

Evolución del carbono orgánico y propiedades físicas en un suelo bajo riego suplementario y siembra directa en la región central de Córdoba

Año
2016

Autor
Ghigo, Francisco Ariel

Director
Giubergia, Juan Pablo

Este documento está disponible para su consulta y descarga en el portal on line de la Biblioteca Central "Vicerrector Ricardo Alberto Podestá", en el Repositorio Institucional de la **Universidad Nacional de Villa María**.

CITA SUGERIDA

Ghigo, F. A. y Gino, M. E. (2016). *Evolución del carbono orgánico y propiedades físicas en un suelo bajo riego suplementario y siembra directa en la región central de Córdoba*. Villa María: Universidad Nacional de Villa María



Universidad Nacional de Villa María

Instituto A. P. Ciencias Básicas y Aplicadas

**Trabajo Final de Grado para optar al título de
Ingeniero Agrónomo**

**EVOLUCIÓN DEL CARBONO ORGÁNICO Y
PROPIEDADES FÍSICAS EN UN SUELO BAJO
RIEGO SUPLEMENTARIO Y SIEMBRA DIRECTA
EN LA REGIÓN CENTRAL DE CÓRDOBA**

AUTORES

**Ghigo, Francisco Ariel
Gino, Matías Ezequiel**

DIRECTOR

Ing. Agr. (MSc.) Juan Pablo Giubergia

**Villa María, Córdoba
Octubre 2016**

**EVOLUCIÓN DEL CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES
FÍSICAS EN UN SUELO BAJO RIEGO SUPLEMENTARIO Y
SIEMBRA DIRECTA EN LA REGIÓN CENTRAL DE CÓRDOBA**

Universidad Nacional de Villa María

I.A.P. Ciencias Básicas y Aplicadas

Título del trabajo final de grado: EVOLUCIÓN DEL CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES FÍSICAS EN UN SUELO BAJO RIEGO SUPLEMENTARIO Y SIEMBRA DIRECTA EN LA REGIÓN CENTRAL DE CÓRDOBA

Autores: Matias Ezequiel Gino

Francisco Ariel Ghigo

Director: Ing. Agr. (MSc.) Giubergia Juan Pablo

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias del Tribunal evaluador (Art. N° 15, Res. N° 48/2000 del Consejo Superior)

_____	_____
Nombre y apellido	Firma
_____	_____
Nombre y apellido	Firma
_____	_____
Nombre y apellido	Firma

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias del Asesor (Art. N° 2, Res. 77/2006 del Consejo Directivo IAP Ciencias Básicas y Aplicadas)

_____	_____
Nombre y apellido	Firma

Lugar y fecha de aprobación:

Universidad Nacional de Villa María

I. A. P. Ciencias Básicas y Aplicadas

**Trabajo Final de Grado para optar al título de
Ingeniero Agrónomo**

**EVOLUCIÓN DEL CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES
FÍSICAS EN UN SUELO BAJO RIEGO SUPLEMENTARIO Y
SIEMBRA DIRECTA EN LA REGIÓN CENTRAL DE CÓRDOBA**

AUTORES

Matias Ezequiel Gino

Francisco Ariel Ghigo

DIRECTOR

Ing. Agr. (MSc.) Juan Pablo Giubergia

**Villa María - Córdoba
Agosto 2016**

Dedicatoria

A nuestros padres y novias por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia agradecemos a nuestros familiares por el esfuerzo de permitirnos lograr nuestro objetivo, por acompañarnos y apoyarnos con sus valores durante el transcurso de nuestros estudios.

A todo el grupo de trabajo del área de Recursos Naturales y Agronomía de la EEA INTA Manfredi, por permitirnos ser parte de uno de sus proyectos de investigación. En especial a nuestro Director de TFG el Ing. Agr.(MSc) Juan Pablo Giubergia ya que sin su guía y colaboración permanente hubiese sido imposible la realización de este trabajo.

A los profesionales del laboratorio de suelos por brindarnos su espacio y experiencia para la obtención de datos que llevamos adelante en nuestro trabajo.

A nuestros amigos y compañeros universitarios por estar siempre presentes, ya que fueron indispensables en todo el trayecto de la carrera.

A nuestros profesores, por su dedicación y transmitirnos todos sus conocimientos.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. Riego suplementario en Argentina	5
2.2. Siembra directa	5
2.3. Materia orgánica del suelo	6
2.3.1. Carbono orgánico particulado	8
2.4. Fertilidad física del suelo	9
2.4.1. Densidad aparente del suelo	10
2.4.2. Estabilidad de agregados	10
3. OBJETIVOS	13
3.1. Objetivo general	13
3.2. Objetivos específicos	13
4. MATERIALES Y MÉTODOS	14
4.1. Características del sitio experimental	14
4.2. Características del experimento	14
4.3. Determinaciones	17
4.4. Análisis estadístico	20
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
5.1. Evolución del carbono orgánico total y sus funciones	21
5.2. Evolución de la densidad aparente y estabilidad de agregados	25
5.3. Evaluación de la cobertura de rastrojos bajo riego y seco	30
6. CONCLUSIONES	33
7. BIBLIOGRAFÍA	35
8. ANEXO	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos promedio de manejo de los cultivos del experimento.	16
Tabla 2. Evolución del stock de carbono del suelo en el extracto de 0-20 cm para las situaciones de riego y seco.	23
Tabla 3. Evolución de la densidad aparente del suelo a diferentes profundidades, para las situaciones riego y seco.	26
Tabla 4. Valores de estabilidad de agregados del suelo a diferentes profundidades, para las situaciones riego y seco.	27
Tabla 5. Aporte de rastrojos estimado a partir del rendimiento de los cultivos en un ciclo de rotación y valores medidos a campo al final del mismo ciclo, bajo riego y seco.	31

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Mapa del experimento con riego suplementario y siembra directa. 15
- Figura 2.** Imagen del equipo utilizado para medir estabilidad de agregados por el método de Kemper y Rosenau. 19
- Figura 3.** Concentración de carbono orgánico del suelo a diferentes profundidades para los tratamientos riego y seco, luego de 17 años de iniciado el experimento. 21
- Figura 4.** Evolución temporal de la concentración de carbono orgánico de suelo para las situaciones riego y seco, en los extractos 0-20 y 20-40 cm. 22
- Figura 5.** Valores de carbono orgánico de las diferentes fracciones granulométricas, expresados como porcentaje de la masa de suelo, a diferentes profundidades para los tratamientos riego y seco. 24

