de pasturas en la rotación mejoran el nivel de MO de la capa superficial del suelo, respecto a la labranza convencional y la rotación agrícola pura.

Palabras clave: fracciones de materia orgánica, sistemas de labranza, rotación, mínimo disturbio

SUMMARY

Effect of tillage and rotation on Total and labile organic matter of a typical Hapludol southwest of the province of Córdoba.

In agricultural soils organic matter content (MO) varies over time, climate product and its use and management. The effect of tillage and rotation on total MO, stabilized and labile of a typical southern Hapludol west of Córdoba. On a randomized block design study comprised an agricultural rotation with three tillage systems: no tillage (NT), reduced (LR) and conventional (CT) and (NT) analyzed the impact of a subsurface decompaction work. These data were compared with a situation of minimal disturbance (MD). To consider the effect of rotation was compared with a crop-livestock system with the same management alternatives. The MO of 0-10 cm and 10-20 cm physically fractionated labile organic matter (MOL) and stabilized (MOE), and in each compartment and the total organic matter (MOT) was determined by oxidation MO. The results indicate that all MO content and its fractions were significantly higher in LR and NT with respect to LC. The labile fraction showed significant differences in the depth of 10-20 cm for LC, associated with the incorporation of organic residues. The work of SD subsurface descompactación said no significant differences regarding treatment without intervention. When compared to the state of MD, all crops registered a sharp drop in the content of MOT and fractions. In assessing the effect of the use, although no significant differences crop-livestock rotation presented a more favorable trend in MO in pure agricultural rotation. Conservation tillage and inclusion of pastures in the rotation improve the level of MO of topsoil, compared to conventional tillage and pure agricultural rotation.

Keywords: fractions of organic matter, tillage systems, rotation, minimal disturbance.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Presentación, fundamentación e importancia del trabajo

El suelo es uno de los ecosistemas más complejos y diversos que existe en la naturaleza. Es un ambiente que combina las fases sólida, líquida y gaseosa formando una matriz tridimensional (Zerbino y Altier, 2006). Su intenso uso bajo sistemas agrícolas, la ausencia de rotaciones con cultivos que hagan aportes voluminosos de materia orgánica (MO) y el excesivo laboreo para la preparación de la cama de siembra, son factores que determinan el aumento de las pérdidas de suelo por erosión y/o degradación de sus propiedades físico-químicas (Casas, 2005).

En los sistemas de producción de la región central de Córdoba, durante los últimos treinta años, fueron ocurriendo importantes cambios en el uso de la tierra, además de un avance de la agricultura sobre áreas ocupadas por la ganadería. Este proceso se caracterizó por un creciente predominio de la soja en reemplazo de otros cultivos como sorgo, maíz, girasol y maní, que inicialmente se cultivaban con sistemas convencionales de labranza, caracterizados por la remoción del suelo y la escasa o nula permanencia de rastrojos en superficie. Hacia fines de la década de los 80, los sistemas fueron evolucionando hacia los llamados conservacionistas, dentro de los cuales el sistema de siembra directa es actualmente el de mayor adopción en la región (Salas *et al.*, 2005).

El hombre con su intervención provoca, a veces de manera muy importante, la pérdida de MO del suelo (Cisneros *et al.*, 2007). Este componente es de vital importancia para proveer energía, sustrato y la diversidad biológica necesaria para el mantenimiento de las numerosas funciones del suelo (Galantini *et al.*, 2004), además de ser una fuente de nutrientes, facilitar la agregación y estabilidad estructural (Bongiovanni *et al.*, 2000). La disminución de la MO, inicialmente aumenta la productividad por la liberación de los nutrientes contenidos en ella, pero tiene efectos adversos cuando los niveles disminuyen pudiendo alcanzar umbrales críticos (Galantini *et al.*, 2004).

La MO representa un sistema complejo de sustancias, cuya dinámica es gobernada por el aporte de residuos orgánicos de diversa naturaleza y por la transformación continua a través de factores biológicos, químicos y físicos (Galantini *et al.*, 2005). Es el resultado del

balance entre la mineralización que aumenta con los laboreos y el aporte de carbono al sistema a través de los rastrojos y raíces de los cultivos y restos de otros organismos. Este aporte varía en volumen y calidad según los cultivos y las prácticas de manejo, especialmente aquellas que permiten incrementar la producción de biomasa (Studdert y Echeverría, 2000).

El contenido de materia orgánica total (MOT) en los sistemas agrícolas cambia lentamente a través del tiempo, producto del clima y del uso y manejo y es un indicador biológico de calidad del suelo (Prados *et al.*, 2008). Cuando se elimina la vegetación original de un ecosistema y se inicia un cultivo, el contenido de MO del suelo decrece. La disminución es más rápida durante los primeros años y luego se hace más lenta tendiendo a un equilibrio. Este equilibrio significa que los niveles de MO se mantienen constantes en el tiempo. Si las condiciones de manejo cambian, el balance es disturbado y las pérdidas pueden exceder a las ganancias o viceversa (Álvarez y Steinbach, 2006).

La separación de la MO en fracciones físicas de diferentes tamaño y estabilidad es de importancia para el estudio de la fertilidad del suelo. Varias fracciones han sido definidas dependiendo de la severidad del tratamiento de separación empleado, y su proporción varía en función del uso de la tierra, vegetación y otros factores como clima, tipo de suelo y actividad microbiana que afectan el balance entre el ingreso de residuos vegetales y su descomposición (Christensen, 2001). Estas fracciones, según explican Cambardella y Elliot (1992) tienen diferentes velocidades de ciclado y esto se debe al grado de protección física del carbono orgánico (CO) dentro de micro-agregados como también a la protección química desde los procesos de humificación.

La fracción de CO con rápido ciclado es la que ejerce mayor aporte de nutrientes, ya que constituye la fuente más accesible de energía para la microbiota del suelo, responsable de los procesos involucrados en el ciclado de nutrientes (Whalen *et al.*, 2000). Esta fracción es la denominada materia orgánica particulada (MOP) y corresponde al CO de la fracción mineral entre 50 μm y 2 mm, la cual es sensible a los cambios inducidos por los sistemas de manejo (Cambardella y Elliot, 1992). La fracción con menor velocidad de ciclado, asociada a la fracción mineral del suelo inferior a 50 μm es la menos afectada y permanece más estable frente a diferentes prácticas agrícolas. La MOP puede ser utilizada como indicador temprano de efectos producidos por las rotaciones, labranzas y fertilización (Galantini y Suñer, 2008), ya que demuestra mayor sensibilidad en el corto plazo (Prados *et al.*, 2008), y por ello es considerada un indicador rápido del efecto del manejo sobre la calidad del suelo (Janzen *et al.*, 1998).

Como se dijo anteriormente, la labranza favorece la reducción del contenido de MO como consecuencia del aumento de la mineralización, disrupción de los agregados del suelo y la mayor aireación (Sainju *et al.*, 2006). En este sentido, numerosos trabajos han observado que los sistemas de labranza conservacionistas incrementan la MO del suelo respecto a los sistemas de labranza convencional (Apesteguía y Sereno, 2008; Lardone, 2009). Sin embargo, éste incremento de la MO en los planteos de siembra directa se concentra en los primeros centímetros del suelo (Galantini *et al.*, 2004; Álvarez y Steinbach, 2006; Sainju *et al.*, 2006), además de producirse procesos de compactación superficial debidos a la mínima remoción y tráfico continuo de elevado peso (Balbuena *et al.*, 2009). Para revertir esta problemática, la introducción de una labor de descompactación surge como una alternativa de manejo mecánico que de acuerdo a Melero *et al.* (2011), ejerce mínimo disturbio sobre la MO acumulada.

La correcta elección de una combinación de rotaciones y labranzas puede ser una herramienta para reducir los riesgos de degradación del suelo y para maximizar la producción con el mínimo compromiso para el medio ambiente (Eiza *et al.*, 2002).

Por lo antes dicho el desafío es determinar el efecto de diferentes técnicas y estrategias de manejo sobre la MO en un sistema agrícola, sin descuidar las condiciones generales del suelo, en una situación representativa del suroeste de la provincia de Córdoba. También se realizará una comparación con lo ocurrido en una rotación agrícola-ganadera ubicada en el mismo lote, cuyos datos se obtuvieron del trabajo final realizado simultáneamente por Massobrio (2012).

1.2. Antecedentes

La MO es un componente fundamental del suelo ya que de ella dependen muchas de sus propiedades químicas, físicas y biológicas. La variación de la fracción orgánica del suelo y la intensidad de laboreo influyen sobre dichos atributos. La labranza destruye los macroagregados por la acción física directa y produce pérdida de la estabilidad de los mismos debido a la reducción de los contenidos de MO por exposición de fracciones que se hallaban protegidas dentro de sus estructuras (Tisdall y Oades, 1982; Eiza *et al.*, 2004).

Según pudieron determinar Diovisalvi *et al.* (2006), los sistemas de labranzas alteran la dinámica de la MO del suelo. La labranza convencional (LC) crea condiciones para que se produzca la descomposición de los residuos de cosecha y de la MO nativa. Bajo siembra directa (SD) ocurre lo contrario, produciéndose una acumulación de MO o una reducción de la tasa de pérdida en los primeros centímetros del perfil. Por otro lado, si bien la merma de la MO es directamente proporcional a la agresividad de la labranza, depende además del retorno de carbono al suelo, ya que cuanto mayor es la cantidad de carbono devuelto, menores son sus tasas de caída.

En correspondencia con lo descrito, Minoldo *et al.* (2004), afirmaron que los cambios de corto plazo (1-5 años) inducidos por las prácticas de manejo, son difíciles de detectar debido a una gran cantidad de MO relativamente estable. Sin embargo, aquellas fracciones de naturaleza más dinámica, pueden reflejar rápidamente los cambios en la provisión de carbono y/o condiciones que afectan la mineralización. Estas fracciones, tales como el carbono de la biomasa microbiana y el carbono lábil o particulado, han sido propuestas como indicadores sensibles y precoces del efecto de los sistemas de producción sobre la calidad de la MO del suelo.

Estudios realizados por Eiza *et al.* (2002), demostraron que el nivel de MO en el suelo es afectado por la LC, bajo la cual se reduce significativamente al cabo de diez años consecutivos. En nuestro país, Galantini e Iglesias (2007) al analizar 40 ensayos en los que evaluaron el efecto de los sistemas de labranza, encontraron que en promedio el contenido de CO de los suelos en SD era un 17,2% más alto que el de los suelos en LC.

