

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA**

**“Trabajo Final presentado para optar al
Grado de Ingeniero Agrónomo”**

**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**

**Alumno: Nicolas Javier Massobrio
DNI: 31.301.255**

**Director: Carmen Cholaky
Co-director: Ines Moreno**

**Río Cuarto – Córdoba
Diciembre de 2012**

CERTIFICADO DE APROBACION

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

Autor: Nicolas Javier Massobrio

DNI 31.301.255

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

Co-director: Lic. M.Sc. Ines Moreno

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias del Jurado
Evaluador:

Ing. Agr. Ph. D.: Roberto A. Seiler _____

Ing. Agr.: Juan L. Colodro _____

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

Fecha de presentación: ____/____/____

Aprobado por secretaria académica: ____/____/____

Secretario Académico

AGRADECIMIENTOS

A toda mi familia por el esfuerzo que realizaron y el gran apoyo que me brindaron para que logre culminar esta carrera.

A Carmen e Inés, mis directoras por su enorme colaboración y enseñanza ofrecidas para poder terminar este trabajo.

A la Universidad Nacional de Río Cuarto por la oportunidad que me han dado para formarme profesionalmente.

INDICE GENERAL

CAPITULO 1

INTODUCCION.....	1
1.1 Presentación, fundamentación e importancia del trabajo.....	1
1.2 Antecedente.....	4
1.3 Hipótesis	6
1.4 Objetivos General y Específicos	6

CAPITULO 2

MATERIALES Y METODOS	8
2.1 Caracterización del área de estudio.....	8
2.2 Descripción de los tratamientos y diseño experimental	8
2.3 Determinaciones realizadas.....	12
2.3.1 Muestreo	12
2.3.2 Determinaciones realizadas.....	12
2.3.2.1 Fraccionamiento de la materia orgánica mediante método Cambardella y Elliot.....	12
2.3.2.2 Determinación de la materia orgánica total y fracciones mediante método Mebius.	12
2.3.2.3 Cálculo y expresión de los resultados	13
2.4 Análisis estadístico de los resultados	13

CAPITULO 3

RESULTADOS Y DISCUSION	14
3.1 Efecto de los sistemas de labranza sobre el contenido de MO total y sus fracciones.....	14
3.2 Comparación de los contenidos de MO del ensayo con una situación de mínimo disturbio	17
3.3 Efecto del uso del suelo sobre el contenido de materia orgánica total.....	19

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES	24
--------------------	----

CAPÍTULO 5

BIBLIOGRAFÍA	25
--------------------	----

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

TABLAS

Tabla 1. Contenido de materia orgánica total de las capas superficiales del suelo manejado con diferentes sistemas de labranza	14
Tabla 2. Contenido de materia orgánica estabilizada de las capas superficiales del suelo manejado con diferentes sistemas de labranza.....	16
Tabla 3. Contenido de materia orgánica lábil de las capas superficiales del suelo manejado con diferentes sistemas de labranza	16
Tabla 4. Contenido de MO total, estabilizada y lábil en los tres sistemas de labranza del ensayo y la situación de mínimo disturbio.....	17

FIGURAS

Figura 1. Esquema del diseño experimental del ensayo	9
Figura 2. Estado de la situación de mínimo disturbio.....	11
Figura 3. Evolución de la materia orgánica en el sitio del ensayo	18
Figura 4. Efecto combinado de la rotación y sistema de labranza sobre el contenido de MO total para la profundidad de 0 a 10 cm.....	20
Figura 5. Efecto combinado de la rotación y sistema de labranza sobre el contenido de MO total para la profundidad de 10 a 20 cm.....	21
Figura 6. Efecto combinado de la rotación y sistema de labranza sobre el contenido de MO estabilizada para la profundidad de 0 a 10 cm (izquierda) y de 10 a 20 cm (derecha)	22
Figura 7. Efecto combinado de la rotación y sistema de labranza sobre el contenido de MO estabilizada para la profundidad de 0 a 10 cm (izquierda) y de 10 a 20 cm (derecha).	23

RESUMEN

En un ensayo ubicado en el sudoeste de la provincia de Córdoba se evaluó el impacto del uso y del sistema de labranza sobre diferentes fracciones de materia orgánica (MO) de la capa superficial de un Hapludol típico. El estudio comprendió una rotación agrícola ganadera con tres sistemas de labranzas: siembra directa, labranza reducida y labranza convencional. Para considerar el efecto del uso se la comparó con una rotación agrícola pura con similares sistemas de labranza. A su vez los resultados se contrastaron con una situación de mínimo disturbio (MD). Se determinó el porcentaje de MO total y MO estabilizada y lábil de 0-10 cm y 10-20 cm de profundidad. Para obtener las fracciones se utilizó un método de fraccionamiento físico y la determinación de MO por oxidación con dicromato de potasio. Los resultados indican que el contenido de MO total fue superior en siembra directa de 0 a 10 cm, no registrándose diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de 10 a 20 cm. Tampoco se encontraron diferencias entre tratamientos para las fracciones estabilizada y lábil. Comparando los tratamientos con la situación de MD, todos registraron una fuerte caída en el contenido de MO total y de las fracciones analizadas, producto de la intervención antrópica. Finalmente comparando las rotaciones, de 0-10 cm en general la rotación agrícola ganadera presenta mayor MO total y lábil, que la rotación agrícola pura, no así el contenido de MO estabilizada, el cual en general es mayor en esta última. De 10-20 cm el contenido de MO total y estabilizada fue uniforme entre tratamientos, mientras que para lábil se observaron diferencias siendo en general mayores en la rotación agrícola pura. Se concluye que los sistemas de labranza conservacionistas incrementan la MO total y lábil, respecto a los sistemas convencionales y que la inclusión en la rotación de ciclos con pasturas potencia este efecto.

Palabras clave: fraccionamiento de la materia orgánica, sistemas de labranza, rotación de cultivo.

SUMMARY

In a study located in the southwest of the province of Córdoba, the impact of the use and tillage system was evaluated on different fractions of organic matter (MO) of the surface layer of a typical Hapludol. The work is comprised agricultural livestock rotation with three tillage systems: no-tillage, reduced tillage and conventional tillage. To consider the effect of the use, it was compared with a agricultural pure rotation with similar tillage systems. At the same time the results were compared with a situation of minimal disturbance (MD). The percentage of total MO and stabilized fractions was determined as well as the labile fractions of 0-10 cm and 10-20 cm depth. The fractions were obtained using a physical fractionation method and the MO by oxidation with potassium dichromate. The results indicate that the total MO content was higher in SD at 0-10 cm, recording no statistically significant differences between treatments of 10 at 20 cm. No differences were found between treatments in stabilized and labile fractions. Comparing treatments with the situation of MD, all treatments showed a considerable decrease in the total MO content and fractions analyzed human intervention product. Finally, comparing both rotations, generally 0-10 cm agricultural livestock rotation has a greater total MO and labile fraction than pure agricultural rotation. The stabilized MO was higher in pure agricultural rotation. In depth 10-20 cm the total MO content and stabilized fraction are consistent among treatments, whereas differences were observed for labile fraction in general, being major in the pure agricultural rotation. It is concluded that conservationist tillage systems increase total and labile organic matter as compared to conventional systems and that the inclusion of pasture in the rotation cycles enhances the effect.

Keywords: fractionation of the organic matter, tillage system, crop rotation.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 PRESENTACIÓN, FUNDAMENTACIÓN E IMPORTANCIA DEL TRABAJO

El suelo es uno de los componentes más complejos y diversos que existen en la naturaleza. Es un ambiente que combina las fases sólida, líquida y gaseosa formando una matriz tridimensional. Su compleja naturaleza físico-química, su estructura porosa y el contenido de materia orgánica en diversas fases de descomposición y complejidad, proporcionan una heterogeneidad trófica y de hábitat que permite en él, la coexistencia de una gran diversidad de organismos (Zerbino y Altier, 2006).

La Calidad del Suelo expresa la capacidad del suelo para realizar una función específica dentro de los límites del ecosistema y uso de la tierra y hace referencia a la condición del mismo (Irigoin *et al.*, 2004). El uso del suelo influye sobre su calidad afectando las propiedades, generalmente aquellas más sensibles y/o dinámicas (Wilson *et al.*, 2000).

La materia orgánica (MO) es de vital importancia en la provisión de sustrato, de energía y de la biodiversidad necesaria para mantener numerosas funciones del suelo. El concepto de “calidad del suelo” la reconoce como un importante atributo que tiene control sobre muchas funciones benéficas del suelo (Galantini *et al.*, 2004).

En Argentina, a partir de la década del 80' comenzaron a intensificarse las actividades agrícolas dada la mayor rentabilidad que ofrecían, en comparación con las actividades ganaderas. Como consecuencia de esto se produjo una reducción de la superficie ocupada por pasturas, provocando en ciertos casos, una degradación de los suelos de aptitud agrícola (García Tobar, 1985, citado por Barrios *et al.*, 2000).