ÍNDICE DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

CE	Conductividad eléctrica
CO	Carbono orgánico
COS	Carbono orgánico del suelo
Dap	Densidad aparente
EA	Estabilidad de agregados
FTP	Fraccionamiento físico por tamaño de partículas
MO	Materia orgánica
MOS	Materia orgánica del suelo
RCC	Región Central Córdoba
Ri	Irrigado
SD	Siembra directa
Sec	Secano

EVOLUCIÓN DEL CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES FÍSICAS EN UN SUELO BAJO RIEGO SUPLEMENTARIO Y SIEMBRA DIRECTA EN LA REGIÓN CENTRAL DE CÓRDOBA

Autores: Matias Ezequiel Gino

Francisco Ariel Ghigo

Director: Ing. Agr. (MSc.) Juan Pablo Giubergia

RESUMEN

El riego y los sistemas de labranzas afectan al contenido de carbono orgánico del suelo (COS). Es conocido que la siembra directa (SD) produce un incremento del carbono orgánico en los primeros centímetros del suelo. Respecto al riego el efecto no es tan claro. El objetivo del presente trabajo fue cuantificar cambios del COS (total y particulado) y de algunas propiedades físicas a causa de la aplicación de riego suplementario por 17 años, a un suelo cultivado bajo SD. El estudio se realizó sobre un ensayo de larga duración en INTA Manfredi. Se evaluaron dos tratamientos: irrigado (Ri) y seco (Sec). La irrigación se realiza con un equipo de pivot central. En 1996 (inicio del experimento) se muestreó el suelo en cuadrícula. En el año 2007 se seleccionaron 48 sitios de muestreo a partir de la cuadrícula inicial y se determinó el estado de la fertilidad del suelo luego de once años de riego. Para el presente estudio se seleccionaron los mismos sitios de muestreo que en el año 2007, se tomaron muestras a las profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 y 40-80 cm y se determinó % y stock de COS, fracciones de carbono orgánico (CO) y, sobre muestras de suelos sin disturbar, densidad aparente (Dap) y estabilidad de agregados (EA). Además, se tomaron muestras de rastrojo en cada sitio. Se observó una estratificación del carbono en profundidad, tanto en Ri como en Sec, asociada al manejo en SD. Al comparar entre tratamientos, solo se observaron diferencias en el estrato superficial (0-5 cm), con valores de

2,59% de CO en el tratamiento Ri y 2,12% en secano. Los mayores valores de carbono se debieron a mayores valores de las fracciones 53-200 micras y >200 micras. La evolución temporal del COS mostró un incremento significativo en ambos tratamientos en el año 2007 en el estrato de 0-20 cm, con una tendencia de mayor aumento bajo Ri. En el año 2013 no hubo diferencias respecto a la medición anterior (2007) en ninguno de los tratamientos. En stock de COS, los resultados mostraron un comportamiento similar a los de % de CO. Se observaron en ambos tratamientos valores altos de Dap a nivel subsuperficial (5-10 y 10-20 cm), que se deberían a un efecto de compactación generado por el manejo en SD. Se observó también una tendencia al incremento de los valores de Dap en el tiempo, levemente superior bajo el tratamiento Ri. La EA fue superior en el tratamiento irrigado en el estrato de 0-5 cm y las diferencias a favor del riego se incrementaron en el tiempo. Bajo riego solo se recolectó un 11% más de rastrojo que en secano, mientras que los aportes de residuos estimados durante el año anterior a la medición fueron un 54% superior en el tratamiento Ri. Este resultado estaría indicando una mayor tasa de descomposición y mineralización de los residuos bajo el tratamiento irrigado.

Palabras clave: carbono particulado, stock de carbono, riego suplementario, física de suelos.

EVOLUCIÓN DEL CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES FÍSICAS EN UN SUELO BAJO RIEGO SUPLEMENTARIO Y SIEMBRA DIRECTA EN LA REGIÓN CENTRAL DE CÓRDOBA

Autores: Matias Ezequiel Gino

Francisco Ariel Ghigo

Director: Ing. Agr. (MSc.) Juan Pablo Giubergia

1. INTRODUCCIÓN

La región central de la provincia de Córdoba (RCC) presenta un clima semiárido, con precipitaciones medias anuales entre 650 y 850 mm, bajo un régimen de tipo monzónico, con el 80% de las lluvias que ocurren en el período que va de octubre a abril, con una alta variabilidad interanual de las precipitaciones. El balance hídrico es negativo durante la mayor parte del año, limitando severamente los rendimientos de trigo y condicionando los rendimientos de los principales cultivos de verano (soja y maíz), debido a la alta probabilidad de ocurrencia de estrés hídrico en los momentos más críticos (floración y llenado de granos) (INTA, 1987). En la región predominan los suelos de textura franco limosa (68 - 70% de limo), moderadamente provistos de materia orgánica (MO) y, por lo tanto, con débil estructura y alta susceptibilidad a la degradación de sus propiedades físicas por prácticas de manejo inadecuadas (Lovera et al., 1993).

A partir de la década de los 80, en los sistemas de producción de la RCC se han producido importantes cambios en el uso de la tierra dedicada a la agricultura. La soja en monocultivo fue reemplazando otros cultivos como el sorgo, maíz, trigo, girasol y maní, proceso que inicialmente ocurrió en sistemas de labranza convencional, con una total remoción de suelo y ausencia de rastrojos en superficie, provocando una degradación del recurso suelo, pérdida de MO, nitrógeno total, fósforo y disminución de la estabilidad estructural e incremento del escurrimiento superficial (Salas et al., 2005). Desde la década del 90 los sistemas de labranza fueron cambiando hacia

los llamados “conservacionistas”, dentro de los cuales el de SD es el más difundido en la región, cubriendo el 90% de la superficie dedicada a agricultura en la provincia durante la campaña 2010/11 (Aapresid, 2012).

Por su parte, el uso de riego para suplementar períodos de déficit hídrico, surgió como una tecnología factible de implementar con el objetivo de aumentar y estabilizar la producción de los principales cultivos de la región. La adopción de esta técnica comenzó a ser significativa desde mediados de la década del 90 y en la actualidad, si bien la superficie con riego es baja respecto al total agrícola provincial, su potencial de crecimiento es muy importante teniendo en cuenta los promisorios resultados obtenidos respecto al incremento de rendimiento de los cultivos (Martellotto et al., 2005). Según estimaciones realizadas por el Grupo Mapa de Suelos del INTA Manfredi y la SAGyRR de la provincia de Córdoba en el año 1995, se determinó un área potencial con aptitud de suelos y disponibilidad de agua subterránea para riego de aproximadamente 1.500.000 ha en la provincia. La superficie bajo riego relevada al año 2014 es de 157 mil ha principalmente con sistemas de riego presurizados (e.g. pivote central, avance frontal y cañón regador) (Salinas et al., 2015).