Por otra parte, Galantini *et al.* (2004), expresaron que el incremento de la producción de residuos junto con la reducción de las labranzas permiten mantener y/o aumentar el nivel de MO del suelo. El efecto más notorio al disminuir las labranzas es la redistribución y estratificación de la MO dentro del perfil. Con respecto al carbono orgánico particulado (COP), los valores en LC mostraron una distribución homogénea en los primeros centímetros de suelo, como consecuencia de la incorporación y mezclado de los residuos. En la medida que el laboreo del suelo fue menor se observó una estratificación cada vez mayor del COP.

Las diferencias estadísticas se localizaron en el primer centímetro, donde la SD presentó los valores más elevados. La cantidad relativa de COP aumentó en el sentido LC, labranza vertical y SD.

En otra situación, Galantini *et al.* (2012) en un Argiudol típico del partido de Tornquist (Buenos Aires), tomaron muestras de suelo a diferentes profundidades a los 18, 24 y 25 años de mantener dos sistemas de labranza: SD y LC, y realizaron un fraccionamiento físico por tamaño de partícula. El CO en el tiempo fue estable en SD (de 49,0 a 49,7 Mg CO ha⁻¹) y decreciente en LC (de 42,8 a 40,9 Mg CO ha⁻¹). En promedio para las tres fechas de muestreo, el contenido de CO en la profundidad 0-20 cm fue 16,8% más alto en SD que en LC.

Por su parte, Eiza *et al.* (2004), realizaron una comparación entre sistemas de LC y SD y no encontraron diferencias significativas en el CO asociado a la fracción mineral y a la particulada, excepto para esta última en la profundidad de 0-5 cm. También incluyeron en sus tratamientos la rotación con pasturas y observaron que en una pastura de 3 años de antigüedad y como antecesor 3 años de agricultura, en los primeros 20 cm de suelo se pudieron alcanzar los valores de CO total similares a los presentes bajo pastura permanente, independientemente del sistema de labranza empleado durante el período agrícola.

En una investigación de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto, en el Establecimiento “Pozo del Carril”, donde se realizó el presente proyecto, luego de 16 años de estudios continuos del efecto de la rotación, las labranzas, el pastoreo de los rastrojos y la fertilización sobre un Hapludol típico franco arenoso muy fino, se pudo determinar que al quinto año de evaluación, el mayor contenido de carbono se observó en SD y labranza reducida no pastoreada, y el menor en LC con pastoreo (Bricchi *et al.*, 2004). La evaluación temporal de las fracciones de la MO indica que a los ocho años de ensayo, las labranzas conservacionistas sin pastoreo comparadas con LC, presentaron una tendencia al incremento de fracción liviana y pesada de la MO, en la parte superficial del perfil cultural, indicando así una tendencia al mejoramiento en las primeras y a la degradación en la LC (Verri, 2004). Luego de 13 años de iniciado el ensayo Esposito *et al.* (2008) determinaron que el contenido de CO liviano fue superior en SD en relación con las restantes labranzas.

En relación al efecto de las labores de descompactación subsuperficial en planteos de SD, Melero *et al.* (2011) trabajando en un suelo franco arcilloso, observaron que la realización de una labor de cincelado en un suelo manejado con SD durante 8 años, no modificó el nivel de MO a diferencia de la LC que mostró un efecto negativo sobre éste componente, especialmente en los primeros 5 cm del perfil de suelo.

1.3. Hipótesis

- Los sistemas de labranza conservacionistas incrementan los niveles de la fracción lábil de MO respecto a los sistemas de labranza convencional, especialmente en los primeros centímetros de suelo.
- La introducción de una labor de descompactación subsuperficial con escarificador alado en el sistema de SD, no modifica el contenido de las fracciones de MO del suelo en relación a este sistema de labranza.
- La implementación de un sistema agrícola puro disminuye el contenido de MO en los primeros 20 centímetros de suelo y en los diferentes sistemas de labranza, en comparación a un sistema mixto con un ciclo de pasturas cada 3 años de agricultura.

1.4. Objetivo general

Evaluar el efecto del sistema de labranza y de la rotación sobre el contenido de MO de la capa superficial de un Hapludol típico franco arenoso muy fino del sur oeste de la provincia de Córdoba.

1.5. Objetivos específicos

- Determinar el contenido de MOT y de las fracciones lábil y estabilizada, de 0-10 cm y 10-20 cm. de profundidad de un suelo con uso agrícola y 16 años de manejo diferenciado correspondiente a labranza convencional, labranza reducida y siembra directa.
- Evaluar el contenido de MO en el mismo espesor de suelo y rotación que en el caso anterior, en una situación de siembra directa con labor de descompactación subsuperficial en dos años, previos a la realización del presente trabajo.
- Comparar los valores obtenidos de MO con una situación de similares características correspondiente a un suelo bajo uso agrícola-ganadero con implantación de pasturas y con las mismas alternativas de laboreo, es decir, labranza convencional, reducida y siembra directa desde hace 16 años.

CAPÍTULO 2

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Caracterización del área en estudio

La experiencia se desarrolló en el Campo de Docencia y Experimentación (CAMDOCEX) de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto “Pozo del Carril”, ubicado en las cercanías del paraje La Aguada, departamento Río Cuarto (32°58'20" Sur, 64°39'19" Oeste). El ensayo está ubicado en la unidad ambiental de la llanura subhúmeda bien drenada (Cantero *et al.*, 1998).

El clima es templado subhúmedo, con régimen de precipitaciones monzónico (80% de las lluvias concentradas en el periodo comprendido entre octubre y abril) y con una precipitación media anual de 850 mm (Becerra *et al.*, 1999). El balance hídrico presenta un déficit de entre 50 y 300 mm/año de acuerdo al régimen de lluvia. Las principales adversidades climáticas son: sequías, heladas extemporáneas, granizo e intensidad de las precipitaciones (Degioanni, 1998).

El área bajo estudio se caracteriza por presentar un relieve muy complejo, de moderado a fuertemente ondulado, con lomadas pronunciadas, cuya longitud oscila entre los 3.000 y los 6.000 metros con un gradiente del 2% al 3%. Localmente se presentan pendientes más cortas pero de mayor gradiente (Becker *et al.*, 2001). Los suelos son bien a algo excesivamente drenados, profundos (+ de 100 cm), y de elevada susceptibilidad a la erosión hídrica. El material originario está constituido principalmente por sedimentos de tipo loésicos, franco-arenosos muy finos de la formación La Invernada (Cantú, 1992), donde predominan Hapludoles típicos de textura franco arenosa muy fina (Cantero *et al.*, 1984).

2.2. Descripción de los tratamientos y diseño experimental

El programa de investigación sobre el cual se llevó a cabo este trabajo se inició en agosto de 1994 con el proyecto “Efecto de rotaciones, labranzas y disponibilidad de nutrientes sobre la calidad del suelo y la producción agropecuaria en el oeste de Río Cuarto”, que se integra al Programa “Desarrollo de alternativas tecnológicas para la producción agropecuaria sustentable en el oeste de Río Cuarto”. El sistema agrícola comenzó en la

campana 1994/95 con la rotación maíz-girasol, siendo reemplazado este último cultivo por soja a partir de 2003. Desde la campana 2007/08 a la fecha, se adoptó la rotación maíz-soja.

Se plantearon tres tipos de usos: agrícola (Ag), agrícola-ganadero (A-G) y una situación de mínimo disturbio (MD); tres sistemas de labranzas: SD, labranza reducida (LR) y LC; dos dosis de fertilización con nitrógeno y fósforo; dos manejos de los restos de cosecha: pastoreo y no pastoreo y desde el año 2007 se realizó, en una parte de cada tratamiento, una labor de descompactación profunda.

Las labores mecánicas realizadas difieren según sea el sistema de labranza. La condición del suelo en las cuales fueron realizadas es el estado friable y su antelación en el tiempo depende de las condiciones de humedad del suelo y de los objetivos perseguidos por las mismas.

En la parcela de SD no existe laboreo alguno del suelo, solamente se realiza la siembra en plano con una sembradora marca Bertini, Mod. 10000 D, neumática, de siete surcos a 0,70 m entre líneas, adaptada para tal fin. El kit de siembra está constituido por: una cuchilla de microlabranza (corta rastrojo), posteriormente un sistema de doble disco (abre surco sembrador y fertilizador en la línea de siembra) y luego las ruedas dentadas tapadoras del surco. El control de profundidad de la semilla se realiza a través de una leva central graduada. Para poder realizar la fertilización al costado de la línea de siembra, debe agregarse un doble disco fertilizador sujeto al chasis y cuchillas de microlabranza (corta rastrojo) colocadas delante en la barra porta cuchillas.

El tratamiento de LR consiste en dos labores de arado cincel hasta los 20 cm de profundidad en el momento de barbecho y a continuación un repaso con rastra de disco de tiro excéntrico con el mínimo cruce de los cuerpos, para luego realizar la siembra con la herramienta descrita anteriormente. El arado de cincel realiza un corte vertical en el suelo dejando aproximadamente el 70% de los residuos en superficie provocada por los arcos ó cinceles ubicados a una distancia de 0,35 metros, que al momento del trabajo efectúan una acción “vibratoria” antero-posterior, que es en definitiva la que logra una buena roturación del suelo.

En el caso de la LC se realiza una labor de arado de reja y vertedera en el momento del barbecho, con un repaso de rastra de disco de tiro excéntrico. Luego se realiza la siembra con la herramienta mencionada anteriormente.

En cuanto a la fertilización, aquella realizada al momento de la siembra se ubicada al costado y por debajo de la línea del cultivo, para todos los tratamientos. Para la fertilización nitrogenada, se aplica urea entre la línea del cultivo. Las dosis aplicadas son determinadas en función de los rendimientos potenciales de los cultivos y de las condiciones del suelo. La

fertilización fosforada se realiza con el objetivo de incrementar los niveles de fósforo en el suelo, es decir una dosis que cubra los requerimientos del cultivo y permita acumular un remanente y de esta manera ir aumentando paulatinamente el contenido de fósforo.

A partir del año 2007, hasta la realización del presente trabajo, tanto en LR como en SD se introduce anualmente una labor profunda de descompactación subsuperficial, la cual se realiza con un escarificador-descompactador alado, tipo “reja cero” (Cisneros *et al.*, 1998), de fabricación artesanal, que trabaja a una profundidad teórica de 0,3 m, con una distancia entre rejas de 0,45 m (6 rejas), distanciamiento que proviene de considerar la relación distanciamiento entre órganos activos-profundidad planteada por Godwin *et al.* (1984) del orden de $1,4 \pm 25\%$ veces la profundidad de trabajo. Se acopla detrás del escarificador un rolo con el objetivo de cerrar los surcos originados por las rejas y reacondicionar la superficie del suelo y rastrojo. La herramienta consiste en rejas rectas aladas en forma de “T” invertidas que presentan filos longitudinales y horizontales, dispuestas sobre un bastidor de arado de cincel.