Los efectos adversos del uso agrícola se pueden monitorear a través del registro de transformaciones químicas y físico-químicas en el suelo. En tal sentido la evolución de los componentes orgánicos, en función de distintos cultivos, labranzas o rotaciones, proveen herramientas para el diseño o selección de mejores prácticas o sistemas productivos. Se recurre frecuentemente al uso de indicadores de calidad edáfica de forma tal que este concepto pueda ser usado para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas. Entre estos, los contenidos de materia orgánica total y sus fracciones son importantes atributos de la calidad del suelo, a nivel de lote y de explotación (Schwenke, 2003, citado por Mandolesi *et al.*, 2004).

La Materia Orgánica del suelo ha sido definida como “la fracción orgánica del suelo, excluidos los residuos animales y vegetales aun no descompuestos” (Galantini *et al.*,

2004). 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. De esta forma, se encuentra constituida por una variedad importante de compuestos de complejidad variable. Si bien los límites son arbitrarios, de acuerdo a Gregorich *et al.* (1994), se la puede dividir en tres fracciones con características y propiedades marcadamente diferentes:

- ❖ los residuos orgánicos, que representan el material vegetal y animal en diferentes fases de su transformación
- ❖ la biomasa microbiana viva
- ❖ el material humificado con peso molecular relativamente elevado, amorfo, coloidal y coloración amarilla a oscura

La materia orgánica está íntimamente ligada a la conservación y mantenimiento de la productividad y funcionalidad de los suelos agrícolas (Corbella *et al.*, 2004). Variaciones en la misma significan cambios en la fertilidad del suelo y en su resistencia a la erosión, como así también en la facilidad de laboreo y en su capacidad de infiltración y de almacenaje de agua (Eiza *et al.*, 2006.a).

La dinámica de la fracción orgánica está influenciada por el clima, tipo de suelo y manejo agronómico, entre los factores mas importantes, los que interactúan determinando aspectos físicos, químicos y biológicos de la MO (Ghiotti y Basanta, 2008).

Conforme aumenta el tiempo de uso de los suelos, se producen cambios en la materia orgánica tanto en cantidad como en calidad. Es así como el contenido de materia orgánica interviene en la agregación y en la formación de la estructura, en la porosidad asociada a la misma, en la cantidad y ritmo de difusión de aire, en el ciclado de nutrientes que cumplen ciclos orgánicos, permite una adecuada infiltración, difusión de oxígeno y suministro de nutrientes asociados a la MO (Moreno, 2000).

Desde el punto de vista productivo y de la calidad del suelo, la MO total aporta poca información para el estudio de los efectos de las prácticas agronómicas a corto plazo. Esto se debe a la estabilidad de una gran parte de la MO, cuya variación sólo se observa luego de varios años o décadas. En cambio, las fracciones que son sensibles a los efectos de diferentes usos de la tierra pueden ser utilizadas como indicadores tempranos de la dirección de esos cambios. Por este motivo, los componentes lábiles han sido sugeridos como los indicadores más sensibles a los efectos de la rotación de cultivos o del sistema de labranza (Ghiotti y Basanta, 2008).

Una combinación inadecuada de rotaciones de cultivos con sistemas de labranza puede conducir a la degradación de las propiedades del suelo. Las labranzas rompen los macroagregados por acción física directa y provocan la pérdida de MO por exposición de las

fracciones protegidas dentro de los mismos y por la sobre-oxigenación del suelo (Eiza *et al.*, 2006 b). La implementación de la siembra directa (SD) podría reducir los efectos de una agricultura agresiva, promoviendo el mantenimiento o el incremento de MO. Este sistema de manejo conduce a la acumulación de residuos de cosecha en la superficie, promoviendo tanto el secuestro de carbono como el incremento del contenido de nutrientes mineralizables (Eiza *et al.*, 2006 b). Numerosos trabajos han demostrado que este sistema de laboreo produce una estratificación en el contenido de MO. En la profundidad de 0-5 cm las diferencias entre los sistemas de labranza son mas marcadas, explicado por el propio proceso de deposición superficial de los restos vegetales en especial en los sistemas con menos labranzas o sin labranza (Arzeno *et al.* 2004). Esta estratificación observada en laboreos de conservación y especialmente en no laboreo, se utiliza también como indicador de la “calidad del suelo” ya que se considera muy positivo que la mayor calidad se produzca en la capa superficial, pues esta es la zona de mayor actividad biológica y la de intercambio con la atmósfera (Bescansa *et al.*, 2006).

Por otro lado, la siembra directa ocasiona compactación superficial del suelo. Kiessling *et al.*, (2008) observaron diferencias significativas en la densidad aparente del suelo entre sistemas de labranza en los primeros 10 cm, siendo en labranza convencional significativamente menores que en siembra directa, posiblemente debido al efecto de las labores previas a la siembra y al transcurso de 6 años sin remoción en las parcelas de siembra directa. Así mismo, el pastoreo aumentó la densidad aparente en las profundidades 0-5 y 5-10 cm en ambos sistemas de labranza, pero el aumento fue mayor en labranza convencional.

La introducción de labores de corte vertical o de descompactación subsuperficial surge como una alternativa de manejo a la problemática que ocasionan los sistemas de labranza reducida o no labranza (siembra directa), sumado al efecto del pisoteo de animales en sistemas pastoriles. La implementación del cincelado no causa reducción en el contenido de materia orgánica del suelo en los primeros 5 cm; sin embargo, la aplicación de labranza convencional redujo un 23 % del carbono orgánico total (Melero *et al.*, 2011). Así mismo, la alternancia de cultivos agrícolas con pasturas influye sobre la dinámica de la MO a través del momento y la cantidad de aporte de sustrato para su recomposición (Eiza *et al.*, 2006. b).

En el presente trabajo se estudió el efecto de diferentes sistemas de labranzas en una parcela agrícola-ganadera sobre el contenido de materia orgánica de un suelo representativo del suroeste de la provincia de Córdoba. También se realizó una comparación con lo ocurrido en una rotación agrícola pura, cuyos datos se obtuvieron a partir del trabajo final titulado *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*, realizado por el alumno César Natali de manera simultánea a este.

1.2 ANTECEDENTES

Desde principios del siglo XX y particularmente en el primer cuarto de siglo, se produce una fuerte expansión agrícola en La Pampa y sur de Córdoba que se suma a la ocurrida inicialmente en Buenos Aires, Santa Fe y Entre Ríos. Este período que abarca aproximadamente hasta 1940, se caracteriza por un incremento de la vulnerabilidad de los suelos, que se manifiesta por el descenso del contenido de materia orgánica e intensos procesos de erosión eólica e hídrica que se generalizan en el área agrícola (Casas, 2003).

El estudio de la evolución de la Materia Orgánica (MO) en los subtropicos, ha cobrado un renovado interés en las últimas décadas, debido a su relación con la fertilidad y productividad (González *et al.*, 2008). Al incrementarse el contenido de MO aumenta la capacidad de intercambio catiónico del suelo y la cantidad de nutrientes adsorbidos al complejo de cambio en el horizonte A (Hepper *et al.*, 2004). Entre las propiedades físicas del suelo una de las más afectadas por la MO es la estabilidad estructural del estrato superficial. A mayor nivel de MO los agregados son mas estables, en consecuencia la estabilidad del sistema de poros y la infiltración son mayores, lo que esta asociado a un incremento de la resistencia a la erosión (González *et al.*, 2008).

La combinación inadecuada de la rotación de cultivos con el sistema de labranza (sistema de cultivo) puede conducir a la degradación de las propiedades del suelo. La correcta elección de un sistema de cultivo podría contribuir a minimizar los riesgos de degradación maximizando la producción con el mínimo compromiso ambiental (Eiza *et al.*, 2006 a). Los sistemas de labranza, inciden sobre la dinámica de la MO del suelo a través de su efecto sobre la descomposición de los residuos de cosecha y la exposición a la acción de los microorganismos del suelo de fracciones protegidas de la MO (Domínguez *et al.*, 2004).

La siembra directa (SD) mantiene una cobertura de rastrojos que reduce las pérdidas de agua, aumenta la infiltración, disminuye la velocidad de los escurrimientos superficiales y permite controlar la erosión hídrica y eólica (Blevins y Frye, 1993, citados por Domínguez *et al.*, 2004). Las labranzas agresivas, generalmente denominadas labranza convencional (LC), se asocian a pérdidas del carbono orgánico debido a la destrucción de agregados y la consecuente exposición de fracciones anteriormente protegidas y a la sobreoxigenación del suelo, provocando incrementos instantáneos en la actividad microbiana (Studdert y Echeverría, 2002 a).

Por otra parte, la inclusión de pasturas en una rotación permite incrementar la MO del suelo luego de períodos de disminución (Studdert *et al.* 1997; Janzen *et al.* 1998) debido a su mayor y más continua producción de biomasa aérea y subterránea y a la excelente distribución y mezcla de precursores de la MO dejados por sus raíces (Studdert y Echeverría, 2002 a). Asimismo, la ausencia de disturbio del suelo por períodos prolongados contribuye al

mejoramiento del ambiente físico y a la humificación de los residuos (Studdert y Echeverría, 2002 b).