La siembra directa es una técnica que, junto a la rotación de cultivos y fertilización balanceada, permitiría mejorar el balance de carbono, las propiedades físicas y la dinámica del agua en el suelo, favoreciendo a la sustentabilidad de los sistemas (Salas et al., 2005). Este tipo de labranza produce en el largo plazo una transformación del ambiente edáfico (Arshad, 1999; Hernanz et al., 2002). El principal componente afectado es la MO y las propiedades físicas y químicas relacionadas con la misma. En estos sistemas, el aporte de residuos de cosecha de alta relación C/N que permanecen en superficie y la no remoción del suelo determinan, en general, un aumento del contenido de MO en los primeros centímetros del suelo, mostrando una estratificación de la misma con la profundidad (Unger, 1991; Buschiazzo et al., 1998).

La evolución del COS en sistemas de producción con riego depende de la ocurrencia de dos procesos contrastantes (Giubergia et al., 2013). Por un lado, se produce un incremento de los rendimientos de los cultivos

regados, lo cual significa mayor cantidad de residuos aportados al suelo y por lo tanto un incremento en el contenido de COS (Lal et al., 1998; Gillabel et al., 2007). Por otro lado, bajo riego se pueden acelerar las tasas de descomposición de los residuos y la mineralización del COS, con incrementos del flujo de CO₂ hacia la atmósfera. Esto se debería a un incremento de la actividad microbiana, por una mayor cantidad de humedad disponible en el suelo (Jabro et al., 2008). Como consecuencia, las posibles ganancias de COS bajo riego pueden ser de escasa magnitud o despreciables (De Bona et al., 2008; Giubergia et al., 2013).

Es conocido que el contenido de materia orgánica total y sus fracciones son importantes atributos de la calidad del suelo (Gregorich et al., 1994). Sin embargo, una gran parte de la MO es muy estable y su variación sólo se observa luego de varios años o décadas. En cambio, las fracciones lábiles son sensibles a los efectos de diferentes usos de la tierra y pueden ser utilizadas como indicadores tempranos de la calidad de suelo (Six et al., 2002). La estratificación de la MO producida por la ubicación superficial de los residuos vegetales es debida principalmente por un aumento de las fracciones lábiles de la MO en los primeros centímetros del suelo. Las fracciones más estables sufren poco cambio frente al sistema de labranza (Álvarez y Steinbach, 2006 a). Bajo riego, son escasos los antecedentes de estudios del efecto sobre distintas fracciones de la MO. Gillabel et al., (2007) midieron mayor stock de CO del suelo en riego, asociado principalmente a un cambio en el carbono en la fracción entre 53 y 250 micras.

En suelos bajo riego, algunas propiedades físicas como la agregación de las partículas, la infiltración y movimiento de agua en el perfil pueden ser afectadas negativamente. Es conocido, en sistemas irrigados, que el ingreso de sodio al complejo de intercambio del suelo produce dispersión e hinchamiento de las arcillas y estallido durante el humedecimiento de agregados, con un efecto negativo sobre la agregación de las partículas (Frenkel et al., 1978; Pupisky y Shaimberg 1979; Shaimberg et al., 2001). La EA del suelo puede ser negativamente afectada aún utilizando aguas de riego con valores bajos de RAS, particularmente cuando la concentración salina de la solución del suelo es baja (Crescimanno et al., 1995) o en

sistemas que alternaron riego suplementario y lluvias (Pilatti et al., 2006). Por otro lado, como se mencionó anteriormente, la SD tiene un efecto positivo sobre la agregación en la capa superficial de suelo, debido a un incremento de los contenidos de MO en esos estratos de suelo (Buschiazzo et al., 1998; Micucci y Taboada 2006).

Los antecedentes indicados muestran que habría un efecto contrapuesto entre la SD y el riego sobre algunas propiedades del suelo. En general hay coincidencia en que la SD produce un incremento en los niveles de CO en los primeros centímetros del suelo. Respecto al riego el efecto no es tan claro. Si bien en los últimos años se registra un creciente número de trabajos de investigación sobre la temática, los experimentos que hayan estudiado los efectos de la aplicación de riego suplementario en suelos manejados bajo SD, son escasos. Además, es difícil encontrar en la bibliografía trabajos que hayan estudiado las fracciones de CO en sistema regados. Por ello, el presente trabajo apunta a contribuir al conocimiento de la dinámica de la MO del suelo en sistemas bajo riego, siguiendo una línea de investigación que el INTA Manfredi lleva adelante desde el año 1996.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Riego suplementario en Argentina

El riego suplementario permite incrementar de un modo significativo el rendimiento de los cultivos y su estabilización en el tiempo (Mon et al., 2007). Los agricultores de la región de la pampa húmeda y subhúmeda Argentina, comienzan a utilizar riego suplementario para evitar el estrés hídrico durante los períodos críticos de los principales cultivos extensivos. El crecimiento del cultivo es normalmente afectado durante el verano por períodos cortos de déficit de agua que produce una disminución significativa de los rendimientos de los cultivos. El riego se considera de esta manera de carácter suplementario, debido a que las láminas de riego aplicadas cubren del 10 al 30% del agua total recibida por el cultivo (Lavado, 2009).

El riego suplementario ha crecido en las últimas décadas en la región pampeana (Bragachini et al., 2009), y la mayor proporción se realiza con equipos de pivot central. Un estudio indica que existían al año 2011 en la Argentina, aproximadamente 405 mil hectáreas bajo riego por pivot central. El 90% de esta superficie corresponde a cultivos de soja, maíz y trigo. Del total de esa superficie aproximadamente 283 mil hectáreas son aptas para cultivo en seco, es decir el riego no es necesario para realizar agricultura y actúa como un complemento (PROSAP, com. Pers.¹). El mismo estudio refleja que en el año 2010 existía una superficie total bajo riego en el país de 1,9 millones de hectáreas.