El presente trabajo se realizó sobre la rotación agrícola pura con producción de maíz y soja, sobre los tratamientos fertilizados, siguiendo los tres sistemas de labranzas planteados: SD, LR y LC. A su vez, solo en el sistema de SD se estudiaron los tratamientos con y sin laboreo de descompactación subsuperficial, operación realizada por última vez en noviembre de 2009.

Los datos de MO obtenidos en los tratamientos mencionados, se contrastaron con los registrados en una situación de MD, sin antecedentes de intervenciones antrópicas en los últimos 30 años. Esta situación corresponde a un área cercana al ensayo cubierta de especies arbóreas y herbáceas.

Finalmente, para realizar la comparación entre la rotación agrícola pura sobre la cual se desarrolló el presente trabajo y la rotación agrícola-ganadera, que incluye una pastura en base alfalfa cada tres ciclos agrícolas con maíz-soja, se consideraron los datos obtenidos por Massobrio (2012). Vale aclarar que en la rotación agrícola-ganadera se trabajó sobre los tratamientos fertilizados y sin labor de descompactación. El segundo ciclo ganadero se reinició en el 2007 con una pastura consociada de alfalfa (*Medicago sativa*), cebadilla (*Bromus unioloides*) y pasto ovilla (*Dactylis glomerata*), con un sistema de pastoreo de alta intensidad y alta carga instantánea, cosechándose el 75% del forraje disponible. El ciclo ganadero culminó en 2010, con la roturación de la pastura y el ingreso del ensayo al ciclo agrícola.

El diseño experimental del ensayo se dispone en bloques completamente aleatorizados, con cuatro repeticiones espaciales por cada tratamiento.

2.3. Determinaciones realizadas

2.3.1. Muestreo

De cada tratamiento y repetición se obtuvieron dos muestras, compuestas por tres submuestras tomadas al azar, previo a la roturación e implantación del cultivo, en el mes de agosto de 2010 y a dos profundidades: de 0-10 cm y 10-20 cm.

En el caso del sistema agrícola-ganadero, los muestreos fueron realizados semanas previas a la roturación del segundo ciclo de pastura.

2.3.2. Fraccionamiento físico de la materia orgánica

Este procedimiento se realizó siguiendo el método adaptado por Galantini *et al.* (1994). La técnica consiste en el fraccionamiento físico por tamaño de partícula. Para ello se colocaron 30 gr de suelo seco y tamizado (2 mm), en un frasco con 60 ml de “Calgon” (Hexametáfosfato de sodio 0,5% p/v) y 10 bolitas de vidrio para incrementar la degradación y reducir las posibles variaciones ocasionadas por diferentes contenidos de arena. Se agitó vigorosamente la muestra durante una hora para desintegrar los agregados. Posteriormente se separó la muestra con un tamiz de 100 µm de abertura de malla, lavando con agua destilada. Se recogieron en forma separada dos fracciones y se secaron en estufa a 50° C. De esta forma se obtuvieron dos fracciones de suelo con características diferentes: la fina, menor a 100 µm donde se encuentra la arcilla, limo, arena muy fina y la MO humificada o estabilizada asociada a la fracción mineral y una fracción gruesa entre 100-2000 µm que comprende a la MO lábil, joven o particulada asociada a la fracción arena que no paso por el tamiz.

2.3.3. Determinación de la materia orgánica

Se realizó siguiendo el método de Mebius (1960). Para ello se colocó 0,5 gr de suelo de la muestra lábil y 1 gr para el caso de la fracción estabilizada en un Erlenmeyer, y se agregó 10 ml de Dicromato de potasio ($\text{Cr}_2\text{O}_7\text{K}_2$). Luego se colocaron 20 ml de ácido sulfúrico, se agitó suavemente y se dejó reposar.

Para la valoración por retroceso, se diluyó la disolución agregando agua destilada hasta completar 100 ml. De allí se extrajo una alícuota de 20 ml, y se le incorporó 40 ml de agua destilada, 2 ml de ácido sulfúrico y 4 gotas de indicador N-fenilntranílico, y se agitó. Finalmente se valoró esa disolución con Sal de Mohr 0,1 N, hasta el viraje de color.

2.3.3.1. Cálculos de materia orgánica

Los resultados se calcularon mediante la siguiente ecuación:

$$\%MO = ml \text{ } Cr_2O_7K_2 \times \left(1 - \frac{T}{S}\right) \times 1,34$$

Donde:

T: ml de disolución ferrosa gastados en la valoración de la muestra

S: ml de disolución ferrosa gastados en la valoración del ensayo en blanco

Para 0,5 g de suelo el factor 1,34 se deduce de:

$$Normalidad \text{ } Cr_2O_7K_2 \times \frac{12}{4000} \times \frac{1,72}{0,77} \times \frac{100}{0,5} = 1,34$$

Donde:

1,72: factor de transformación de carbono orgánico en materia orgánica.

12/4000: peso en meq del C.

0,77: factor de recuperación del método, está comprobado que el 77 % del Carbono se oxida con el dicromato.

2.4. Análisis estadístico de los resultados

Los datos fueron analizados mediante un ANOVA y las comparaciones múltiples de medias se realizaron a través del test LSD Fisher cuando se compararon los tratamientos de labranza a diferente profundidad, y el test DGC cuando se compararon las dos rotaciones analizadas. Se utilizó para ello el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2011).

La situación de mínimo disturbio se encuentra fuera del sitio experimental por lo que para su comparación con los tratamientos se utilizó un test de comparación de medias con diferente varianza.

CAPÍTULO 3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Efecto de los diferentes sistemas de labranza sobre el contenido de materia orgánica total y sus fracciones estabilizada y lábil

El contenido de MOT manifestó diferencias entre los sistemas de labranza, observándose los mayores valores en aquellos tratamientos con menor remoción del suelo. En la Tabla 1 se presentan los datos expresados en g.kg^{-1} de suelo, donde se observa que en los primeros 10 cm de profundidad no hubo diferencias significativas entre LR y SD, mientras que sí las hubo entre éstas y LC, donde la media fue menor en un 14%. Para la profundidad 10 a 20 cm, el valor promedio mayor se encontró en LR y se manifestaron diferencias significativas con SD y LC, siendo éstas inferiores en un 13% y 9%, respectivamente.

Tabla 1. Contenido de materia orgánica total en la capa superficial del suelo en diferentes sistemas de labranzas

| Tratamientos | Materia Orgánica Total (g kg^{-1} Suelo) | |
|-----------------------|--|---------|
| | Profundidad (cm) | |
| | 0 - 10 | 10 - 20 |
| Labranza Reducida | 19,8 A | 16,6 A |
| Siembra Directa | 18,2 A | 14,4 B |
| Labranza Convencional | 16,4 B | 15,1 B |

Para cada profundidad, letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos, según test de comparación de medias LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

Estos resultados evidencian el efecto que ejerce la intensidad de remoción del suelo dependiendo de la labranza sobre el contenido de MOT. Se observó estadísticamente en los primeros 10 cm de profundidad, un mayor nivel de MO hacia los sistemas de menor remoción, coincidiendo con lo planteado por Heredia *et al.* (2012) quienes determinaron tras un relevamiento de diferentes campos de productores de la localidad de 9 de Julio (Buenos Aires) correspondientes a Hapludoles énticos de la serie Norumbega, luego de 17 años de agricultura, un valor promedio de 1,48% y 0,91% de MO para SD y LC, respectivamente.

En un estudio realizado por González *et al.* (2008), en un Argiudol típico del campo experimental del INTA Balcarce, en una rotación agrícola iniciada en el año 1997 con dos sistemas de labranza: SD y LC, observaron que en los primeros 5 cm de profundidad los valores de COT tendieron a ser mayores en SD (24,48 g kg⁻¹ de suelo) encontrando diferencias significativas con LC (19,12 g kg⁻¹ de suelo).

En el mismo sentido, Arzeno *et al.* (2004), evaluaron en parcelas de largo plazo de la EEA del INTA de Salta, sobre un suelo franco degradado Ustocrepte údico (serie Cerrillos) cuatro sistemas de labranza: SD, labranza mínima vertical, labranza mínima con disco y LC. Obtuvieron valores medios de 20.78, 21.96, 18.44 y 16.2 g kg⁻¹ de MO, respectivamente en los primeros 20 cm de profundidad, observando una tendencia a incrementarse la MO en la medida en que los sistemas de labranza fueron menos agresivos (menos labranza y mas cobertura).

Galantini *et al.* (2012), en un ensayo localizado en Tornquist (Buenos Aires) iniciado en el año 1986 con dos sistemas de labranza: SD y LC, en un Argiudol típico, obtuvieron diferencias significativas en carbono orgánico total (COT), como consecuencia de una mayor acumulación en SD, con valores de 49,05 Mg ha⁻¹ contra 42,78 Mg ha⁻¹ en LC, obtenidos en los primeros 20 cm de profundidad. Este resultado arrojó un 15% más de MO a favor de la SD en un ensayo de larga duración.

Con el propósito de realizar una comparación entre labranzas y tomando como 100% al valor más elevado de MOT -en este caso LR- se observó en los primeros 10 cm de profundidad una disminución del 8% y 17% para SD y LC respectivamente. No obstante cabe recordar que las diferencias de MOT entre LR y SD no son significativas. En la profundidad de 10 a 20 cm, con respecto a LR, los valores fueron 13% menores para SD y 9% para LC. Estas diferencias pueden estar asociadas a la forma y profundidad a la que trabaja la labranza reducida, en este caso con arado de cinceles, y a los efectos que esta labor produce sobre la homogeneidad física del perfil, generando enterramiento de rastrojos (del orden del 30%) y mejorando la exploración de raíces en profundidad, lo cual significa un mayor aporte de CO, respecto a SD.

El hecho de que a mayor profundidad el menor registro de MOT fue para SD (1,44%), si bien no hubo diferencias significativas con respecto a LC (1,51%), puede deberse a un efecto de estratificación de la MO debido a la falta de incorporación de restos vegetales en el caso de SD, contrario a lo que ocurre en LC. Varios estudios demuestran que el sistema de labranza afecta marcadamente la distribución de la MO en el perfil. En este sentido, Álvarez *et al.* (2010), pudieron determinar que en sistemas con incorporación de residuos y mezclado de la capa superficial suele encontrarse una concentración de CO más o menos

constante hasta la profundidad de labranza, mientras que bajo SD el carbono está estratificado, siendo mayor la concentración en los primeros centímetros del suelo. Esto se debe a que donde no se labra, la mayor parte del aporte de carbono de los residuos vegetales se produce en la superficie del suelo.