En general, la cantidad de residuos retornados al suelo es el factor más importante en la dinámica de la MO. Todas las acciones que, a lo largo de una rotación incrementen la cantidad de carbono devuelto al suelo (alta frecuencia de cultivos con gran volumen de rastrojo y/o sistema radical, fertilización, riego, etc.) hacen que la tasa de caída de MO sea menor (Domínguez *et al.*, 2004).

Arzeno *et al.* (2004) llevaron a cabo un estudio en la EEA INTA Salta, en el cual en parcelas experimentales de largo plazo, en un Ustocrepte údico franco degradado (Serie Cerillos), se compararon cuatro sistemas de labranza: SD (Siembra Directa), LMv (Labranza Mínima vertical con escarificador chato tipo “paratill”), LMd (Labranza Mínima con disco y una rastra con control de profundidad) y LC (Labranza Convencional con cincel y dos rastras). Se realizaron muestreos de suelo para evaluar la MO a dos profundidades 0-20 cm y 0-5 cm. Considerando que en el inicio de la experiencia el contenido de MO de todos los sistemas de labranza era similar al que presentaba LC, a los 12 años de ensayo se observó una tendencia al incremento de la MO en la medida en que los sistemas de labranza fueron menos agresivos (menos labranza y más cobertura). En la profundidad de 0-5 cm las diferencias entre los sistemas de labranza fueron más marcadas, explicado por el propio proceso de deposición superficial de los restos vegetales en especial en los sistemas con menos labranzas o sin labranza.

Melero *et al.* (2011) en un suelo franco arcilloso clasificado como Xerorthents léptico típico, evaluó la inclusión de una operación con arado de rejas a 25 cm de profundidad y con un cincel a 10-15 cm de profundidad en un suelo con siembra directa durante 8 años. En dichos tratamientos se evaluó carbono orgánico total y carbono soluble en agua, llegando a la conclusión que la implementación del arado de reja en parcelas bajo 8 años de SD tuvo un resultado negativo en la fracción de carbono orgánico (CO), especialmente en los primeros 5 cm de suelo, mientras que la inclusión del cincelado, mantuvo los niveles del carbono orgánico acumulados en el suelo. Por lo tanto, si aparecen problemas de compactación a largo plazo en planteos de SD, el cincelado podría ser una práctica de labranza conveniente sin un efecto negativo directo en el contenido de CO del suelo.

El presente trabajo se enmarca en un proyecto puesto en marcha en el año 1994 que estudia el efecto de distintos sistemas de labranzas y usos del suelo sobre la calidad edáfica. El mencionado proyecto considera tres usos: agrícola, agrícola ganadero y una situación de mínimo disturbio; tres sistemas de labranza (siembra directa, labranza reducida y labranza convencional) y dos dosis de fertilización con nitrógeno y fósforo. Luego de varios años de estudio se arribó a algunas conclusiones interesantes relacionadas con la temática de

referencia, como que, al 5º año de evaluación de la MO, el mayor contenido de carbono se observó en siembra directa y labranza reducida no pastoreado y el menor, en labranza convencional con pastoreo del rastrojo de cosecha (Bricchi *et al.*, 2004). En cuanto a la evaluación temporal de las fracciones de la MO (Verri, 2004), la misma indicó que luego de 8 años de ensayo, las labranzas conservacionistas sin pastoreo, comparadas con labranza convencional, presentaron una tendencia al incremento de fracción liviana y pesada de la materia orgánica, en la parte superficial del perfil cultural, indicando así una tendencia al mejoramiento en las primeras y a la degradación en la última labranza.. Por otro lado luego de 13 años, el contenido de carbono orgánico liviano fue superior en SD en relación con las restantes labranzas (Espósito *et al.*, 2008).

1.3 HIPOTESIS

- Los sistemas de labranza conservacionistas incrementan los niveles de la fracción lábil de Materia Orgánica respecto a los sistemas de labranza convencional.
- La introducción periódica de un ciclo de pasturas cada 3 años de agricultura, mejora el contenido de Materia Orgánica en los primeros 20 cm del suelo, en comparación con un sistema agrícola puro.

1.4 OBJETIVOS

General:

- Evaluar el impacto del uso y del sistema de labranza sobre diferentes fracciones de materia orgánica de la capa superficial de un Hapludol típico del centro-sur de Córdoba.

Específicos:

- Obtener la fracción lábil y la fracción estabilizada de la materia orgánica de la capa superficial de un suelo con uso agrícola-ganadero, manejado con labranza convencional, reducida y siembra directa desde hace 16 años y determinar el contenido de carbono orgánico en cada una de ellas.

- Comparar la magnitud de estas fracciones y de la materia orgánica total de la capa superficial del suelo con las correspondientes al uso agrícola, manejado 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 DE ESTUDIO

El proyecto se llevó a cabo 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 (33° 57' Lat. Sur, 64° 50' Long. Oeste). El ensayo se ubicó según la clasificación de Becerra *et al.* (1999) en la unidad ecológica homogénea de llanura con invierno seco.

El clima es templado subhúmedo, con régimen de precipitaciones monzónico (80 % de las lluvias concentradas en el período Octubre - 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 y la intensidad de las precipitaciones (Degioanni, 1998).

El área se caracteriza por presentar un relieve muy complejo, de moderado a fuertemente ondulado determinando un conjunto de lomadas, 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). En esta área predominan sedimentos de tipo loésicos franco-arenosos muy finos de la Formación la Invernada (Cantú, 1992), con Hapludoles típicos de textura franco arenosa muy fina (Cantero *et al.*, 1984).

2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

El trabajo se realizó en el marco del proyecto “Efecto de distintos sistemas de labranzas y rotación de cultivos en la calidad del suelo”, que integra el Programa “Desarrollo de alternativas tecnológicas para la producción agropecuaria sustentable en el oeste de Río Cuarto”. El programa de investigación comenzó en 1994 y el mismo incluye tres usos: agrícola, agrícola ganadero y una situación de mínimo disturbio; tres sistemas de labranzas: siembra directa (SD), labranza reducida (LR) y labranza convencional (LC); dos dosis de fertilización con nitrógeno y fósforo y dos manejos del resto de cosecha: pastoreo y no pastoreo (Figura 1).

BLOQUE 1

	Siembra Directa				Labranza Reducida				Labranza Convencional			
	No Fertilizado				No Fertilizado				No Fertilizado			
	Fertilizado				Fertilizado				Fertilizado			
	s/l	c/l	c/l	s/l	s/l	c/l	c/l	s/l	s/l	c/l	c/l	s/l
Agrícola Puro												
Agrícola Ganadero												

BLOQUE 2

	Labranza Reducida				Siembra Directa				Labranza Convencional			
	No Fertilizado				No Fertilizado				No Fertilizado			
	Fertilizado				Fertilizado				Fertilizado			
	s/l	c/l	c/l	s/l	s/l	c/l	c/l	s/l	s/l	c/l	c/l	s/l
Agrícola Puro												
Agrícola Ganadero												

NORTE

Figura 1. Esquema del diseño experimental del ensayo

Donde: s/l: sin labor de descompactación, c/l: con labor de descompactación

Con letras color rojo se indican los tratamientos sobre los que se trabajó

En siembra directa no existe laboreo alguno del suelo, solamente se realiza la siembra con una sembradora adaptada para tal fin. En este programa se realizó la siembra en plano con una sembradora marca Bertini, Mod. 10000 D, neumática, de siete surcos a 0,70 m entre líneas de siembra. 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 tapadoras del surco dentadas; 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, al kit de siembra debe agregarse un

doble disco fertilizador al costado de la línea, y las cuchillas de microlabranza (corta rastrojo) son colocadas adelante en la barra porta cuchillas y los discos fertilizadores van agarrados del chasis. El control de malezas en este tratamiento se efectuó mediante control químico, empleando glifosato durante el barbecho y herbicidas residuales en preemergencia del cultivo.

La labranza reducida consiste en una o dos labores de arado de cincel a unos 20 cm de profundidad, al momento de barbecho, y posterior repaso del suelo con rastra de discos excéntrica, para luego realizar la siembra con la sembradora descrita anteriormente. Con el arado de cincel se realiza un corte vertical en el suelo, dejando aproximadamente el 70% de residuos en superficie y está constituido por un chasis sobre el que van montados los arcos ó cinceles; que al momento de trabajo efectúan una acción “vibratoria” antero-posterior, que es en definitiva la que logra un buen trabajo de roturación. La distancia a la que trabajan los arcos en el terreno, es a 0,35 m.

Por último en labranza convencional se realiza una labor de arado de reja y vertedera, en el momento de barbecho con un repaso de rastra de disco excéntrica. Luego se realiza la siembra con la sembradora mencionada anteriormente. El arado de rejas y vertederas está constituido por: un bastidor al cual se fijan los timones de los distintos cuerpos, los cuales están compuestos por: Reja – vertedera (superficie de trabajo), Costanera o Dental – Talón (superficie estabilizadora), Timón (pieza que une el cuerpo al chasis del arado) y bulones (piezas de unión).