2.2. Siembra directa

La SD es parte de un sistema integral de producción de granos que evolucionó hacia la implantación del cultivo sin remoción de suelo, con una cobertura permanente del mismo con residuos de cosecha, en la que solo se genera una perturbación en la línea de siembra (Pognante et al., 2011). La implementación de la SD puede mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, puesto que contribuye, en general, a mantener o

¹ Programa de Servicios Agrícolas Provinciales (PROSAP). Ministerio de Agricultura de la Nación.

incrementar el nivel de COS (Unger, 1991; Buschiazzo et al., 1998). En SD los residuos de los cultivos permanecen en la superficie, por lo que se produce una acumulación de la MO en la capa superficial de los suelos. Asociado con este aumento de la MO se comprueba una mayor estabilidad estructural y menor susceptibilidad a la compactación (Quiroga et al., 1998).

La labranza intensiva del suelo es la causa principal de la reducción de MO en los suelos y por lo tanto de la degradación de los mismos. La labranza acelera la mineralización de la MO y destruye el hábitat de la vida del suelo. Reduciendo la intensidad de la labranza, la vida del suelo regresa y la mineralización se disminuye. En los sistemas con remoción, luego de la incorporación de rastrojo, aumenta la temperatura del suelo y esto causa un aumento de la emisión de C-CO₂ y de la mineralización de nitrógeno. También debe considerarse que cuando los residuos vegetales son incorporados al suelo se mantienen más húmedos que dejados sobre la superficie y esto produce una más rápida descomposición (Álvarez y Steinbach, 2006 a).

Eliminando la labranza por completo y llegando a la labranza cero se puede minimizar la mineralización de la MO a niveles inferiores a los ingresos, transformando al suelo en un almacén de carbono, secuestrando carbono de la atmósfera (Reicoscky, 2001). Al mismo tiempo la labranza cero resulta en ahorro de agua y una mayor eficiencia en el uso de la misma. Al permanecer los residuos en superficie se evita la evaporación no productiva del suelo roturado y expuesto. Además la infiltración de agua aumenta. El ahorro en agua depende de las rotaciones de cultivos y las condiciones climáticas. Sin embargo la labranza cero, si no está complementada con otras tecnologías, puede enfrentar problemas como el control de malezas, compactaciones, costras superficiales dependiendo del tipo de suelo y otros factores que pueden poner en peligro la sostenibilidad de la SD como tecnología aislada (FAO, 2007).

2.3. Materia orgánica del suelo

En sentido amplio, la MOS es un continuo desde materiales vegetales frescos sin descomponer (como una hoja) hasta cadenas carbonadas muy

transformadas y estables como los ácidos húmicos. Los residuos vegetales de las plantas herbáceas tienen en promedio un 40% de carbono en su composición, mientras que la materia orgánica humificada del horizonte A de los suelos tiene en promedio un 58% de carbono. Del total de los compuestos orgánicos del horizonte A de un suelo los residuos representan generalmente entre 5 y 15%, siendo el humus la casi totalidad de la MO. La cantidad de residuos cambia rápidamente en períodos de semanas o meses, mientras el contenido de humus lo hace lentamente, en períodos de años, décadas o siglos. Para caracterizar analíticamente el nivel de MO de un suelo se eliminan los residuos vegetales y se reporta en realidad un resultado de materia orgánica humificada (Álvarez y Steinbach, 2006 c).

El carbono ingresa al agrosistema por la fotosíntesis vegetal y sale del mismo por la respiración radical y microbiana. La diferencia representa el balance de carbono del mismo. Cuando la biomasa vegetal muere pasa a ser residuo vegetal. Durante su descomposición se liberan nutrientes y se emite CO₂. Este también es generado en el proceso de mineralización de la materia orgánica humificada. La suma de la emisión de CO₂ por descomposición y mineralización constituye la respiración microbiana o heterotrófica del suelo. El carbono de los residuos que no es emitido como CO₂ durante la descomposición pasa a formar parte de la biomasa microbiana en un primer momento. Luego, se integra a sustancias orgánicas más estables y se denomina carbono humificado, esto se conoce como humificación (Álvarez y Steinbach, 2006 c).

Las fracciones que constituyen la MOS son susceptibles a distintos grados de degradación. Actualmente la tendencia es determinar las distintas fracciones de MO capaces de reflejar los cambios en la provisión de carbono y/o condiciones que afectan la mineralización a diferentes profundidades, asociados a determinados tamaños de partículas y cumpliendo funciones específicas (Corbella et al., 2006). La relación entre la materia orgánica particulada (entre 100 y 2000 micrones) y la materia orgánica total es un importante indicador del efecto de diferentes manejos que modifican el aporte de carbono o su velocidad de descomposición (Galantini et al., 2004).

Si bien la MO representa una pequeña fracción de la masa de la mayor parte de los suelos, se la considera un factor muy importante ya que muchos estudios han mostrado que afecta la estabilidad de agregados, la capacidad de almacenamiento de agua útil, la capacidad de intercambio catiónico y la disponibilidad de nutrientes, especialmente nitrógeno. El balance original de MO de un suelo prístino se altera cuando estos suelos se ponen bajo cultivo y la MO se expone a procesos oxidativos, que generalmente exceden los ingresos. Como resultado de los cambios en las prácticas culturales se llega a un nuevo balance y generalmente el CO disminuye hasta alcanzar un nuevo equilibrio (Álvarez y Steinbach, 2006 b). Inversamente, la introducción de prácticas de manejo que incrementen el aporte de residuos al suelo puede resultar en un aumento del secuestro de CO (Follet, 2001). Entre otros, el uso de sistemas de labranza conservacionistas (por ejemplo siembra directa) y la irrigación de cultivos, se mencionan como manejos agrícolas que pueden incrementar los stocks de CO del suelo (Follet, 2001).

Los indicadores de calidad de suelos pueden ser propiedades físicas, químicas o biológicas, o procesos que ocurren en el suelo. Ellos permiten analizar la situación actual, identificar puntos críticos del sistema, analizar los posibles impactos antes de una intervención y después de ella y ayudar a determinar si el uso del recurso es sostenible (Bautista et al., 2004). Por ello, se señala al carbono orgánico y al nitrógeno como los indicadores más generalizados y los más importantes de calidad del suelo y de sustentabilidad agronómica en estudios de larga duración (Reeves, 1997).

2.3.1. Carbono orgánico particulado

Como se ha mencionado, la MO juega un rol importante en la determinación de la fertilidad y productividad de los suelos. La dinámica de la MO está influenciada por el clima, tipo de suelo y manejo agronómico. Estos factores interactúan determinando aspectos físicos, químicos y biológicos de la MO (Feller y Beare, 1997). 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 (Six et al., 2002). 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 (Haynes, 2000).