La LR genera una mínima disrupción del suelo, produciendo el fisuramiento del espesor trabajado, con mínimo enterramiento de rastrojos. Este comportamiento podría ser la causa de la mínima diferencia hallada con respecto a SD, en la que sólo se produce una pequeña remoción en la profundidad de siembra.

Es ampliamente reconocido que el laboreo conservacionista y particularmente la SD, producen una menor oxidación del carbono (C) que el laboreo convencional. Esto se debe, en primer lugar, a que la falta de laboreo favorece la formación de agregados y que éstos encapsulan el C y por otro lado, a la modificación del ambiente edáfico: la densidad, la distribución del tamaño de poros, la temperatura, la humedad y la aireación se combinan restringiendo la biodegradación del C (Andriulo *et al.*, 2008). Por su parte, Cabrera *et al.* (2012) sostienen que en los sistemas de laboreo menos agresivos se establece un equilibrio dado por el menor ingreso de residuos al interior del suelo, siendo esto compensado por una menor tasa de mineralización en el suelo no removido.

En este sentido, Hevia *et al.* (2008) en un estudio realizado en el campo experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa, en un Haplustol éntico, adjudicaron el mayor contenido de CO en la superficie del suelo bajo sistema de SD a la menor descomposición de los residuos y a la reducción de las pérdidas por erosión debido a la alta cobertura de residuos en superficie que éste sistema produce. En cambio, los sistemas convencionales de labranza incorporan residuos al suelo, pero simultáneamente favorecen condiciones de mayor oxidación, aumentando la actividad microbiana y la degradación del CO del suelo.

El programa de investigación sobre el cual se llevó a cabo este trabajo se inició en agosto de 1994 y según Lardone (2009) quien trabajó en el mismo ensayo, el contenido de MOT al iniciar el proyecto fue de 1,62%. En el año 2009, el nivel de MO que obtuvo de los primeros 7 cm de profundidad para el tratamiento SD fue de 1,82%, similar a los valores obtenidos en el presente trabajo, y con respecto a LR fue menor (1,61%). En cambio para LC el valor encontrado por Lardone (2009) fue de 1,28%, siendo más bajo que el hallado en este trabajo. Estas diferencias pueden estar asociadas al efecto de los tratamientos, pero también pueden deberse a variaciones relacionadas al cultivo antecesor previo a la determinación, a la masa de rastrojo presente o aportada por éste cultivo, al momento de muestreo, a diferencias

en el espesor de suelo muestreado, a la metodología empleada para la determinación de la MOT, entre otros aspectos.

La separación de la MO en fracciones físicas de diferentes tamaño y estabilidad es de importancia para el estudio de la fertilidad del suelo. De este modo se obtuvieron las fracciones estabilizada y lábil, con una proporción respecto a la MOT de 95,4% y 4,6%, respectivamente. Éstas son proporciones similares a las obtenidas por Albanesi y Anriquez (2010), quienes trabajaron en Haplustoles énticos y típicos, del Departamento Moreno provincia de Santiago del Estero. En el mismo sentido Galantini (2008) expresa que las fracciones más abundantes son la de ciclado más lento y necesitan gran cantidad de años para observar los cambios en su contenido debidos al manejo.

En el caso de la fracción estabilizada de la materia orgánica (Tabla 2), no se encontraron diferencias significativas entre LR y SD en los primeros 10 cm de suelo, pero si entre éstas y la LC. En cambio para la profundidad 10 a 20 cm no hubo diferencias significativas entre los distintos sistemas de labranzas. Si se observó, al igual que en MOT, un tendencia a disminuir el contenido de CO cuando es más intensa la labor.

Tabla 2. *Contenido de materia orgánica estabilizada en la capa superficial del suelo en diferentes sistemas de labranza*

| Tratamientos | Materia Orgánica Estabilizada (g kg ⁻¹ Suelo) | |
|-----------------------|--|---------|
| | Profundidad (cm) | |
| | 0 - 10 | 10 - 20 |
| Labranza Reducida | 17,9 A | 15,2 A |
| Siembra Directa | 17,6 A | 15,1 A |
| Labranza Convencional | 15,6 B | 14,2 A |

Para cada profundidad, letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos, según test de comparación de medias LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

Estas diferencias halladas en el espesor de 0-10 cm entre la materia orgánica estabilizada (MOE) de las labranzas conservacionistas y la LC, no coinciden con lo expresado por otros investigadores como Cambardella y Elliot (1992), Eiza *et al.* (2004), Galantini (2008) quienes sostienen que son los componentes más lábiles de la MO del suelo, los que sufren mayores variaciones debidas al manejo en el corto y mediano plazo (hasta 20 años). Este resultado podría estar asociado a diferencias en la metodología utilizada en la separación de las fracciones, para la cual en el presente trabajo se utilizó un tamiz de 100 μ m para separar la fracción lábil de la estabilizada, mientras que en los otros trabajos mencionados se utilizó un tamiz de 53 μ m. Esta divergencia en la metodología podría

permitir, como en el caso del presente trabajo, que una proporción mayor de material joven pasara a la fracción estabilizada, generando las diferencias observadas.

Sin embargo, en concordancia con los resultados del presente trabajo, algunas investigaciones como la de Galantini *et al.* (2012) en un Argiudol típico del partido de Tronquist (Buenos Aires), en un ensayo con 23 años de SD y LC, encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en la fracción mineral (0-50 μm) en los primeros 20 cm de profundidad, siendo superior en SD sobre LC, aduciendo que la acumulación superficial de los residuos en SD favorece la acumulación de fracciones lábiles, pero también genera un ambiente más húmedo en el que las transformaciones y los procesos de humificación se pueden ver estimulados.

En el mismo sentido, Basanta *et al.* (2012), en un Haplustol éntico del INTA Manfredi (Córdoba), luego de 26 años de estudio con diferentes sistemas de labranza, encontraron en los primeros 5 cm de profundidad diferencias en el contenido de CO asociada a la fracción mineral (0-50 μm), siendo significativamente superior en SD sobre labranza vertical (LV) y LC, adjudicando este efecto a que dentro de éste fragmento existe una fracción (mayor a 20 μm) compuesta por restos vegetales no tan fuertemente asociados a los minerales y que podrían ser modificados por el manejo.

En cuanto al contenido de MO en la fracción lábil (Tabla 3), no se encontraron diferencias significativas en los primeros 10 cm de profundidad entre los tratamientos, con una tendencia a disminuir el valor en el sentido LR, SD, LC. En cambio, en la profundidad 10 a 20 cm, se manifestó una diferencia significativa a favor de LC, respecto al resto de los tratamientos, resultando un 33% superior a éstos. El motivo por el cual a mayor profundidad el contenido de MO fue mayor en LC, puede deberse a la incorporación de restos vegetales y una mayor homogenización del horizonte, debido al mezclado de la capa superficial, respecto a los sistemas de labranza con mínima remoción, como se explicó anteriormente.

Por otro parte, la ausencia de diferencias significativas entre labranzas en el primer espesor podría estar asociado al elevado coeficiente de variación entre las muestras (14,34%), a la metodología de muestreo relacionada al número de muestras tomadas, lo cual puede influir en el error experimental, y por otro lado al espesor de la muestra, que en este caso fue de 10 cm, mientras que en otros trabajos donde se han encontrado diferencias significativas, las muestras corresponden a un espesor inferior que va de 0-5 cm e incluso de 0-1 cm (Galantini *et al.*, 2004; Galantini *et al.*, 2012; Basanta *et al.*, 2012). Esta diferencia podría haber ocasionado en los resultados hallados en el presente trabajo, un efecto “de dilución” en la concentración de materia orgánica lábil (MOL) en el espesor muestreado.

Tabla 3. Contenido de materia orgánica lábil en la capa superficial del suelo en diferentes sistemas de labranza

| Tratamientos | Materia Orgánica Lábil (g kg ⁻¹ Suelo) | |
|-----------------------|---|---------|
| | Profundidad (cm) | |
| | 0 - 10 | 10 - 20 |
| Labranza Reducida | 2,4 A | 0,8 B |
| Siembra Directa | 2,2 A | 0,8 B |
| Labranza Convencional | 1,9 A | 1,2 A |

Para cada profundidad, letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos, según test de comparación de medias LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

Desde el punto de vista productivo y calidad del suelo, la dinámica de la MO total y estabilizada aporta muy poco para el estudio de los efectos en el corto plazo de las prácticas agronómicas. En cambio, las modificaciones de las propiedades del suelo producto de los distintos sistemas de labranza son reflejados mejor y de manera más temprana por la fracción lábil de la MO (Galantini, 2008). Esto fue observado por Ferrary Laguzzi *et al.* (2010), en un ensayo de larga duración sobre un Ustocrepte údico con cuatro sistemas de labranza (SD, labranza mínima vertical, labranza mínima con disco y LC), donde comprobaron que las mayores diferencias entre los sistemas de labranza se observaron en las fracciones lábiles.

Sin embargo, aunque en el presente trabajo no se pudieron apreciar diferencias estadísticamente significativas en la fracción lábil entre los distintos sistemas de labranza, se observa una tendencia a ser mayor el contenido en los sistemas con menor remoción del suelo. Esto posiblemente se debe a lo explicado por Galantini *et al.* (2004), quienes encontraron diferencias significativas en el primer cm de suelo. Cuando analizaron entre 0-5 y 5-10 cm no encontraron diferencias, y de 10 a 15 cm sólo hubo diferencias significativas a favor de LV respecto a los otros tratamientos. Este ensayo se realizó en la EEA Bordenave del INTA en un Haplustol representativo de la región semiárida Pampeana con tres sistemas de labranza (SD, LR y LC) en una rotación trigo-avena durante 5 años. En términos generales, en LC los valores de COP fueron homogéneos en los primeros centímetros de suelo, como consecuencia de la incorporación y mezclado de los residuos. En la medida que el laboreo del suelo fue menor se observó una estratificación cada vez mayor del COP. Las diferencias estadísticas se localizaron en el primer centímetro, donde la SD presentó los valores más elevados.