En cuanto a la fertilización la misma se llevó a cabo con una sembradora de grano grueso Agrometal adaptada para tal fin. Las dosis aplicadas son determinadas a partir de los rendimientos potenciales del cultivo que se realice y a las condiciones del suelo. Para la fertilización nitrogenada, tomando como ejemplo la realizada en maíz, se aplicó urea entre la línea del cultivo. La fertilización fosforada se realiza con el objetivo de incrementar los niveles de fósforo en el suelo, es decir aplicar una dosis que cubra los requerimientos del cultivo y también permita acumular un remanente, y de esta manera ir subiendo paulatinamente el contenido de fósforo, merced a la escasa movilidad de dicho elemento en el suelo.

A partir de 2007, tanto en labranza reducida como en siembra directa se introduce una labor de descompactación subsuperficial, la cual fue llevada a cabo mediante un escarificador-descompactador tipo “reja cero” (Cisneros *et al*; 1998), a una profundidad teórica de 0,3 m, con rolos dispuestos detrás de dicha herramienta 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 con una separación entre reja de 0,36 m.

Este trabajo se realizó en la rotación agrícola-ganadera que incluye una pastura en base alfalfa cada tres ciclos agrícolas con maíz-soja y dentro de esta, sobre los tratamientos fertilizado y sin labor de descompactación. Para la implantación de la pastura se realizó una labor con rastra de disco excéntrica, aplicando al momento de la siembra 30 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico al costado y por debajo de la línea de siembra. El segundo ciclo ganadero se reinició en el 2007 con una pastura consociada de alfalfa (*Medicago sativa L.*), cebadilla (*Bromus unioloides K.*) y pasto ovilla (*Dactylis glomerata L.*). El sistema de pastoreo se lleva a cabo mediante un pulso de pastoreo anual (2-3 días), con terneros, vacas y vaquillonas, es decir, un sistema de alta intensidad y alta carga instantanea, cosechándose en cada pastoreo 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 trabajo se dispone en bloques aleatorizados con 4 repeticiones, sobre los tres sistemas de labranza.

Los datos de MO obtenidos en los tratamientos mencionados, se contrastaron con los registrados en una situación de mínimo disturbio (MD), sin antecedentes de intervenciones antrópicas en los últimos 30 años. Esta situación corresponde a un bosque de Eucaliptos y especies invasoras arbóreas y herbáceas (Figura 2).



Figura 2. Estado de la situación de mínimo disturbio

Finalmente para realizar la comparación entre la rotación agrícola-ganadera sobre la cual se realizaron las evaluaciones en el presente trabajo y la rotación agrícola pura, se consideraron los datos obtenidos en el trabajo final del estudiante *Cesar Natali*, mencionado

anteriormente en el capítulo de Introducción, que se desarrolló de manera simultánea con el presente.

2.3 DETERMINACIONES REALIZADAS

2.3.1 Muestreo

En cada tratamiento estudiado se tomaron 2 muestras al azar, compuestas por 2 submuestras cada una y a dos profundidades del perfil: 0-10 cm y 10-20 cm. Todos los muestreos fueron realizados semanas previas a la roturación del segundo ciclo de pastura implantada en el ensayo, el cual posteriormente ingresaba al ciclo agrícola estival durante 3 años.

2.3.2 Determinaciones realizadas

2.3.2.1 Fraccionamiento físico de la materia orgánica del suelo siguiendo el método de Cambardella y Elliot (1994).

Esta técnica se realizó colocando 30 g de suelo previamente tamizado (2 mm) en frascos con 60 ml de Calgon (hexametáfosfato de sodio en proporción de 5g/lit) y 10 bolitas de vidrio. Se agitaron las muestras durante 60 minutos y posteriormente se fraccionaron haciéndolas pasar por un tamiz de 0,1 mm de apertura de malla, lavando con agua destilada. Finalmente se obtuvieron 2 fracciones: una fracción menor a 100 μm denominada fina en la que se encuentra la MO estabilizada o humificada, asociada a la arcilla, limo y arenas muy finas, y la fracción de 100 a 2000 μm denominada gruesa en la que se encuentra la MO lábil o particulada asociada a las arenas.

2.3.2.2 Determinación de la materia orgánica total y de las fracciones siguiendo el método de Mebius (1960).

El procedimiento se llevó a cabo colocando las muestras de las fracciones en erlenmeyer (5gr para fracción lábil y 10 gr para fracción estabilizada) y se le añadió 10 ml de dicromato de potasio. Luego se colocaron 20 ml de ácido sulfúrico, se agitó suavemente y se deja reposar.

Para la valoración por retroceso se diluyó la disolución agregando agua destilada hasta completar 100 ml. De allí se obtuvo una alícuota de 20 ml a la cual se le coloca 40 ml

de agua destilada, 2 ml de ácido sulfúrico y 4 gotas de indicador N-fenilntranílico y se mezcla. Finalmente se valoró esa disolución con sal de Mohr 0,1 N hasta el viraje de color.

2.3.2.3 Cálculo y expresión de los resultados

Los resultados se calculan mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ M O} = \text{ml de Cr}_2\text{O}_7\text{K}_2 \times (1 - T/S) \times 1,34$$

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

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

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

$$\text{Normalidad del Cr}_2\text{O}_7\text{K}_2 \times 12 / 4000 \times 1,72 / 0,77 \times 100 / 0,5 = 1,34$$

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

12/4000: el peso en meq del C

0,77: factor de recuperación del método, ya que está comprobado que el 77 % del Carbono se oxida con 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 de los test LSD Fisher cuando se compararon tratamientos de labranza para cada profundidad y el test DGC, cuando se compararon las dos rotaciones analizadas. Para ello se utilizó 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 sistemas de labranza sobre el contenido de materia orgánica total y sus fracciones

El contenido de materia orgánica total mostró diferencias entre los sistemas de labranza. Los valores mostraron una tendencia creciente hacia los sistemas conservacionistas. En el espesor comprendido entre 0 - 10 cm, se observó que Siembra Directa presentó el mayor contenido de materia orgánica con respecto a los tratamientos Labranza Reducida y Labranza Convencional, con valores de 2,10 % 1,85% y 1,71%, respectivamente, no registrándose diferencias significativas entre estos últimos. Para la profundidad de 10 a 20 cm, los valores de materia orgánica total obtenidos fueron, SD 1,52 %, LR 1,38 % y LC 1,38 %, no observándose diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 1).

Tabla 1: Contenido de materia orgánica total de las capas superficiales del suelo manejado con diferentes sistemas de labranza

Materia Orgánica Total (g/kg Suelo)		
Profundidad (cm)		
Tratamientos	0 a 10	10 a 20
Siembra Directa	21 A	15,2 A
Labranza Reducida	18,5 B	13,8 A
Labranza Convencional	17,1 B	13,8 A

En columnas, letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos, según test de comparación de medias LSD Fisher ($p \leq 0,10$).

Del análisis de estos resultados surge claramente el efecto negativo que ejerce la intensidad de remoción del suelo mediante el laboreo, sobre el contenido de materia orgánica total del suelo, la cual se reduce a medida que se incrementan las labranzas. Esto concuerda con lo planteado por Arzeno *et al.* (2004), quienes evaluaron sobre un Ustocrepte údico cuatro sistemas de labranza (labranza convencional, labranza mínima vertical, labranza mínima con disco y siembra directa), observando una tendencia al incremento del nivel de materia orgánica, en la medida que los sistemas de labranza fueron menos agresivos (menos laboreo y más cobertura) en el largo plazo.

Por otro lado, Verri (2004), trabajando sobre el mismo ensayo en el que se enmarca este proyecto y en concordancia con los resultados obtenidos, concluyó que hay una

tendencia creciente en el contenido de Carbono orgánico total y particulado hacia los sistemas de labranza conservacionistas. Por su parte Eiza *et al.* (2005), observaron resultados similares en un ensayo de larga duración en Balcarce, el cual se encuentra sobre un complejo de Argiudol Típico y Paleudol Petrocálcico de textura franca. Dicho ensayo combina diversas rotaciones mixtas (cultivos y pasturas) y dos sistemas de labranza (siembra directa y labranza convencional).

Los menores contenidos de materia orgánica en los sistemas de laboreos agresivos, como la labranza convencional, estarían explicados por las condiciones ideales de aireación, contacto sustrato-suelo y exposición de la materia orgánica protegida en los agregados, que producen estos sistemas, lo cual genera una rápida descomposición de los residuos de cosecha y de la MO nativa (Domínguez *et al.*, 2004). En los laboreos menos agresivos como siembra directa, Cabrera *et al.* (2012) sostienen que 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.

Los valores obtenidos también permiten ser contrastados con valores de materia orgánica total registrados en años anteriores sobre el mismo ensayo y recopilados por Lardone (2010). Como antes se mencionó, este ensayo fue puesto en marcha en el año 1994, en el cual el valor de materia orgánica total fue de 1,62 %. Se pudo observar que en los 3 tratamientos se registraron incrementos en la materia orgánica total a lo largo de los 16 años transcurridos entre el comienzo del ensayo y la toma de muestras efectuada para este trabajo. Esto puede deberse posiblemente a que la implementación de un adecuado plan de rotaciones de cultivos a partir del inicio del ensayo, permitió ir recuperando los niveles de restos orgánicos y así mismo, la implementación de correctos sistemas de labranza, permitieron controlar las pérdidas de estos materiales y de esta forma reestablecer el balance positivo. Los incrementos registrados fueron de 22,85 % para Siembra Directa, 12,43 % para Labranza Reducida y 5,26% para Labranza Convencional. De estos datos también se desprende que la ganancia anual de materia orgánica fue de 3 %, 1 % y 0,5 %, para SD, LR y LC respectivamente.