Los estudios basados en el fraccionamiento físico por tamaño de partículas (FTP) permitieron avanzar en el conocimiento de la dinámica de la MO del suelo, su relación con el manejo agronómico y su importancia en la nutrición de los cultivos (Balesdent et al., 2000). El FTP está basado en el concepto de que las fracciones de la MO están asociadas con partículas minerales de diferentes tamaño y difieren en estructura y función, cumpliendo, en consecuencia, diferentes roles en la dinámica de la MO.

2.4. Fertilidad física del suelo

El crecimiento de las plantas se suele relacionar más con la disponibilidad de nutrientes (fertilidad química) que con las condiciones físicas del suelo (fertilidad física), lo que ha llevado a que los aspectos químicos de la fertilidad hayan sido mucho más ampliamente estudiados. No obstante, la respuesta de las plantas responde al conjunto de aspectos físicos y químicos del medio edáfico y del medio exterior (Porta Casanelas et al., 2003). La fertilidad física incluye una serie de parámetros y procesos edáficos que determinan las condiciones para que un nutriente dado sea absorbido por las raíces de las plantas (Taboada y Micucci 2004). Entre los parámetros que afectan directamente al crecimiento de las plantas están: agua disponible, suministro de oxígeno, temperatura y resistencia mecánica, los cuales se ven afectados por otros cuya acción es indirecta: densidad aparente, textura, estructura y estabilidad de los agregados, porosidad, distribución y tamaño de poros (Porta Casanelas et al., 2003). Dentro de estos factores se considera que una buena condición estructural es básica para el logro de una buena fertilidad física (Taboada y Micucci 2004).

2.4.1. Densidad aparente del suelo

La Dap de un suelo constituye un parámetro que relaciona la masa del suelo con el volumen que ocupa el mismo. La densidad aparente permite evaluar si el manejo que se da al suelo produce compactación, dificultando el crecimiento de los cultivos. Depende de la densidad real o de partículas y de la ordenación de éstas en el espacio formando agregados. Varía con la textura, estado de agregación, MO y manejo del suelo (Lamas y Moreno, 2000). El incremento del grado de compactación del suelo produce un aumento en la Dap, reduciendo la porosidad total del suelo. Esta reducción implica una menor disponibilidad tanto de aire como de agua para las raíces de las plantas (Arranz et al., 2004).

Por ejemplo, una práctica de manejo como la SD puede afectar la cantidad y tamaño de poros y las propiedades de transmisión del agua, como la infiltración y la conductividad hidráulica. En general se ha medido una disminución de la porosidad total en la capa superficial de suelo asociada con pérdidas de poros de mayor tamaño (macroporos). Esto ha sido atribuido a la no remoción del suelo, al tráfico repetido de maquinarias y la textura del suelo (Buschiazzo et al., 1998; Sasal et al., 2006). Respecto al efecto de la textura, los suelos limosos serían los más afectados debido a la ausencia de procesos de autoregeneración de la estructura por ciclos de humedecimiento y secado, característicos de suelos más arcillosos ricos en montmorillonita (Taboada et al., 1998). Sin embargo, se ha encontrado en experimentos de largo plazo que los procesos de pérdida de porosidad podrían revertirse debido al efecto de una mayor acumulación de MO y a la actividad de la macrofauna bajo SD (Álvarez et al., 1995).

2.4.2. Estabilidad de agregados

La estructura consiste en el ordenamiento de las partículas del suelo en forma de agregados, dejando vacíos o poros en los espacios intra e inter agregados, todo ello como resultado de interacciones físico-químicas entre las arcillas y los grupos funcionales de la MO. Esta es una de las propiedades menos permanente del suelo y se altera fácilmente, ya sea por

labores inadecuadas o cualquier disturbio externo (Porta Casanelas et al., 2003; Taboada y Micucci 2004). Los suelos bien estructurados ofrecen óptimas condiciones para la penetración, crecimiento y anclaje de las raíces, permiten un buen drenaje y presentan una mayor capacidad para retener el agua de lluvia.

En la jerarquía de agregación del suelo los encargados de la estabilización de los agregados son distintos agentes orgánicos. Por un lado, los macroagregados (tamaño > 250 micras) se estabilizan por compuestos orgánicos más jóvenes, menos degradados (raicillas, hifas de hongos y polisacáridos) que implican uniones internas débiles y alta sensibilidad a las prácticas de manejo del suelo. Por el otro, los microagregados (tamaño < 250 micras) se estabilizan por compuestos aromáticos más estables, humificados, que generan uniones internas muy resistentes a las prácticas de manejo (Tisdall y Oades 1982; Oades y Waters 1991).

Las rotaciones de cultivos y los sistemas de labranzas inciden sobre la estabilidad estructural principalmente a través del efecto que tienen sobre la MO. En SD la no remoción del suelo produce una más lenta descomposición de las fracciones orgánicas encargadas de la estabilización de los macroagregados, con lo cual estos incrementarían su estabilidad y actuarían como lugar de formación de microagregados y reservorio de CO₂, favoreciendo al incremento de MO del suelo (Six et al., 1999). A nivel regional, esta mayor estabilidad en los agregados bajo SD ha sido también reportada para varios tipos de suelos en la región de la Pampa húmeda y subhúmeda (Buschiazzo et al., 1998; Micucci y Taboada 2006).

Es ampliamente conocido que en sistemas irrigados el ingreso de sodio al complejo de intercambio del suelo produce dispersión de las arcillas, afectando negativamente la agregación y las propiedades de transmisión del agua (Frenkel et al., 1978; Crescimanno et al., 1995). La EA del suelo puede ser negativamente afectada aún utilizando aguas de riego con valores bajos de RAS, particularmente cuando la concentración salina de la solución del suelo es baja (Crescimanno et al., 1995) o en sistemas que alternaron riego suplementario y lluvias (Pilatti et al., 2006). Sin embargo, muchos estudios han demostrado que la irrigación causa un incremento de la producción de

residuos de cosecha (Lal et al., 1998), que generalmente tiene un efecto positivo sobre la estabilización de la estructura del suelo (Blanco-Canqui et al., 2010).

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Evaluar la evolución temporal de algunas propiedades químicas y físicas del suelo vinculadas a la aplicación de riego suplementario en comparación con un suelo en seco, bajo siembra directa.