3.2. Efecto de una labor de descompactación subsuperficial sobre el contenido de materia orgánica en un sistema de siembra directa

Numerosos trabajos han observado que los sistemas de labranza conservacionistas incrementan la MO del suelo respecto a los sistemas de labranza convencional (Apesteuguía y Sereno, 2008; Lardone, 2009). Sin embargo, éste incremento de la MO en los planteos de SD se concentra en los primeros centímetros del suelo (Álvarez y Steinbach, 2006; Sainju *et al.*, 2006; Galantini *et al.*, 2004), además de producirse procesos de compactación superficial debidos a la mínima remoción y tráfico continuo de elevado peso (Balbuena *et al.*, 2009).

Con respecto al contenido de MOT y las fracciones estabilizada y lábil (Tabla 4), la introducción de una labor de descompactación subsuperficial en un sistema de SD no generó diferencias significativas al compararla con la situación sin intervención mecánica. Este resultado coincide con lo observado por Melero *et al.* (2011) en un suelo franco arcilloso, donde la realización de una labor de cincelado en un sistema con 8 años de SD, no modificó el nivel de MO, especialmente en los primeros 5 cm de profundidad.

Tabla 4. Contenido de materia orgánica total, estabilizada y lábil de la capa superficial del suelo en un sistema de siembra directa con una labor de descompactación

| Materia Orgánica Total (g kg⁻¹ Suelo) | | |
|---|-------------------------|----------------|
| Tratamientos | Profundidad (cm) | |
| | 0 - 10 | 10 - 20 |
| Con Descompactación | 19,4 A | 15,2 A |
| Sin Descompactación | 18,2 A | 14,4 A |

| Materia Orgánica Estabilizada (g kg⁻¹ Suelo) | | |
|--|-------------------------|----------------|
| Tratamientos | Profundidad (cm) | |
| | 0 - 10 | 10 - 20 |
| Sin Descompactación | 17,6 A | 15,1 A |
| Con Descompactación | 17,0 A | 14,7 A |

| Materia Orgánica Lábil (g kg⁻¹ Suelo) | | |
|---|-------------------------|----------------|
| Tratamientos | Profundidad (cm) | |
| | 0 - 10 | 10 - 20 |
| Con Descompactación | 2,8 A | 0,9 A |
| Sin Descompactación | 2,2 A | 0,8 A |

Para cada profundidad, letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos, según test de comparación de medias LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

Hasta el presente la labor mecánica no ha modificado el contenido de MOT y sus fracciones. No obstante, es importante destacar que la descompactación modifica otras propiedades del suelo como infiltración y resistencia mecánica a la penetración, que podría beneficiar el crecimiento y desarrollo de los cultivos agrícolas en SD continua, preservando la cobertura superficial que este sistema genera.

En este sentido, Tourn *et al.* (2012) en un ensayo en el sudeste de Buenos Aires, sobre un Argiudol típico con 18 años de SD, encontró diferencias significativas en la velocidad de infiltración, siendo aproximadamente 150% más alta cuando se utilizó un descompactador tipo *paraplow*, debido a que este tipo de remoción del suelo genera condiciones de geometría de poros que favorecen el movimiento del agua a través del perfil.

Conclusiones similares obtuvieron Reposo y Bonvecchi (2012) en un ensayo en Luján, provincia de Buenos Aires, en un Argiudol típico Serie Mercedes, con 10 años de SD continua, donde los efectos sobre la resistencia mecánica perduraron hasta 8 meses post-labor, y la disrupción de la capa compactada mediante el pasaje del subsolador produjo un incremento significativo de la infiltración básica que persistió hasta la cosecha del cultivo de verano, cuando la labor fue realizada previo a la implantación del mismo.

En este sentido, Rovera (2013), en un Haplustol údico del sur de Córdoba observó que el efecto de una labor de descompactación en SD continua, incrementaba el agua infiltrada, disminuía el escurrimiento superficial y la erosión hídrica y aumentaba el rendimiento de un cultivo de maíz en un 13,7% respecto a la SD sin descompactar. Gómez (2012) en similar situación de suelo y cultivo y Sánchez (2012) en un Hapludol típico de la misma región, observaron que la inclusión de una labor de descompactación mejora la condición física para la exploración de las raíces al disminuir la resistencia mecánica en el espesor de suelo trabajado, en comparación con un suelo manejado en SD continua. Por su parte Bergesio (2011) en un Haplustol típico obtuvo una diferencia de aproximadamente 10 quintales en el rendimiento de maíz a favor de la SD descompactada.

Si se consideran los efectos positivos que la inclusión de este tipo de labor realiza sobre el suelo, el ambiente y el rendimiento de los cultivos, se podría esperar en el mediano y largo plazo que los contenidos de MO del suelo, a partir de la inclusión de este tipo de labores, se incrementen debido a la disminución de pérdidas por erosión y al aumento en el aporte de biomasa aérea y radicular al incrementarse los rendimientos.

3.3. Comparación del contenido de materia orgánica de la rotación agrícola con una situación de mínimo disturbio

Se puede observar analizando la Tabla 5, que los sistemas de labranzas para la implantación de los cultivos han disminuido considerablemente los niveles de MO con respecto a la situación de la que se presume que partieron. Estos resultados son similares a los explicados por Bongiovanni *et al.* (2000), quienes compararon el contenido de MOT de un Haplustol típico franco arenoso, ubicado en el área central de la provincia de Córdoba, de una situación no disturbada correspondiente al monte natural con otra disturbada donde el suelo era cultivado desde hace aproximadamente 40 años. Concluyeron que el contenido de CO total disminuyó en casi tres veces, desde 2,82% en el suelo no disturbado a 1,07 en el disturbado.

En este caso, se encontraron diferencias significativas en el contenido de MOT entre todos los tratamientos, siendo el valor del MD aproximadamente cuatro veces mayor que el resto de los casos. Con respecto a la MO estabilizada y lábil, solo existen diferencias significativas entre MD y los demás sistemas de labranzas.

Tabla 5. Contenido de materia orgánica total, estabilizada y lábil de tres sistemas de labranza y una situación de mínimo disturbio para la profundidad de 0 a 10 cm

| Tratamientos | Materia Orgánica (g kg ⁻¹ Suelo) | | |
|-----------------------|---|-----------------|----------|
| | MO Total | MO Estabilizada | MO Lábil |
| Mínimo Disturbio | 87,9 A | 59,4 A | 32,0 A |
| Labranza Reducida | 19,8 B | 17,9 B | 2,4 B |
| Siembra Directa | 18,2 C | 17,6 B | 2,2 B |
| Labranza Convencional | 16,4 D | 15,6 B | 1,9 B |

Para cada columna, letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos, según test de comparación de medias LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

Con el propósito de realizar una comparación entre los tratamientos, se observa para MOT una disminución del 80% en los diferentes sistemas de labranza con respecto a la situación de MD, para los primeros 10 cm de profundidad. En este sentido, Martínez Uncal *et al.* (2006) determinaron que la disminución de MO en el horizonte superficial fue de alrededor de 11,8 tn/ha al pasar de un suelo virgen con bosque de caldén, a un suelo agrícola de 30 años. Por otra parte, Verri (2004) en el mismo ensayo, obtuvo diferencias significativas entre la situación de mínima alteración y el sistema agrícola puro, siendo en

este último un 70% menos la MOL y un 50% inferior la MOE con respecto a la situación de mínimo disturbio.

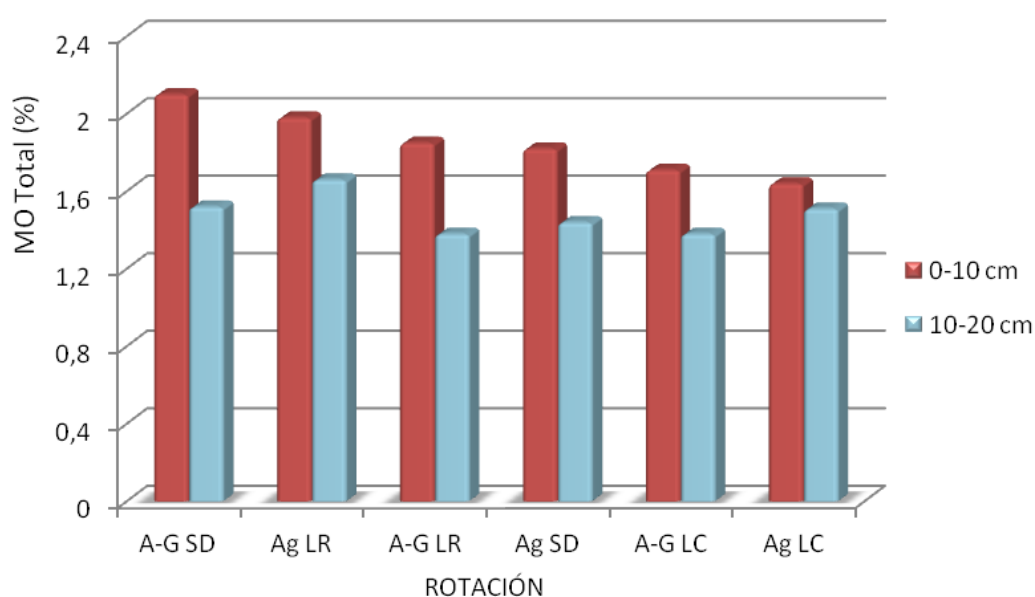
El incremento de la actividad agrícola produce cambios en la condición original del suelo a medida que transcurre el tiempo, dado que la puesta de un cultivo implica una aceleración de la mineralización y una disminución exponencial en el contenido de MO (Martínez Uncal *et al.*, 2006). Esta disminución en los contenidos de materia orgánica, no solo afecta a esta propiedad química como tal, sino también a la fertilidad del suelo y produce modificaciones en otras propiedades físicas de los mismos. Tomando como ejemplo una situación de monte, el horizonte superficial, el cual está en contacto con la broza, presenta las mejores condiciones físicas, evidenciadas por los bajos valores de densidad aparente y muy elevada porosidad. Eso hace también que sus valores de impedancia mecánica sean muy bajos y se genere un ambiente muy apropiado para la infiltración, circulación y almacenamiento del agua (Parera, 2006; Príncipe, 2011).

Como se explicó anteriormente, la introducción de los sistemas agrícolas produce la disminución del contenido de MO hasta llegar a un equilibrio luego de varios años, donde si se adoptan medidas conservacionistas es posible lentamente incrementar ese nivel aumentando las ganancias o disminuyendo las pérdidas de MO, y en este caso el sistema de SD y LR favorecen esta situación, y por eso se supone que las labranzas conservacionistas tienden a ir hacia la situación de partida.

3.4. Efecto del uso del suelo sobre el contenido de materia orgánica total y sus fracciones

De la comparación de los resultados obtenidos con lo ocurrido en una rotación agrícola-ganadera ubicada en el mismo lote, cuyos datos se obtuvieron del trabajo realizado por Massobrio (2012), surge que la MOT no arrojó diferencias significativas cuando se compararon los dos usos de suelos con los tres sistemas de labranza, para ninguna de las profundidades estudiadas (Figura 1).