Por otra parte y tal como se esperaba al analizar las fracciones obtenidas, la mayor parte de MO esta constituida por la fracción estabilizada y en menor proporción por la fracción lábil, con proporciones medias del 88% y 12% de la materia orgánica total, respectivamente. Similares resultados fueron hallados por Albanesi y Anriquez (2008), quienes trabajaron en Haplustoles énticos y típicos, del Departamento Moreno provincia de Santiago del Estero.

La fracción estabilizada de la materia orgánica no mostró diferencias entre los tratamientos en ninguna de las dos profundidades analizadas. A pesar de esto, los valores al igual que lo observado en materia orgánica total, siguen una clara tendencia a aumentar

desde la labranza de mayor agresividad hacia la más conservacionista. En cuanto a la fracción lábil, sólo en la profundidad de 10 a 20 cm se observó un incremento a favor de la Siembra Directa. (Tablas 2 y 3).

Tabla 2: Contenido de materia orgánica estabilizada de las capas superficiales del suelo manejado con diferentes sistemas de labranza

Materia Orgánica Estabilizada (g/kg Suelo)		
Profundidades (cm)		
Tratamientos	0 a 10	10 a 20
Siembra Directa	17,4 A	14,7 A
Labranza Reducida	15,9 A	14,1 A
Labranza Convencional	14,2 A	14,0 A

En columnas, letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos según test de comparación de medias LSD Fisher ($p \leq 0,10$).

Tabla 3: Contenido de materia orgánica lábil de las capas superficiales del suelo manejado con diferentes sistemas de labranza

Materia Orgánica Lábil (g/kg Suelo)		
Profundidades (cm)		
Tratamientos	0 a 10	10 a 20
Siembra Directa	4,3 A	1,6 A
Labranza Reducida	4,0 A	1,2 B
Labranza Convencional	3,3 A	1,0 B

En columnas, letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos según test de comparación de medias LSD Fisher ($p \leq 0,10$).

Los cambios en las propiedades del suelo producto de los distintos sistemas de labranza son reflejados mejor y más rápidamente por la fracción lábil de la materia orgánica, que por la fracción estabilizada. Esto fue observado por (Ferrary Laguzzi *et al.*, 2010) en un ensayo de largo plazo sobre un Ustocrepte údico con cuatro sistemas de labranza (labranza convencional, labranza mínima vertical, labranza mínima con disco y siembra directa). En dicho experimento se comprobó que las diferencias más altas entre un valor de comparación y los sistemas de labranza, se observaron en las fracciones lábiles. Esto estaría confirmando que esta fracción es la más susceptible a ser afectada por los distintos sistemas de labranza empleados y por lo tanto la que presenta las mayores variaciones producto de los diferentes tratamientos.

Sin embargo, aunque en el presente trabajo en general no se pudieron observar diferencias estadísticamente significativas en la fracción lábil entre los sistemas de labranza, se aprecia una tendencia en el sentido de que a menor remoción del suelo por la labranza, mayor es el

contenido de la fracción lábil de la MO. Las mínimas diferencias halladas pueden estar asociadas a que el muestreo se realizó antes de la roturación de la pastura, luego de 4 años con el mismo cultivo sobre los tratamientos y sin aplicación de los sistemas de labranza utilizados en el ensayo, por lo que es de esperar que no hubieran diferencias en superficie, ya que el aporte debió ser parejo durante los años que duró la pastura.

3.2 Comparación de los contenidos de Materia Orgánica de la rotación agrícola-ganadera con una situación de mínimo disturbio

Teniendo en cuenta que en la situación de mínimo disturbio no hubieron intervenciones durante al menos los últimos 30 años, los resultados obtenidos, muestran que los sistemas de labranzas causaron una gran variación de la materia orgánica del suelo respecto a esta situación (Tabla 4), de la misma forma que fue observado por Corbella *et al.* (2008) sobre un Haplustol típico de textura franco limosa.

Tabla 4. Contenido de MO total, estabilizada y lábil en los tres sistemas de labranza del ensayo y la situación de mínimo disturbio para la profundidad de 0 a 10 cm

Materia Orgánica (g/kg Suelo)			
Fracciones			
Tratamientos	MO Total	MO Estabilizada	MO Lábil
Monte	87,9 A	59,4 A	32,1 A
Siembra Directa	21,0 B	17,4 B	4,3 B
Labranza Reducida	18,5 C	15,9 BC	4,0 B
Labranza Convencional	17,1 C	14,2 C	3,3 B

En columnas, letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos según test de comparación de medias LSD Fisher ($p \leq 0,10$).

Tomando como referencia de 100 % a la materia orgánica total de la situación con mínimo disturbio estudiada, se puede decir que la MO total se redujo en un 76,1 %, 79 % y 80,6% en las labranzas SD, LR y LC, respectivamente; pero considerando que el ensayo en el que se realizó esta experiencia, al momento de tomar las muestras tenía una duración de 16 años, se podría sostener que en ese período la SD fue el sistema de labranza que generó los mayores incrementos en la MO superficial. Bongiovanni *et al.* (2000) también observaron en un ensayo en el que se comparaba una situación no disturbada de monte natural con otra disturbada con realización de cultivos por más de 40 años, entre ellos maní, maíz, soja con labranzas convencionales, una disminución en el contenido de carbono orgánico en la capa superficial del suelo de casi tres veces, desde 2,82% en el suelo no disturbado a 1,07% en el suelo disturbado.

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 (Rasmussen y Collins, 1991, citados por Martínez Uncal *et al.*, 2008). 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 genera un ambiente muy apropiado para la infiltración, circulación y almacenamiento del agua (Parera, 2006). Martínez Uncal *et al.* (2008) 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.

Si bien en el presente trabajo solo se realizaron mediciones en las muestras tomadas por única vez en el momento previo a la roturación de la pastura, para luego entrar el ensayo en un nuevo ciclo agrícola, es de gran utilidad contrastar estos valores actuales, con los medidos en años anteriores sobre el mismo ensayo y de esta manera hacer un análisis temporal de lo sucedido. Para ello se tomaron valores aproximados observados en estudios previos sobre el mismo ensayo (Lardone, 2010). A continuación se presenta un gráfico con los valores de materia orgánica expresados en porcentaje durante una sucesión de años (Figura 3).

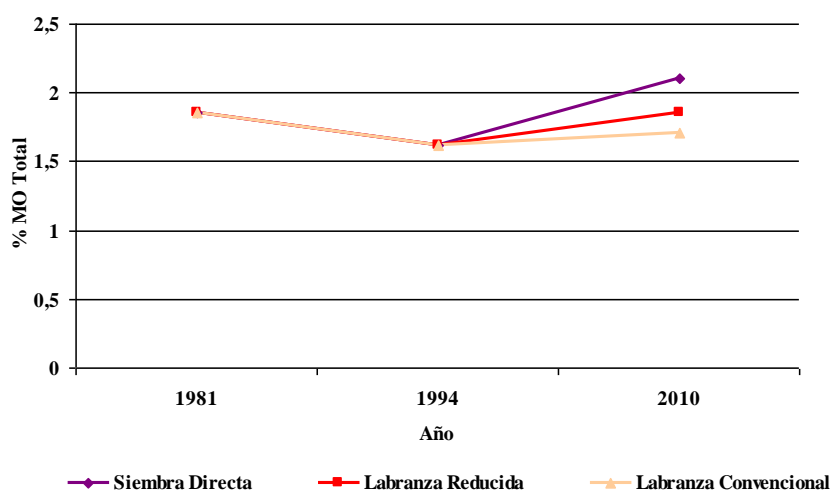


Figura 3. Evolución de la materia orgánica en el sitio del ensayo

En la figura 3 se puede observar que en el año 1981, año en el cual fue adquirido el establecimiento hasta el año 1994 en el cual comenzó el presente ensayo, los valores de MO

total se redujeron de 1,85% a 1,62% en el espesor comprendido entre 0-10 cm de profundidad. Posteriormente en el transcurso del ensayo desde su comienzo, se registraron incrementos en la MO en todos los tratamientos siendo estos más marcados en Siembra Directa, el cual superó el valor inicial del lote, registrando 2,10 % en el mismo espesor. Analizando estos resultados y tomando datos de densidad aparente obtenidos del mismo ensayo en el año 2010 (Gomez, 2011), se pudo observar que la ganancia de MO por hectárea por año en siembra directa fue de 390 Kg, para un peso total del horizonte superficial (0-10 cm) de 1300 Tn. Esto deja en evidencia lo difícil y muy lento que es aumentar los tenores de MO en los suelos.