3.2. Objetivos específicos

Cuantificar cambios del COS (total y particulado) a causa de la aplicación de riego suplementario por un período de 17 años a un suelo cultivado bajo siembra directa.

Evaluar la evolución temporal de algunas propiedades físicas (densidad aparente y estabilidad de agregados) de un suelo bajo riego suplementario en comparación con un suelo en seco, ambos bajo siembra directa.

Evaluar la cobertura de rastrojos bajo riego suplementario y compararla con la cobertura en condiciones de seco.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Características del sitio experimental

Las mediciones se realizaron sobre un experimento de larga duración con riego suplementario y SD, iniciado en el año 1996 en la EEA INTA Manfredi (Lat. 31,5° S, Long. 63,4° O, Alt. 294 m).

El suelo del experimento es un Haplustol entico (serie Oncativo) profundo, bien drenado, de textura franco limosa, reacción ligeramente ácida, contenido de MO de 2% en el horizonte superficial y capacidad de almacenamiento de agua útil de 150 mm por metro de profundidad. La serie Oncativo, junto con otras taxonómicamente similares, ocupa una superficie superior al millón de hectáreas, predominantes en un relieve suavemente ondulado con pendientes no superiores al 0,3%.

El clima es templado y semiárido (INTA, 1987). La temperatura media del mes más cálido (enero) es de 23,5° C y la del mes más frío (julio) 9,6° C (período 1964-2005). La precipitación media anual es de 757 mm (período 1931-2010) y presenta un régimen monzónico, con el 80% de las lluvias concentradas en el semestre octubre-marzo (Lovera, 2011, com. Pers²). Sin embargo, existe más del 50% de probabilidad de déficit hídrico en todos los meses del año (Lovera et al., 1993).

4.2. Características del experimento

El experimento se inició en el año 1996 y se condujo desde esa época en SD con dos secuencias bianuales de cultivos: 1) trigo/maíz de segunda época– soja y 2) trigo/soja de segunda época– maíz, hasta el año 2012. A partir de ese año se modificó la secuencia de cultivos en la mitad del experimento, incorporando una rotación bianual de doble cultivo (arveja/maíz de 2°- cebada/soja de 2°). El riego se realiza con un equipo de aspersión, tipo pivote central, que abarca una superficie circular de aproximadamente 28 ha. Esto es el tratamiento irrigado (Ri). El lote es de 40 ha, por lo que

² Lovera E. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Ministerio de Agricultura de la Nación.

queda una superficie de 12 ha no irrigada que recibe un manejo similar al área bajo riego y que se considera el tratamiento secano (Sec). El lote fue dividido en cuatro parcelas o sectores de aproximadamente 10 ha cada uno. Cada secuencia de cultivos fue asignada a dos sectores, tanto en riego como en secano (Figura 1).

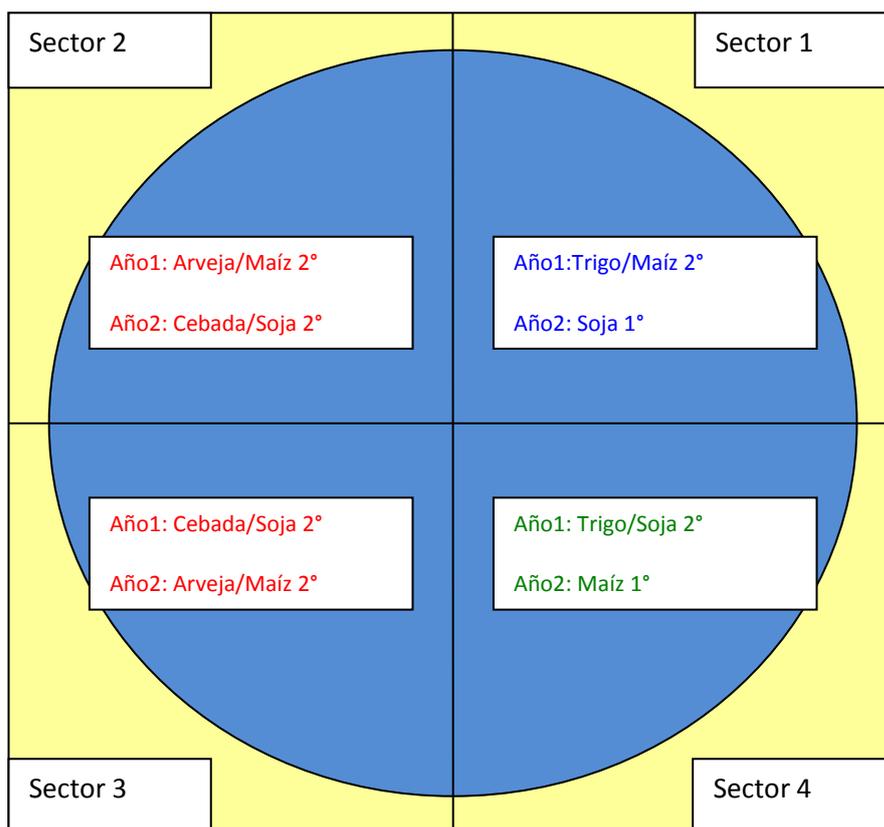


Figura 1. Mapa del experimento con riego suplementario y siembra directa (vista en planta). Área en color celeste= Tratamiento irrigado (Ri). Área en color amarillo= Tratamiento secano (Sec).

Anualmente se fertilizan todos los cultivos: soja con fertilizantes fosforados y trigo, cebada y maíz con fertilizantes fosforados y nitrogenados. Como fertilizante fosforado se utiliza fosfato mono o di-amónico aplicado a la siembra, mientras que el nitrógeno se aplica como UAN inyectado con fertirriego y fraccionado en dos aplicaciones. Los momentos y láminas de riego para cada cultivo se deciden en función de un balance hídrico que tiene en cuenta la reserva de agua útil acumulada en el perfil de suelo explorado por las raíces, el umbral de riego para cada cultivo, la salida de agua del suelo por evapotranspiración del cultivo y los ingresos de agua al

suelo por precipitación efectiva. Detalles del manejo por cultivo se presentan en la Tabla 1. La cosecha de los cultivos se realiza en forma mecánica con cosechadora autopropulsada equipada con monitor de rendimiento.

Tabla 1. Datos promedio de manejo de los cultivos del experimento.