Figura 1. Efecto combinado de la rotación y sistema de labranza sobre el contenido de materia orgánica total para la profundidad de 0 a 20 cm



Referencias: Ag SD: Rotación agrícola, siembra directa; Ag LR: Rotación agrícola, labranza reducida; Ag LC: Rotación agrícola, labranza convencional; A-G SD: Rotación agrícola ganadera, siembra directa; A-G LR: Rotación agrícola ganadera, labranza reducida; A-G LC: Rotación agrícola ganadera, labranza convencional.

La tendencia general, muestra que para la profundidad 0 a 10 cm, cada sistema de labranza registra su mayor contenido de MOT en la rotación agrícola-ganadera que en la agrícola pura, salvo en LR. A su vez, el menor contenido de MO se observa en LC, y el mayor en SD en el sistema agrícola-ganadero. Esto puede deberse a que la inclusión de una pastura contribuye al aumento en el aporte de restos orgánicos vegetales, y la no remoción de los suelos durante este periodo genera una menor mineralización de la materia orgánica nativa (Álvarez y Steinbach, 2006). A su vez, con relación a los cultivos agrícolas las

pasturas pueden representar un mayor aporte de carbono al suelo porque sostienen un elevado aporte de biomasa radical, tienen ciclos de crecimientos que exceden una estación climática, se efectúa una mínima remoción de suelos, sus residuos pueden descomponerse más lentamente, y a su vez bajo manejo adecuado minimizan el riesgo de erosión (Marino *et al.*, 2012).

En la profundidad de 10-20 cm, los valores de MOT mostraron mayor uniformidad entre tratamientos de labranza y rotaciones que en el espesor superior, esto posiblemente debido a que los mayores aportes y pérdidas de materiales orgánicos se concentran en la capa superficial, por lo que a mayor profundidad podrían atenuarse los efectos de las rotaciones sobre el contenido de MO. El mayor contenido de MOT se encuentra en el sistema agrícola LR, posiblemente asociado al enterramiento de residuos hasta el nivel de muestreo, y por otro lado por producir un cierto incremento en la mineralización de la MO nativa.

Analizando la tendencia general observada en MOT, se puede apreciar el efecto de la agricultura continua sobre el aporte y la acumulación de restos orgánicos, como así también sobre las pérdidas principalmente por mineralización y en consecuencia en el contenido de MO respecto a las rotaciones agrícola-ganaderas, en las que se produce menor remoción del suelo como lo fue demostrado por Hevia *et al.* (2003) afirmando que cambios de uso y manejo de la tierra, como la conversión de pastizales en campos agrícolas, traen a menudo aparejados pérdidas substanciales de la MO.

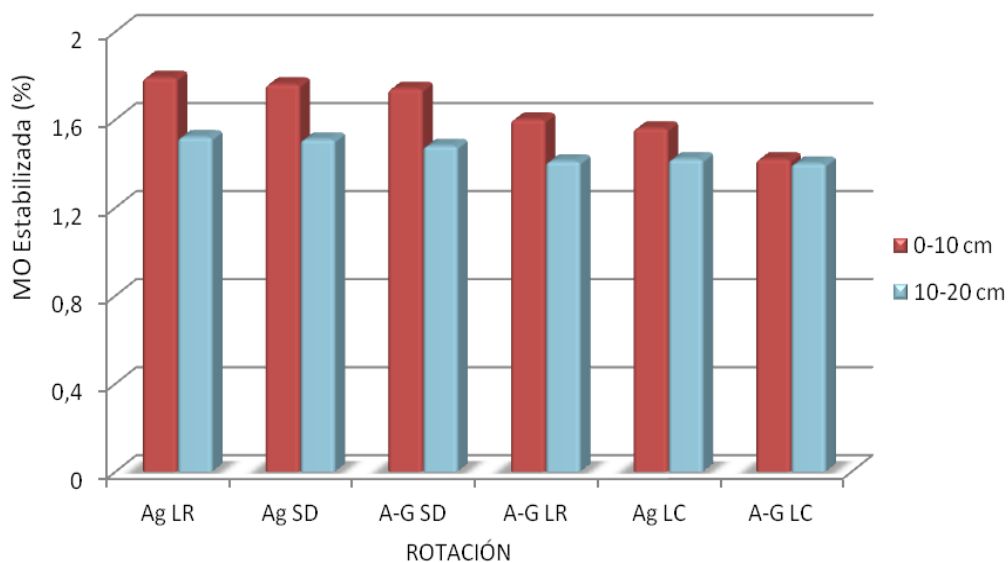
En el mismo sentido, Fernández *et al.* (2010), evaluaron dos situaciones de producción en la Región Pampeana en SD, una con agricultura continua y un sistema agrícola-ganadero muestreado a los 4 años desde la ruptura de la última pastura. Los resultados no arrojaron diferencias significativas entre los tratamientos para la MOT, encontrando en los primeros 5 cm de profundidad valores de 37,44 y 35,18 gr kg⁻¹ de suelo, para la rotación agrícola-ganadera y agrícola pura respectivamente. En la profundidad 5-20 cm, los valores fueron inferiores que en el estrato superior, en coincidencia con lo observado en el presente trabajo, pero tampoco fueron significativos, siendo mayor el contenido de COT en la rotación agrícola-ganadero (27,53 gr kg⁻¹) con respecto a la agrícola pura (26,86 gr kg⁻¹).

En otra situación, estudiada por Bongiovanni y Degioanni (2012) en diferentes campos del suroeste de Córdoba, analizando tres rotaciones: Agrícola (soja-maíz), Agrícola-Ganadera (verdeos de invierno y soja en rotación) y Gramíneas (pasturas de gramíneas por más de 20 años), encontraron un incremento en el contenido de MOT en la situación Gramíneas para la profundidad 0-10 cm, principalmente debido a la acumulación en los primeros centímetros, tanto de broza remanente como a lo aportado por las raíces. Mientras

que, en la profundidad 0-20 cm no se encontraron diferencias significativas, debido a la gran variabilidad dentro de cada situación. Para los usos agrícola y agrícola-ganadero no se encontraron diferencias en los contenidos de MOT.

Por su parte, Eiza *et al.* (2006) observaron en un ensayo de larga duración, que la inclusión de pasturas luego de períodos agrícolas permite la recuperación de la MO perdida durante dicho período, independientemente del sistema de labranza utilizado durante el mismo. Estos autores pudieron determinar que los períodos bajo agricultura se asocian en general a una disminución en las concentraciones de MO a través de los años, siendo tales caídas más marcadas bajo LC, y que el uso de SD permite mantener los niveles de MO alcanzados luego de períodos bajo pastura pero solo en los primeros 5 cm del perfil, no impidiendo la caída en las capas de 5-20 ni de 0-20 cm de profundidad. Bajo pastura hay una menor remoción, una elevada densidad de raíces de gramíneas en los primeros centímetros del suelo y un gran aporte de restos de la biomasa, lo que favorece la acumulación de MO.

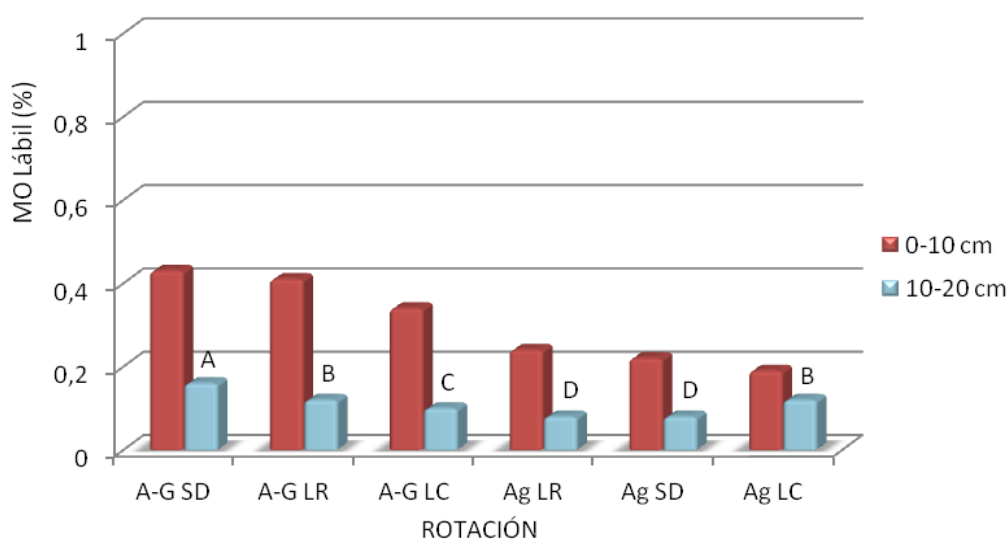
Figura 2. Efecto combinado de la rotación y sistema de labranza sobre el contenido de materia orgánica estabilizada para la profundidad de 0 a 20 cm



Referencias: Ag SD: Rotación agrícola, siembra directa; Ag LR: Rotación agrícola, labranza reducida; Ag LC: Rotación agrícola, labranza convencional; A-G SD: Rotación agrícola ganadera, siembra directa; A-G LR: Rotación agrícola ganadera, labranza reducida; A-G LC: Rotación agrícola ganadera, labranza convencional.

En cuanto a la fracción estabilizada de la MO (Figura 2), en los primeros 10 cm de suelo se pudo observar una tendencia a favor de los sistemas de labranza conservacionista respecto a LC, y los mayores contenidos de MOE se registraron en la rotación agrícola pura con respecto a la agrícola-ganadera. En la profundidad de 10-20 cm, la tendencia fue la misma pero los datos fueron más homogéneos que en el estrato superior. Para las dos profundidades, la MOE fue mayor en LR y SD de la rotación agrícola, y menor para LC. Si bien los valores muestran la tendencia mencionada y presentan variaciones entre ellos, para esta situación en particular, es difícil atribuir esta diferencia a algún efecto de la rotación o de los sistemas de labranza, ya que las diferencias no fueron significativas para el modelo estadístico.

Figura 3. Efecto combinado de la rotación y sistema de labranza sobre el contenido de materia orgánica lábil para la profundidad de 0 a 20 cm



En el gráfico, letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos, según test de comparación de medias DGC ($p \leq 0,05$). Referencias: Ag SD: Rotación agrícola, siembra directa; Ag LR: Rotación agrícola, labranza reducida; Ag LC: Rotación agrícola, labranza convencional; A-G SD: Rotación agrícola ganadera, siembra directa; A-G LR: Rotación agrícola ganadera, labranza reducida; A-G LC: Rotación agrícola ganadera, labranza convencional.