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

El análisis estadístico no arrojó diferencias significativas en la profundidad de 0 a 10 cm entre el contenido de materia orgánica total de los tratamientos de labranza correspondientes a las dos rotaciones analizadas y sí mostró diferencias de 10 a 20 cm de profundidad, indicando que la rotación agrícola pura en labranza reducida (Agr LR) difirió del resto de los tratamientos.

En general, en la profundidad de 0 a 10 cm del suelo de la rotación agrícola-ganadera, la MO total superó a la de la rotación agrícola pura, salvo en la labranza reducida en donde la rotación agrícola superó a aquélla. La rotación agrícola-ganadera en SD fue la que alcanzó el máximo valor y la LC fue la que mostró los menores valores de MO total en ambas rotaciones (Figura 4). Esto puede deberse a que la inclusión de una pastura, permite un aumento en el aporte de restos orgánicos vegetales y la no remoción de los suelos, durante este periodo, contribuye a una menor mineralización de la materia orgánica nativa (Alvarez y Steinbach, 2006).

La tendencia observada en el contenido de materia orgánica superficial coincide con los resultados obtenidos por Peralta (2011) en relación a la estabilidad de la estructura del mismo espesor de suelo, quien determinó que en sistemas de labranzas con mayor remoción del suelo como lo es labranza convencional, se produce un mayor deterioro de la estructura, impactando negativamente sobre la distribución de tamaños de agregados estables al agua y sobre el diámetro medio ponderal, variable indicadora que guarda una estrecha relación con el contenido de materia orgánica total y con sus fracciones. Por lo tanto, el aumento de la incorporación de carbono a los suelos por medio de la selección de cultivos y de la implantación de pasturas, es una opción importante para el mejoramiento y/o mantenimiento de su condición estructural (Castiglione 2007).

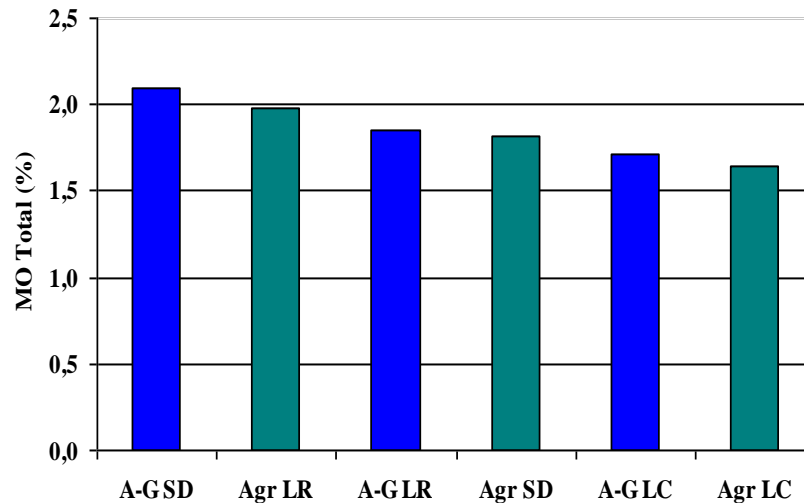


Figura 4. Efecto combinado de la rotación y sistema de labranza sobre el contenido de MO total para la profundidad de 0 a 10 cm. Donde: A-G SD: Rotación agrícola ganadera, siembra directa; A-G LR: Rotación agrícola ganadera, labranza reducida; A-G LC: Rotación agrícola ganadera, labranza convencional; Agr SD: Rotación agrícola, siembra directa; Agr LR: Rotación agrícola, labranza reducida; Agr LC: Rotación agrícola, labranza convencional.

En la profundidad de 10-20 cm, los valores de materia orgánica mostraron mayor uniformidad entre tratamientos de labranza y rotaciones que en el espesor superior, esto posiblemente debido a que, tanto la actividad microbiana como así también los aportes y pérdidas de materiales orgánicos, se concentran en la capa superficial, por lo que a mayor profundidad podrían atenuarse los efectos de las labranzas y de la rotación sobre los contenidos de materia orgánica (Figura 5). El mayor contenido de MO total en Agr LR puede estar asociado a la profundidad a la que se remueve el suelo anualmente, que puede generar por un lado un enterramiento de residuos hasta ese nivel y por otro lado producir un cierto incremento en la mineralización de la materia orgánica nativa.

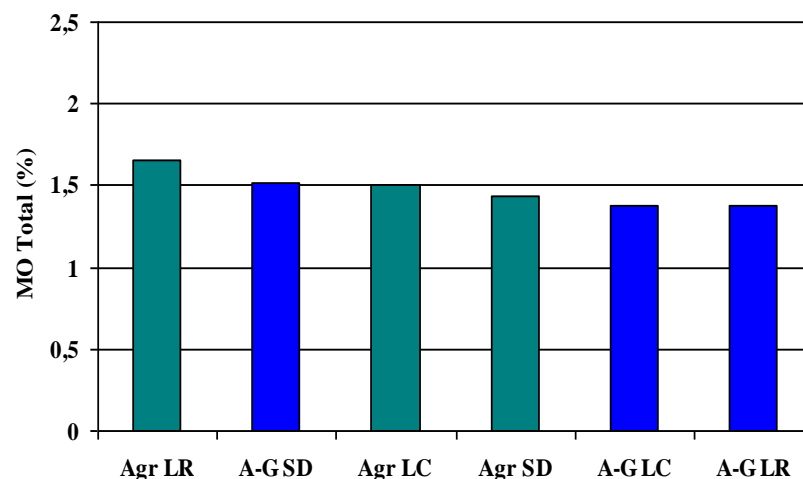


Figura 5. Efecto combinado de la rotación y sistema de labranza sobre el contenido de MO total para la profundidad de 10 a 20 cm. Donde: A-G SD: Rotación agrícola ganadera, siembra directa; A-G LR: Rotación agrícola ganadera, labranza reducida; A-G LC: Rotación agrícola ganadera, labranza convencional; Agr SD: Rotación agrícola, siembra directa; Agr LR: Rotación agrícola, labranza reducida; Agr LC: Rotación agrícola, labranza convencional.

Eiza *et al.* (2006 a) observaron en una progresión a través del tiempo, que en rotaciones agrícola-ganaderas, 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 la inclusión de pasturas luego de períodos agrícolas permitió la recuperación de la MO perdida durante dichos períodos, independientemente del sistema de labranza utilizado. Esto se explicaría ya que bajo pasturas hay una menor remoción, una elevada densidad de raíces en los primeros centímetros del suelo y un gran aporte de restos de biomasa aérea, lo que favorece la acumulación de MO.

Otro ensayo conducido en condiciones edáficas y climáticas similares a las del presente trabajo, por Bongiovanni *et al.* (2012), sobre un campo ubicado al sudoeste de Córdoba, en el que se incluyeron tres rotaciones: Agrícola (soja y maíz), Ganadera (verdeos de invierno y soja en rotación) y Gramíneas (pasturas de gramíneas por más de 20 años), encontraron que los mayores contenidos de carbono orgánico total y particulado se encontraron en la situación de pasturas de gramíneas perennes, no existiendo diferencias entre las rotaciones Agrícola y Ganadera. La diferencia hallada se observó en la profundidad de 0 – 10 cm debido a la acumulación tanto de broza remanente como a lo aportado por las raíces.

Al comparar los valores obtenidos para la fracción de MO estabilizada, en los espesores de 0-10 cm y 10-20 cm se aprecia una tendencia a favor de los sistemas de

labranza conservacionistas (SD y LR) respecto a LC y en general los mayores porcentajes se registraron en la rotación agrícola pura en ambas profundidades. Los valores de MO estabilizada más altos se registraron en la rotación agrícola con labranza reducida y SD, seguidos por la rotación agrícola-ganadera en SD y magnitud más baja se registró en LC de la misma rotación. Cabe mencionar que si bien los valores muestran la tendencia mencionada y presentan variación entre ellos, para esta situación en particular, es difícil atribuir esta diferencia a algún efecto concreto de la rotación o de los sistemas de labranza, ya que las diferencias registradas son de pequeña magnitud y el modelo estadístico no arrojó diferencias significativas (Figura 6).