Cultivos		Secuencia 1 (sector 1)			Secuencia 2 (sector 4)		
		Trigo	Maíz de 2ª	Soja	Trigo	Soja de 2ª	Maíz
Fecha de siembra		20/6	15/12	25/10	20/06	15/12	30/09
Fecha de cosecha		01/12	01/05	25/03	01/12	01/05	10/03
Fertilización:							
Dosis N (kg/ha/año)	Ri	100	130	12	120	12	130
	Sec	60	80	12	70	12	80
Dosis P (kg/ha/año)	Ri	17	16	14	17	14	18
	Sec	17	16	14	17	14	18
Riego (mm/año)		207	119	127	207	98	152

Cuando se instaló el experimento en el año 1996, se realizó un muestreo de suelo en la totalidad del lote siguiendo una cuadrícula de 60 metros de lado, con la que se obtuvieron 106 sitios de muestreo que fueron geoposicionados. De cada sitio se tomó una muestra compuesta de cuatro submuestras a las profundidades de 0 a 20 cm y 20 a 40 cm, y se obtuvieron los valores de CO (por el método de Walkley y Black -Nelson y Sommers 1982-). Las geoposiciones se utilizaron para volver a muestrear en los mismos sitios a medida que evolucionó el experimento en el tiempo. Además, fueron tenidas en cuenta para realizar el análisis estadístico.

En el año 2007 se seleccionaron 48 sitios de muestreo a partir de la cuadrícula inicial y se determinó el estado de la fertilidad del suelo luego de

once años de riego. Para el presente estudio realizado en el año 2013, se seleccionaron los mismos sitios de muestreo que en el año 2007 y se tomaron muestras compuestas de suelo a las profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 y 40-80 cm.

Se tomaron muestras de suelo sin disturbar en cada sitio para determinar densidad aparente y estabilidad de agregados del suelo, y muestras de rastrojo en cada sitio. Se debe mencionar que para estas variables solo se muestrearon 14 puntos en Ri y 10 puntos en Sec, correspondientes a los sectores 3 y 4 del experimento.

Si bien en el lote experimental se llevan adelante tres rotaciones de cultivos, durante la presente investigación no se analizó el efecto de las secuencias, sino sólo el efecto de los tratamientos Ri y Sec. Esto es debido a que las dos secuencias más antiguas (en sectores 1 y 4) se componen de las mismas especies, diferenciándose únicamente por el orden de cultivo (Figura 1). Además, la aplicación de agua de riego (226 mm y 228 mm anuales para las secuencias 1 y 2 respectivamente) y los rendimientos promedio en Ri (8,9 vs 9,7 tn/ha/año), medidos en ambas secuencias, fueron similares. Respecto a la rotación en los sectores 2 y 3, al momento del muestreo, la misma recién se iniciaba.

4.3. Determinaciones

Sobre las muestras de suelo disturbado se determinó:

- Concentración de CO, por el método de Walkley y Black (Nelson y Sommers 1982).
- Stock de CO por unidad de superficie, corregido por masa equivalente de suelo siguiendo la metodología propuesta por Ellert y Bettany (1995) en la profundidad de 0-20 cm. A partir de la cuadrícula inicial se seleccionaron 14 puntos en el tratamiento Ri y 10 puntos en tratamiento Sec en los que se determinó Dap por el método del cilindro (Burke et al., 1986), utilizando cilindros de 100 cm³ de volumen, en las profundidades de 0 a 5, 5 a 10 y 10 a 20 cm. Con los valores de Dap media en Ri y Sec se calculó la masa de suelo y luego se corrigió para llevar los perfiles de suelo en Ri y Sec a masa equivalente hasta la profundidad analizada (Ellert y Bettany, 1995).

Finalmente con la masa de suelo corregida y la concentración de CO medida en cada punto se determinó el stock de CO por unidad de superficie.

- Fracciones granulométricas de CO por el método de Cambardella y Elliott (1992). Muestras de suelo secas y tamizadas por 2 mm se fraccionaron por duplicado con la técnica de FTP, metodología adaptada de Feller (1979). En un recipiente plástico de 250 ml se colocaron 30 g de suelo y se agregaron 90 ml de agua destilada y 6 esferas de vidrio de 1 cm de diámetro. Se dispersó durante 2h en un agitador rotativo a 50 rpm. Las muestras dispersadas fueron tamizadas en húmedo por un tamiz de 200 micras de apertura de malla y luego por uno de 53 micras. El material retenido en cada tamiz se transfirió a recipientes que se colocaron en estufa de circulación de aire a 65°C hasta peso constante. Una vez secas las muestras, cada fracción se pesó por separado para determinar su contribución relativa a la masa total de la muestra (%F). De esta manera se obtuvieron tres fracciones: (i) fracción 200 a 2000 micras ($F > 200$), con residuos vegetales libres, no asociados a partículas minerales, con distinto grado de fragmentación, y presencia de arenas medias y gruesas, (ii) fracción 53 a 200 micras (F_{53-200}), compuesta por material orgánico asociado a partículas minerales (arenas finas y muy finas) y también fragmentos vegetales libres en distintos estados de descomposición, y (iii) fracción menor a 53 micras ($F < 53$), fracción organo-mineral con residuos orgánicos humificados asociados a limos y arcillas. Sobre las muestras de cada fracción se determinó carbono orgánico (%COF) por el método de Walkley y Black (Nelson y Sommers 1982). Luego, con los valores de %F y %COF se determinó el aporte de cada fracción al %COS, según la fórmula: $\%COS = (\%F * \%COF) / 100$.

Sobre las muestras de suelo no disturbado se determinó

- Densidad aparente (Dap): se determinó por el método del cilindro (Burke et al., 1986). Se utilizaron cilindros de 100 cm³ de volumen en las profundidades de 0 a 5 cm, 5 a 10 cm y 10 a 20 cm (Figura 1 – Anexo). En cada punto de la cuadrícula muestreado se realizaron mediciones de densidad por duplicado.

- Estabilidad de agregados (EA): se determinó por el método de tamizado en húmedo, en las profundidades de 0 a 5 cm, 5 a 10 cm y 10 a 20 cm. En cada punto seleccionado se tomó una muestra compuesta de dos submuestras sin disturbar (Figura 2 – Anexo). Posteriormente, las muestras se desagregaron y secaron siete días a temperatura ambiente. Las muestras secas fueron tamizadas a través de un set de tamices de 1 y 2 mm en forma automática durante 30 segundos. De esta forma se obtuvieron macroagregados entre 1 y 2 mm de diámetro, sobre los cuales se determinó estabilidad por tamizado en húmedo (con humedecimiento rápido de los macroagregados) siguiendo la metodología descrita por Kemper y Rosenau (1986), utilizando un equipo marca Eijkelkamp (Figura 2). Esto es, utilizando un sólo tamiz de 250 micrones en el que se coloca una cantidad conocida de muestra y se somete a un movimiento ascendente y descendente en agua durante 3 minutos. La fracción estable es aquella que permanece agregada respecto del total de la muestra.