Respecto a la fracción lábil de la MO (Figura 3) en los primeros 10 cm de profundidad se aprecia un mayor contenido de MO a favor de los sistemas conservacionistas y de la rotación agrícola-ganadera, respecto a la LC, aunque para el modelo estadístico estas diferencias no son significativas. La tendencia demuestra que la MOL fue menor en la

rotación agrícola pura que la agrícola-ganadera, posiblemente a causa de los sucesivos laboreos y un menor aporte de restos orgánicos por parte de los cultivos anuales.

Únicamente para la profundidad de 10-20 cm se apreciaron diferencias significativas, las cuales manifestaron que el contenido más alto de MOL se obtuvo en la rotación agrícola-ganadera en SD. La tendencia general muestra una disminución del contenido de MO de la rotación agrícola-ganadera a la agrícola pura, y de los sistemas conservacionistas hacia la LC, a excepción de esta última en el sistema agrícola puro, donde supero a SD y LR. Además, y a diferencia del estrato superficial en el cual todos los tratamientos de la rotación agrícola-ganadera superaron a los de la rotación agrícola, la LC de la rotación agrícola supero a la SD y LR. Estas diferencias pueden estar asociadas a la forma y profundidad a la que se trabaja en labranza convencional, generando enterramiento de residuos orgánicos y la ruptura de agregados, resultando en un contenido de MOL un tanto superior respecto a SD y LC.

En coincidencia con las tendencias observadas, Galantini *et al.* (2006) en una amplia red de ensayos en suelos de la Región Pampeana y analizando el efecto de diferentes secuencias de cultivos, entre ellas la pastura permanente y la combinación de la misma con SD y LC, observaron incrementos en los niveles de MOP luego de un periodo de pasturas. Encontraron una zona de acumulación de MOP en los primeros 5 cm de profundidad, ocurrido en principio por una menor remoción y una mayor densidad de raíces de gramíneas en los primeros centímetros del suelo bajo pastura, junto a una mayor acumulación de residuos de cosecha bajo SD, lo que permite mantener los niveles de MOP alcanzados luego de períodos bajo pastura. Pero no es posible sostener la misma afirmación para las capas de 5-20 y 0-20 cm de profundidad, en las que SD no impidió la caída de MOP. Por tal motivo, concluyen que la inclusión de pastura permite la recuperación de la MOP perdida durante períodos agrícolas, independientemente del sistema de labranza utilizado durante los mismos.

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES

La implementación de un sistema de labranza con mínima remoción del suelo como es el caso de la siembra directa y labranza reducida permite incrementar los niveles de materia orgánica total y estabilizada, esencialmente en los primeros centímetros de profundidad, respecto a la labranza convencional.

Todos los sistemas de labranza presentaron un nivel de materia orgánica total, lábil y estabilizada inferior al de la situación con mínimo disturbio antrópico (MD).

La fracción de la materia orgánica lábil no presenta diferencias significativas entre los sistemas de labranza en los primeros 10 cm del suelo, aunque se observa una tendencia a aumentar en los sistemas conservacionistas.

En la profundidad de 10-20 cm, la fracción lábil es superior en labranza convencional con respecto a los tratamientos con mínima remoción, debido al efecto de incorporación de residuos orgánicos en profundidad que esta labranza produce.

Para el caso en estudio, la inclusión de una labor de descompactación subsuperficial en siembra directa no modificó el contenido de materia orgánica total y la de sus fracciones.

La implantación de pasturas perennes permite recuperar el contenido de materia orgánica del suelo luego de un período agrícola, aunque las diferencias no son significativas.

La implantación de pasturas perennes incrementa la materia orgánica lábil del suelo, respecto a la rotación agrícola pura, aunque las diferencias son significativas solo en el espesor de 10-20 cm.

BIBLIOGRAFÍA

- ALBANESI, A. y A. ANRIQUEZ. 2010. La cantidad total y el fraccionamiento de carbono orgánico como indicadores de calidad de sitios en agroecosistemas de la región chaqueña. **XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Rosario, Argentina.
- ÁLVAREZ, R. y H. STEINBACH. 2006. Efecto del sistema de labranza sobre la materia orgánica: 41-53. En: *Materia Orgánica. Valor Agronómico y Dinámica en suelos pampeanos*. Álvarez R. (coord.). Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina. 423 p.
- ÁLVAREZ, R. y H. STEINBACH. 2010. Efecto del uso agrícola sobre el nivel de materia orgánica: 181-199. En: *Fertilidad de Suelos. Caracterización y manejo en la región pampeana*. Álvarez R. (coord.). Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina. 206 p.
- ANDRIULO, A., M.C. SASAL, A.B. IRIZAR, S.B. RESTOVICH y F. RIMATORI. 2008. Efecto de diferentes sistemas de labranzas, secuencia de cultivo y de la fertilización nitrogenada sobre los stocks de C y N edáficos: 117-129. En: *Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina*. Galantini J. (Editor). Editorial de la Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina. 308 p.
- APESTEGUÍA, H. y R. SERENO. 2008. Sustancias húmicas y otras fracciones de la materia orgánica en el bosque nativo y en suelos cultivados: 131-143. En: *Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina*. Galantini, J. (Ed.) Editorial de la Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina. 308 p.
- ARZENO, J.L., E.R. CORVALAN, D.J. HUIDOBRO, A. FRANZONI y D.A. MATTA. 2004. Indicador de la calidad de suelo: relación de la materia orgánica entre dos profundidades: 0-5 y 0-20 cm. **XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Paraná, Argentina.
- BALBUENA, R.H., G.F. BOTTA y E.R. RIVERO. 2009. *Herramientas de Labranza para la descompactación del suelo agrícola*. Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires, Argentina. 205p.
- BASANTA, M.V., C. CESARETTI, E. LOVERA y M.L. GHIOTTI. 2012. Efecto de labranzas sobre fracciones de carbono en una experiencia de larga duración. **XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Mar del Plata, Argentina.

- BECERRA, V., G. CIMADEVILLA, J. DE PRADA, A. GEYMONAT, H. GIL, J.J. MIRAS, G. CALVI y D. CEDRIANI. 1999. **Plan Director**. ADESUR (Asociación interinstitucional para el desarrollo del sur de Córdoba). Edición: Depto. Prensa y Publicaciones. Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- BECKER, A.R., M.P. CANTÚ, H.F. SCHIAVO y J.I. OSANA. 2001. Evaluación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la región pedemontana del suroeste de Córdoba, Argentina. **XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo**. CD. Trabajo VII 41-44.
- BERGESIO, L.B. 2011. *Persistencia del aflojamiento producido por una labor de descompactación en un sistema de producción mixto en un Haplustol típico del sur de Córdoba*. Trabajo final para optar al grado de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina.
- BONGIOVANNI, M.D., J.C. LOBARTINI y G.A. ORIOLI. 2000. Cambios en las sustancias húmicas y agregados del suelo provocadas por labranzas. **XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Mar del Plata, Argentina.
- BONGIOVANNI, M.D. y A. DEGIOANNI. 2012. Materia orgánica total y particulada en suelos con diferentes usos del sudoeste de Córdoba. **XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Mar del Plata, Argentina.
- BRICCHI, E., F. FORMIA, G. ESPOSITO, L. RIVERI y H. AQUINO. 2004. The effect of topography, tillage and stubble grazing on soil structure and organic carbon levels. *Spanish Journal of Agricultural Research*. p: 409-418.
- CABRERA, F., A. BECKER, B. PARRA y J. BEDANO. 2012. Stock de carbono orgánico en Haplustoles del centro-sur de Córdoba. **XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Mar del Plata, Argentina.
- CAMBARDELLA, C.A. y E.T. ELLIOT. 1992. *Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence*. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:777-783.
- CANTERO, A., E. BRICCHI, V. BECERRA, J. CISNEROS y H. GIL. 1984. *Zonificación y descripción de las tierras del Departamento Río Cuarto*. Talleres gráficos de la UNRC, adhesión del bicentenario de la fundación de la ciudad de Río Cuarto.
- CANTERO, A., M. CANTÚ, J. CISNEROS, J. CANTERO, M. BLARASIN, A. DEGIOANNI, J. GONZALEZ, V. BECERRA, H. GIL, J. DE PRADA, S. DEGIVANNI, C. CHOLAKY, M. VILLEGAS, A. CABRERA y C. ERIC. 1998. *Las tierras y aguas del sur de Córdoba propuestas para un manejo sustentable*. Universidad Nacional de Río Cuarto. Argentina. 119p.

- CANTÚ, M.P. 1992. Holoceno de la Provincia de Córdoba. Manual: Holoceno de la Republica Argentina. Tomo I. Ed. Doctor Martín Iriondo. Simposio Internacional sobre el holoceno en América del Sur. Paraná, Argentina.
- CASAS, R. 2005. La transformación de la agricultura argentina. Ciencia hoy. Vol. 15. Nº 87. ISS 1666-5171.
- CHRISTENSEN, B.T. 2001. *Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover*. *European J. Soil Sci.* 52: 345-353.
- CISNEROS, J.M., A. CANTERO, G.J. MARCOS, A. DEGIOANNI, E. BRICCHI, O. GIAYETTO, C. CHOLAKY, E. BONADEO, G. CERIONI y M. UBERTO. 1998. *Comportamiento de un subsolador alado, adaptable a implementos de uso común*. En: Balbuena, R. H., Benez, S. H. y D. Jorajuría (Eds.). Ingeniería Rural y Mecanización Agrícola en el ámbito Latinoamericano: 128-136. Editorial de la UNLP, Argentina.
- CISNEROS, J.M., C. CHOLAKY y A.R. REINERO. 2007. En: Documento de apoyo didáctico para el curso Uso y Manejo de Suelos. *Manejo de la condición biológica de los suelos: la materia orgánica y su dinámica*. Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina.
- DEGIOANNI, A.J. 1998. *Organización territorial de la producción agraria en la región de Río Cuarto (Argentina)*. Tesis Doctoral. Universidad de Alcalá de Henares. Departamento de geografía. Alcalá de Henares, España.
- DI RIENZO, J. A., M. BALZARINI, L. GONZALEZ, F. CASANOVES, M. TABLADA y C. ROBLEDO. InfoStat versión 2011. *Software estadístico*. Registro Dirección Nacional Derecho de Autor, obra de software, Nº 960318. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- DIOVISALVI, N.V., G.A. STUDDERT, G.F. DOMÍNGEZ y M.J. EIZA. 2006. Materia orgánica total y particulada en un molisol de Balcarce bajo dos sistemas de labranza. **XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Salta-Jujuy, Argentina.
- EIZA, M.J., M.R. BIANCHINI, F. CABRIA y G. MONTERUBBIANESI. 2002. Efecto de la labranza y la fertilización nitrogenada sobre la materia orgánica y la capacidad buffer. **XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Puerto Madryn, Chubut, Argentina.
- EIZA, M.J., N. FIORITI, G.A. STUDDERT y H.E. ECHEVERRÍA. 2004. Fracciones de carbono orgánico en la capa arable: efecto de los sistemas de cultivo y de la fertilización nitrogenada. **XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Paraná-Entre Ríos, Argentina.