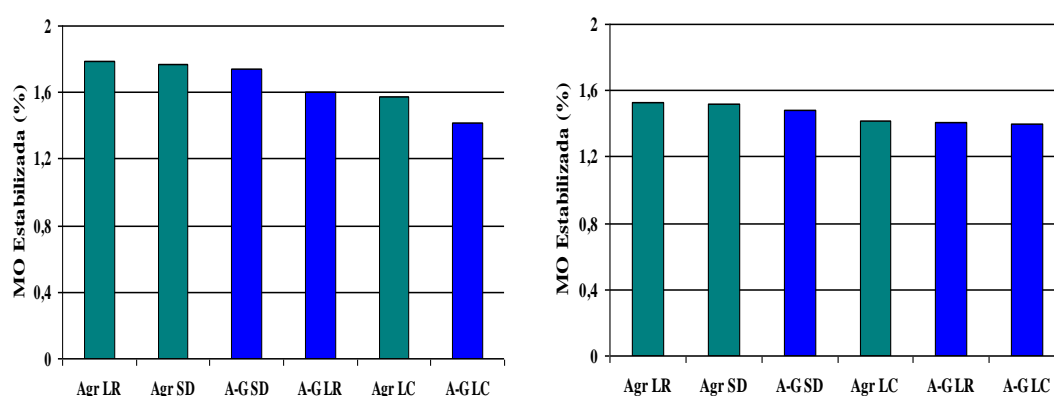


Figura 6. Efecto combinado de la rotación y sistema de labranza sobre el contenido de MO estabilizada para la profundidad de 0 a 10 cm (izquierda) y de 10 a 20 cm (derecha). Donde: A-G SD: Rotación agrícola ganadera, siembra directa; A-G LR: Rotación agrícola ganadera, labranza reducida; A-G LC: Rotación agrícola ganadera, labranza convencional; Agr SD: Rotación agrícola, siembra directa; Agr LR: Rotación agrícola, labranza reducida; Agr LC: Rotación agrícola, labranza convencional. Comparación de medias realizadas con test DGC no encontrando diferencias estadísticamente significativas para un valor de significación del 10% ($p \leq 0,10$).

Para la fracción lábil en la profundidad de 0 a 10 cm no se encontraron diferencias entre los tratamientos. Aquí la tendencia mostró una menor proporción de la fracción lábil en todos los tratamientos de la rotación agrícola pura, posiblemente a causa de los sucesivos laboreos año tras año, que provocan una incorporación y pérdida de materia orgánica producto de la acción de los microorganismos, como así también un menor aporte por parte de los cultivos anuales. Para la profundidad de 10 a 20 cm se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos siendo la rotación agrícola-ganadera con siembra directa la de mayor contenido de MO lábil. En general todos los tratamientos de la rotación agrícola-ganadera superaron a los de la rotación agrícola pura. Solo el tratamiento agrícola puro con

labranza convencional superó a dos de los tratamientos de la rotación agrícola-ganadera en el estrato inferior. Esto posiblemente es producto de la labranza, la cual produce un mayor mezclado del suelo, mayor incorporación y descomposición de residuos, generando como consecuencia un alto nivel de materia orgánica lábil, principalmente a mayores profundidades (Figura 7). Estas variaciones obtenidas se corresponden con lo expresado por Cambardella y Elliott (1992) quienes comprobaron que generalmente los cambios del contenido orgánico cuando los suelos son cultivados, ocurren en el compartimiento más lábil.

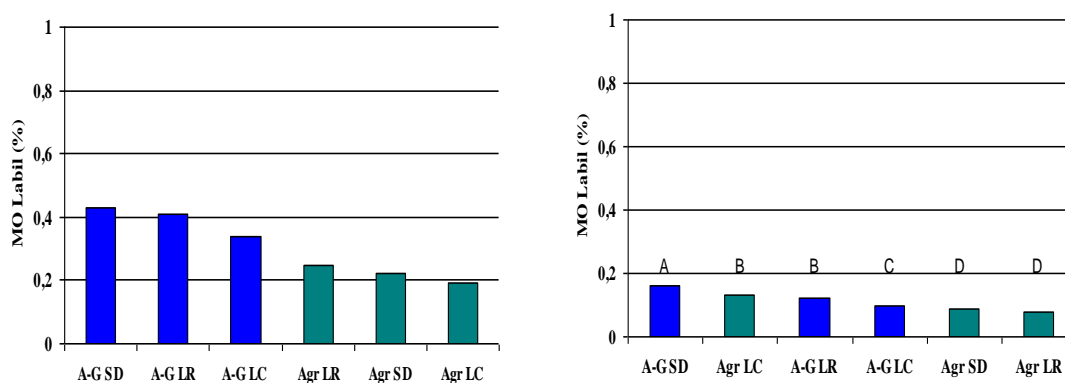


Figura 7. Efecto combinado de la rotación y sistema de labranza sobre el contenido de MO lábil para la profundidad de 0 a 10 cm (izquierda) y de 10 a 20 cm (derecha).

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

Comparación de medias realizadas con test DGC. Letras mayúsculas sobre las columnas indican diferencias significativas entre tratamientos para un valor de significación del 10% ($p \leq 0,10$).

Por su parte Galantini *et al.* (2006) en una amplia red de ensayos en suelos de la pampa húmeda y con diferentes cultivos antecesores, evaluaron el efecto sobre el contenido de materia orgánica particulada (MOP) o lábil y comprobaron que cuando el suelo proviene de pasturas, se observan los mayores contenidos de MOP a la siembra del cultivo siguiente, concluyendo que la implantación de pasturas en rotación con cultivos anuales estivales permite incrementar los contenidos de materia orgánica de los suelos. Lo mismo pudo ser observado por Studdert *et al.* (1997) y Eiza *et al.* (2006 a) en la EEA INTA Balcarce.

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES

Para las condiciones de suelo, cultivo y uso y manejo estudiadas en el presente trabajo, se concluye lo siguiente:

- La implementación de un sistema de labranza sin remoción del suelo como es el caso de la siembra directa permite incrementar los niveles de materia orgánica total.
- Las fracciones de la materia orgánica no presentan diferencias entre los sistemas de labranza, aunque la materia orgánica estabilizada muestra una tendencia hacia el incremento en los sistemas de labranza conservacionistas respecto a la labranza convencional.
- Los sistemas de labranza con mayor remoción del suelo, como labranza convencional, registran los menores contenidos de materia orgánica total.
- La intervención antrópica sobre suelos no disturbados, para el uso agrícola y/o ganadero, genera una fuerte caída en los contenidos de materiales orgánicos de estos suelos.
- La inclusión de pasturas perennes incrementa la materia orgánica lábil, respecto a la rotación agrícola pura, aunque las diferencias son significativas solo en el espesor de 10-20 cm.
- En general, en la rotación agrícola-ganadera, la implantación de pasturas perennes permite un incremento en el porcentaje de materia orgánica, respecto a la rotación agrícola pura, en los 16 años de transcurrido el ensayo, aunque las diferencias no son significativas.

BIBLIOGRAFIA

- ALBANESI A. y A. ANRIQUEZ. 2008. 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 Ciencias del Suelo**. Rosario, Argentina.
- ALVAREZ R. y H. STEINBACH 2006. Factores climáticos y edáficos reguladores del nivel de materia orgánica. En Alvarez R. (Coordinador). **Materia orgánica. Valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos**. Editorial Facultad de Agronomía. UBA. Buenos Aires, Argentina. 205 pp.
- ARZENO J. L., E. R. CORVALAN, D. J. HUIDOBRO, A. FRANZONI, 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 Ciencias del Suelo**. Paraná, Argentina.
- BARRIOS M. X., I. PICONE, F. O. GARCIA, K. P. FABRIZZI, G. CENDOYA 2000. Cambios en los contenidos de carbono y nitrógeno del suelo en sistemas bajo siembra directa en transición desde labranza convencional y pastura. **XVII Congreso Argentino de Ciencias del Suelo**. Mar del Plata, Argentina.
- BECERRA V., G. CIMADEVILLA, J. DE PRADA, A. GEYMONAT, H. GIL, J. J. MIRAS, G. CALVI, 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. Cordoba. Argentina
- BECKER A. R., M. P. CANTU, H. F. SCHIAVO, 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, 4 págs.
- BESCANS P., M. J. IMAZ, I. VIRTO, A. ENRIQUE, J. J. PEREZ DE CIRIZA, J. DELGADO, I. IRAÑETA, E. DIAZ 2006. Un ensayo de larga duración sobre laboreo de conservación y calidad de suelos.
En: <http://www.navarraagraria.com/n157/arlabo2.pdf>
Consultado: 3 / 02 / 2011
- BONGIOVANNI M. D., J. C. LOBARTINI, G. A. ORIOLI 2000. Cambios en las sustancias húmicas y agregados del suelo provocadas por labranzas. **XVII Congreso Argentino de Ciencias del Suelo**. Mar del Plata, Argentina.
- BONGIOVANNI M. D., A. DEGIOANNI 2012. Materia orgánica total y particulada en suelos con diferentes usos del sudoeste de Córdoba. **XXIII Congreso Argentino de Ciencias del Suelo**. Mar del Plata, Argentina.