- EIZA, M.J., G.A. STUDDERT y G.F. DOMINGUEZ. 2006. Dinamica de la materia organica del suelo bajo rotaciones mixtas: I. Materia organica total. **XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Salta, Argentina.
- ESPOSITO, G., C. CASTILLO, E. BRICCHI, R. BALBOA y M. ETCHEVERRY. 2008. Productividad de maíz y propiedades químicas del suelo afectadas por su uso, tipo de labranza y fertilización. **XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Paraná-Entre Ríos, Argentina. Actas pág. 79.
- FERNÁNDEZ, P.L., C.R. ÁLVAREZ y M.A. TABOADA. 2010. Sistemas agrícola-ganaderos vs. agricultura continua en siembra directa: stock de carbono y estado físico del suelo. **XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Rosario, Argentina.
- FERRARY LAGUZZI, F., R. OSINAGA, J.L. ARZENO y T. RODRIGUEZ. 2010. Fraccionamiento de la materia organica como indicador quimico de la calidad del suelo en distintos sistemas de labranza. **XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Rosario, Argentina.
- GALANTINI, J.A., ROSELL R.A. y J.O. IGLESIAS. 1994. Determinación de materia orgánica empleando el método de Walkley y Black en fracciones granulométricas del suelo. *Ciencia del Suelo*. 12: 81 - 83.
- GALANTINI, J.A., J.O. IGLESIAS, L. CUTINI, H. KRÜGER y S. VENANZI. 2004. Sistemas de labranzas: efectos sobre las fracciones orgánicas. **XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Paraná, Entre Ríos, Argentina.
- GALANTINI, J.A., J.O. IGLESIAS y R.A. ROSELL. 2005. Calidad y dinámica de las fracciones orgánicas en la región semiárida Pampeana. Conociendo el Suelo en Siembra Directa. AAPRESID. Marzo de 2005, p 21-28.
- GALANTINI, J.A., M.R. LANDRISCINI y C. HEVIA. 2006. Contenido y calidad de la materia orgánica particulada del suelo en siembra directa. **XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Salta, Argentina.
- GALANTINI, J.A. y J.O. IGLESIAS. 2007. Capacidad de secuestro de carbono y efecto de las prácticas agronómicas en suelos de la región Pampeana de Argentina. En: *Captura de Carbono en Ecosistemas Terrestres de Iberoamérica*. Ed. Juan Gallardo Lancho. Págs. 169-182. ISBN: 978-84-611-9622-7.
- GALANTINI, J.A. 2008. Fraccionamiento de la Materia Orgánica del Suelo: 19-39. En: *Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina*. Galantini J.A. (Editor). Editorial de la Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina. 308 p.

- GALANTINI, J.A. y L. SUÑER. 2008. Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de Argentina. *Agriscientia* Vol.XXV (1): 41-55.
- GALANTINI, J.A., J.O. IGLESIAS y M. DUVAL. 2012. Sistemas de labranza en el sudoeste bonaerense: efectos sobre las fracciones orgánicas. **XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Mar del Plata, Argentina.
- GODWING, R.J., G. SPOOR y M.S. SOOMRO. 1984. The effect of tine arrangement on soil forces and disturbance. *J. Agric. Engng. Res.* 30:47-56.
- GÓMEZ GIACOMELLI, G.M. 2012. *Descompactación subsuperficial y dirección de las líneas de siembra: efecto sobre la resistencia mecánica edáfica y el rendimiento de maíz*. Trabajo final para optar al grado de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina.
- GONZÁLEZ, P.B., D.A. SOSA, S. BÁRBARO y B.E. IWASITA. 2008. Evaluación de la materia orgánica en diferentes manejos de suelo. **XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Potrero de los Funes, San Luis, Argentina.
- HEREDIA, O.S., A.E. GATTI y S.V. MEAGUAD. 2012. Sistemas de labranza, el carbono y propiedades hidráulicas de hapludoles. **XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Mar del Plata, Argentina.
- HEVIA, G.G., D.E. BUSCHIAZZO, E.N. HEPPEL, A.M. URIOSTE y E.L. ANTÓN. 2003. Organic matter in size fractions of soils of the semiarid Argentina. Effects of climate, soil texture and management. *Geoderma* 116 (3-4): 265-277.
- HEVIA, G., D. BUSCHIAZZO y M. RAVIÑA. 2008. Variación estacional de compuestos orgánicos del suelo en diferentes sistemas de labranza: 147-170. En: *Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina*. Galantini J. (Editor). Editorial de la Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina. 308 p.
- JANZEN, H.H., C.A. CAMPBELL, R.C. IZAURRALDE, B.H. ELLERT, N. JUMA, W.B. MCGILL y R.P. ZENTNER. 1998. Management effects on soil C storage on the Canadian Prairies. *Soil Till. Res.* 47:181-95.
- LARDONE, A. 2009. *Estimación de los coeficientes de humificación y mineralización de la materia orgánica en un Hapludol típico de Río Cuarto*. Trabajo Final de graduación de la carrera de Ingeniería Agronómica. Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina. 33 p.
- MARINO, M.A., M.G. AGNUSDEI, N. PERALTA y G. PORTA. 2012. Carbono y nitrógeno en suelos ganaderos según el manejo de la pastura. **XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Mar del Plata, Argentina.

- MARTÍNEZ UNCAL, M.C., S. AIMAR, H.M. MARTINEZ y R. HEVIA. 2006. Estudio de materia orgánica y estabilidad en un Haplustol del caldenal, con distintos manejos. **XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Salta-Jujuy, Argentina.
- MASSOBRIO, N.J. 2012. *Materia Orgánica total y lábil en un Hapludol típico del sur oeste de la provincia de Córdoba en una rotación agrícola ganadera con tres sistemas de labranza*. Trabajo final para optar al grado de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina.
- MEBIUS, L. 1960. *A rapid method for determination of organic carbon in soils*. Anal. Chem. Acta 22: 120-124.
- MELERO, S., M. PANETTIERI, E. MADEJON, H. GOMEZ MACPHERSON, F. MORENO y J.M. MURILLO. 2011. *Implementation of chiselling and mouldboard ploughing in soil after 8 years of no-till*. Management in SW, Spain: Effect on soil quality. Soil & Tillage Research.112 (2011): 107-113.
- MINOLDO, G., J. GALANTINI, R. ROSELL, H. KRÜGER y S. VENZA. 2004. Fracciones orgánicas en el suelo de la región semiárida bajo diferentes rotaciones. **XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Paraná, Entre Ríos, Argentina.
- PARERA, J.C. 2006. Dinámica de la materia orgánica aportada al suelo por bosque del chaco húmedo. **XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Salta-Jujuy, Argentina.
- PRADOS, M.L., S.P. DEBELIS, M.C. GAGEY, M.B BARRIOS, A.A. BOZZO y J.V. GIRÁLDEZ CERVERA. 2008. Variación de las fracciones de materia orgánica en función del paisaje. **XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Potrero de los Funes, San Luis, Argentina.
- PRINCIPE, L.G. 2011. *Evaluación de la compactación y descompactación en un Hapludol típico sometido a una historia de siembra directa*. Trabajo final para optar al grado de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina.
- REPOSO, G.P. y V.E. BONVECCHI. 2012. Efecto de la descompactación sobre propiedades de un suelo franco limoso. **XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo**. Mar del Plata, Argentina.
- ROVERA, J.J. 2013. *Efecto del sistema de labranza y de la dirección de siembra sobre el escurrimiento e infiltración del agua en un Haplustol údico y su impacto sobre el rendimiento del cultivo*. Trabajo final para optar al grado de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina.

- SAINJU, U.M., B.P. SINGH, W.F. WHITEHEAD y S. WANG. 2006. Carbon supply and storage in tilled and nontilled soils as influenced by cover crops and nitrogen fertilization. *J. Environ. Qual.* 35: 1507–1517
- SALAS, H.P., E.F. LOVERA, M. BASANTA, J.P. GIUBERGIA, E.E. MARTELOTTO y A.I. SALINAS. 2005. *Producción de Soja y Maíz en función de la rotación y del sistema de manejo en un Haplustol típico de la región central de Córdoba: Disponibilidad de agua y rendimiento.* Proyecto regional Gestión Agroambiental. EEA INTA Manfredi. p: 12.
- SANCHEZ, G. 2012. *Efecto de una labor de descompactación subsuperficial sobre el contenido hídrico del suelo y el rendimiento de maíz en un planteo de siembra directa continua.* Trabajo final para optar al grado de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina.
- STUDDERT, G.A. y H.E. ECHEVERRÍA. 2000. Soja, girasol y maíz en los sistemas de cultivo del sudeste bonaerense. En: *Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja.* Andrade y V. Sadras (eds.). INTA - Facultad de Ciencias Agrarias (UNMP). Advanta Semillas SAIC. p. 407-437
- TISDALL, J.M. y J.M. OADES. 1982. Organic matter-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 61:1466-1472.
- TOURN, S.N., G.A. STUDDERT, P. PLATZ, G.F. DOMÍNGUEZ, M.A. AGOSTINI, S.N. DIEZ y J.A. CAPURRO. 2012. Efecto de paraplow y de cultivos de cobertura en planteos agrícolas bajo siembra directa continua. **XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.** Mar del Plata, Argentina.
- VERRI, L. 2004. *Efecto del uso y del manejo sobre la materia orgánica total y sus fracciones en un Hapludol típico.* Trabajo final para optar al grado de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina. 54 p.
- WHALEN, J.K., P.J. BOTTOMLEY y D.D. MYROLD. 2000. Carbon and nitrogen mineralization from light -and heavy- fraction additions to soil. *Soil Biology & Biochemistry* 32: 1345-1352.
- ZERBINO, S. y N. ALTIER. 2006. La Biodiversidad del suelo. 8-9. Suplemento Tecnológico. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA). La Estanzuela. Uruguay.