- BRICCHI E., F. FORMIA, G. ESPOSITO, L. RIVERI, H. AQUINO 2004. The effect of topography, tillage and stubble grazing on soil structure and organic carbon levels. **Spanish Journal of agricultural research** (2004) 2 (3), 409-418.
- CABRERA F., A. BECKER, B. PARRA, J. BEDANO 2012. Stock de carbono organico en haplustoles del centro-sur de Cordoba. **XXIII Congreso Argentino de Ciencias del Suelo**. Mar del Plata, Argentina.
- CAMBARDELLA C. A. y E. T. ELLIOTT 1992 Particulate soil organic matter Changes across a grassland cultivation sequence. **Soil. Sci. Soc. Am. J.**, 56: 777-783
- CAMBARDELLA C. A. y E. T. ELLIOTT 1994. Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fractions from cultivated grassland soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 58:123-130.
- CANTERO A., E. BRICCHI, V. BECERRA, J. CISNEROS y H. GIL 1984. **Zonificación y descripción de las tierras del Dpto. Río Cuarto**. Talleres gráficos de la UNRC, adhesión del bicentenario de la fundación de la ciudad de Río Cuarto. Argentina.
- 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. 2003. Sustentabilidad de la agricultura en la región pampeana
En: <http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/reclnat/suelos/casas.htm>
Consultado: 2-02-2011
- CASTIGLIONE M. G. 2007 Cátedra de Manejo de Conservación de Suelos. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. **Revista Conciencia Rural. La Vida del Campo**. SUELOS: “La Estructura del Suelo”.
- 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.
- CORBELLA R. D., G. A. SANZANO, J. R. GARCIA, A. M. PLASENCIA, G. S. FADDA, M. MORANDINI 2004. Descomposición de rastrojos y su influencia sobre la fertilidad química en un haplustol típico con diferentes manejos. **XIX Congreso Argentino de Ciencias del Suelo**. Paraná, Argentina.
- CORBELLA R. D., J. R. GARCIA, G. A. SANZANO, A. M. PLASENCIA, J. FERNANDEZ DE ULLIVARRI 2008. Diferentes fracciones de carbono orgánico como indicadores de calidad de suelos del este tucumano. **XXII Congreso Argentino de Ciencias del Suelo**. Rosario, 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.
- DEGIOANNI, A. 2004. Guía para el reconocimiento de las propiedades morfológicas externas e internas del individuo suelo. Asignatura Sistema Suelo. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto.
- DI RIENZO J. A., M. BALZARINI, L. GONZALEZ, F. CASANOVES, M. TABLADA, C. ROBLEDO 2011. Software estadístico. Registro Dirección Nac. Derecho de Autor, obra de software, N° 960318. Córdoba, Argentina.
- DOMINGUEZ G. F., G. A. STUDDERT, H. E. ECHEVERRIA, G. LORENZ 2004. Efectos de dos sistemas de labranza sobre materia orgánica total y particulada en un molisol de balcarce. **XIX Congreso Argentino de Ciencias del Suelo**. Parana. Argentina.
- EIZA M. J., N. FIORITI, G. A. STUDDERT, H. E. ECHEVERRIA 2005. Fracciones de carbono orgánico en la capa arable: efecto de los sistemas de cultivo y fertilización nitrogenada. **Cienc. suelo v.23 n.1** Buenos Aires ene./jul. 2005. ISSN 1850-2067
En:http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S185020672005000100007&script=sci_arttext
Consultado: 3 / 02 / 2011
- EIZA M. J., G. A. STUDDERT, G. F. DOMINGUEZ 2006. a. Dinámica de la Materia Orgánica del suelo bajo rotaciones mixtas: I. Materia Orgánica total. **XX Congreso Argentino de Ciencias del Suelo**. Salta, Argentina.
- EIZA M. J., G. A. STUDDERT, G. F. DOMINGUEZ 2006. b. Dinámica de la Materia Orgánica del suelo bajo rotaciones mixtas: II. Materia Orgánica particulada. **XX Congreso Argentino de Ciencias del Suelo**. Salta, Argentina.
- ESPOSITO G., C. CASTILLO, E. BRICCHI, R. BALBOA, 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**. Actas pag 79. San Luis. Argentina.
- FERRARY LAGUZZI F., R. OSINAGA, J. L. ARZENO, T. RODRIGUEZ. 2010. Fraccionamiento de la materia orgánica como indicador químico de la calidad del suelo en distintos sistemas de labranza. **XXII Congreso Argentino de Ciencias del Suelo**. Rosario, Argentina.
- GALANTINI J. A., J. O. IGLESIAS, R. A. ROSELL 2004. Calidad y dinámica de las fracciones orgánicas en la región semiárida pampeana. **XIX Congreso Argentino de Ciencias del Suelo**. Paraná, Argentina

- GALANTINI J. A., M. R. LANDRISCINI, C. HEVIA 2006. Contenido y calidad de la materia orgánica particulada del suelo en siembra directa. **XX Congreso Argentino de Ciencias del Suelo**. Salta, Argentina.
- GHIOTTI M. L. y M. BASANTA 2008. Efecto de distintos sistemas de manejo sobre las fracciones de materia orgánica en un haplustol del centro de la provincia de Córdoba. **XXI Congreso Argentino de Ciencias del Suelo**. San Luis, Argentina
- GOMEZ M. 2011. **Efecto de una labor subsuperficial sobre el almacenamiento de agua en un Hapludol típico del sur cordobés**. Tesis. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto. Córdoba. Argentina.
- GONZALEZ P. B., D. A. SOSA, S. BARBARO, B. E. IWASITA 2008. Evaluación de la materia orgánica en diferentes manejos de suelo. **XXI Congreso Argentino de Ciencias del Suelo**. San Luis, Argentina
- GREGORICH E. G., M. R. CARTER, D.A. ANGERS, C. M. MONREAL, B. H. ELLERT. 1994. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soil. **Can. J. of Soil Sci.** 74:367-385
- HEPPER E. N, D. E. BUSCHIAZZO, G. G. HEVIA, A. URIOSTE, L. FERRAMOLES 2004. Superficie específica y capacidad de intercambio catiónico de suelos loesicos de la Región Semiárida Argentina. **XIX Congreso Argentino de Ciencias del Suelo**. Paraná, Argentina.
- IRIGOIN J., E. PENON, M. C. COSTA 2004. Integración de atributos edáficos en un índice de calidad de suelo. **XIX Congreso Argentino de Ciencias del Suelo**. Paraná, Argentina.
- JANZEN H. H., C. A. CAMPBELL, R. C. INZAURRALDE, B. H. ELLERT, N. JUMA, W. B. MC GILL, R. P. ZENTNER 1998. Management effects on soil C storage on the Canadian Prairies. **Soil Tillage Res.** 47:181-95
- KIESSLING R. J., J. A. GALANTINI, J. O. IGLESIAS, H. KRUGER, S. VENANZI 2008. Efecto del pisoteo animal sobre la porosidad del suelo en lotes bajo siembra directa continua. **XXI Congreso Argentino de Ciencias del Suelo**. San Luis, Argentina
- LARDONE A. 2010. **Estimación de los coeficientes de humificación y mineralización de la materia orgánica en un Hapludol típico de Río Cuarto**. Tesis. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto. Córdoba. Argentina.
- MANDOLESI M. E., M. M. RON, P. E. VIDAL, H. J. FORJAN 2004. Carbono orgánico y sus fracciones según uso del suelo en un argiudol típico del centro sur bonaerense. **XIX Congreso Argentino de Ciencias del Suelo**. Paraná, Argentina.
- MARTINEZ UNCAL M. C., S. AIMAR, H. M. MARTINEZ, R. HEVIA 2008. Estudio de materia orgánica y estabilidad en un Haplustol del caldenal, con distintos manejos. **XX Congreso Argentino de Ciencias del Suelo**. Salta, 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, 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.
- MORENO, I. S. 2000. **La materia orgánica y el uso de los suelos. Su impacto sobre las propiedades físicas.** Tesis magíster en Ciencias del Suelo. Universidad del Sur. Bahía Blanca, Argentina.
- PARERA J. C. 2006. Dinámica de la materia orgánica aportada al suelo por bosque del chaco húmedo. **XX Congreso Argentino de Ciencias del Suelo.** Salta, Argentina.
- PERALTA C. M. 2011. **Estabilidad estructural superficial de un Hapludol típico del suroeste de Córdoba en una rotación agrícola ganadera con tres sistemas de labranza.** Tesis. Facultad De Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto. Córdoba. Argentina
- STUDDERT G. A., H. E. ECHEVERRIA, E. M. CASANOVAS 1997. Crop-pasture rotation for sustaining the quality and productivity of a Typic Argiudol. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 61:1466-1472.
- STUDDERT G. A., H. E. ECHEVERRIA 2002.a. Agricultura continua, labranzas y carbono orgánico en la capa arable en el sudeste bonaerense. **XVIII Congreso Argentino de Ciencias del Suelo.** Puerto Madryn. Argentina.
- STUDDERT G. A., H. E. ECHEVERRIA 2002.b. Rotaciones mixtas, labranzas y carbono orgánico en la capa arable en el sudeste bonaerense. **XVIII Congreso Argentino de Ciencias del Suelo.** Puerto Madryn. Argentina.
- VERRI, L. 2004. **Efecto del uso y del manejo sobre la materia orgánica total y sus fracciones en un Hapludol típico.** Tesis. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto. Córdoba. Argentina.
- WILSON M. G., C. E. QUINTERO, N. G. BOSCHETTI, R. A. BENAVIDEZ, W. A. MANCUSO 2000. Evaluación de atributos del suelo para la utilización como indicadores de calidad y sostenibilidad en Entre Ríos. **Revista Facultad de Agronomía.** 20 (1) 23-30.
- ZERBINO, S., N. ALTIER 2006. La Biodiversidad del suelo. 8-9. **Suplemento Tecnológico.** Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA), La Estanzuela, Uruguay.