- Cantidad de rastros en superficie. Para ello, se recolectaron todos los residuos vegetales encontrados sobre la superficie del suelo en muestras de 0,25 m² (Figura 3 – Anexo). Luego de ser secados al aire, se tamizaron con tamiz de 2 mm para separar los restos de suelo que pudieran estar incluidos en las muestras (Figura 4 – Anexo). Las muestras se secaron en estufa a 65°C y luego se determinó la masa de materia seca (kg/ha).



Figura 2. Imagen del equipo utilizado para medir estabilidad de agregados por el método de Kemper y Rosenau (1986).

4.4. Análisis estadísticos

Para el análisis de los valores actuales (año 2013) de las variables CO (%), CO particulado, Dap y EA se realizó un Análisis de Varianza utilizando el módulo de modelos mixtos del programa Infostat. Se incluyó un factor de tratamiento, con dos niveles: Riego y Secano. El hecho de que no se puedan aleatorizar los niveles del factor de tratamiento genera una dependencia espacial que debe ser contemplada. Para modelar la correlación espacial entre las observaciones se utilizó un modelo exponencial (este modelo fue el de menor AIC y BIC entre varios modelos corridos). En la estructura de varianzas y co-varianzas se consideró varianzas homogéneas entre los niveles del efecto de riego, i.e., se contempló que la varianza entre las observaciones bajo riego fueron iguales, pero diferente a las varianzas de las observaciones bajo seco. Se realizó un análisis para cada profundidad. Las comparaciones entre los distintos niveles del factor de tratamiento se realizaron con un test a posteriori LSD Fisher con un nivel de significación de 0,05.

Para el análisis de la evolución temporal de las variables CO (%) y stock de CO (t/ha) se realizó un análisis de varianza similar al descrito anteriormente. En este caso, además del factor de tratamiento “riego vs. seco”, se incluyó el factor “año de medición”, con tres niveles: 1996, 2007 y 2013. Se realizó un análisis para cada profundidad y las comparaciones entre los distintos niveles de los tratamientos se realizaron con un test a posteriori LSD Fisher con un nivel de significación de 0,05. El análisis de la evolución de CO (%) se realizó en las profundidades de 0-20 y 20-40 cm debido a que esas fueron las que se utilizaron desde el inicio del experimento en el año 1996.

Todos los análisis se realizaron con el módulo de modelos mixtos (interfaz con el programa R) del programa estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2009).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Evolución del carbono orgánico total y sus fracciones

Los resultados de concentración de COS medidos luego de 17 años de aplicar riego (año 2013) se presentan en la Figura 3. Se observó una estratificación del carbono en profundidad, tanto en Ri como en Sec. Los valores medidos, en promedio de los tratamientos, fueron 2,36, 1,37, 1,13, 0,75 y 0,39% para las profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 y 40-80 cm respectivamente. Al comparar entre los tratamientos de Ri y Sec, solo se observaron diferencias significativas en el estrato superficial (0-5 cm), con valores de 2,59% de CO en el tratamiento Ri y 2,12% en Sec.

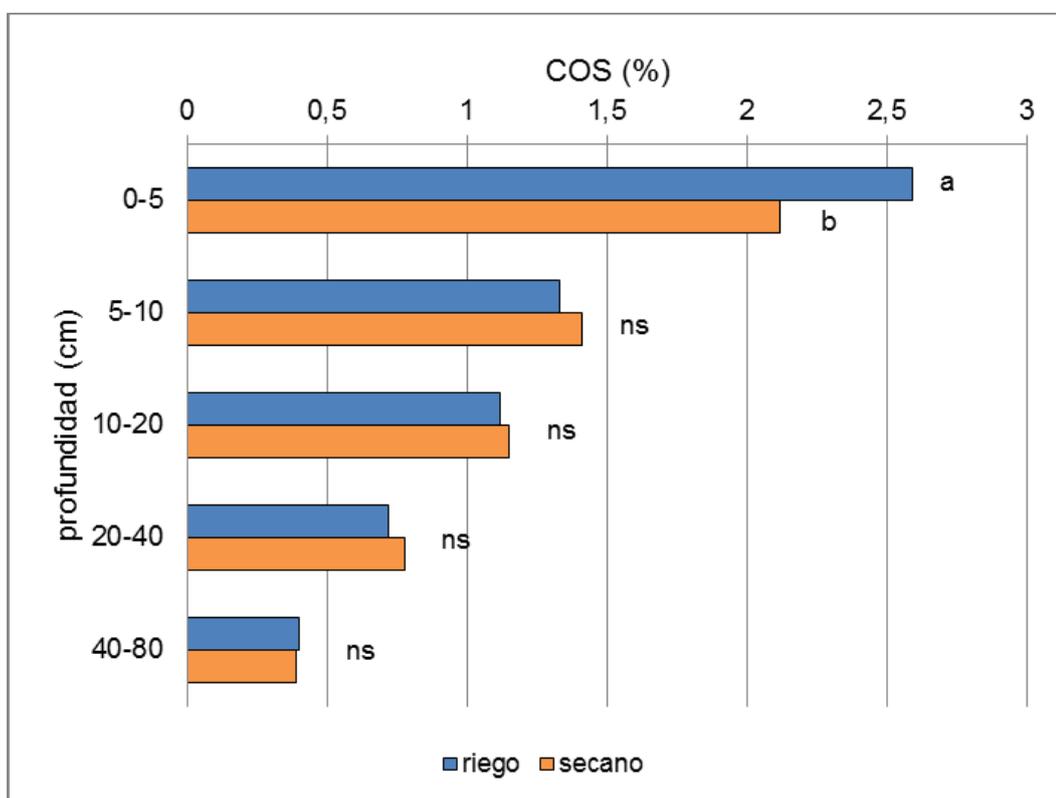


Figura 3. Concentración de carbono orgánico del suelo a diferentes profundidades para los tratamientos riego y seco, luego de 17 años de iniciado el experimento. CO= carbono orgánico del suelo; ns= diferencias no significativas (valor $p < 0,05$) entre los tratamientos Ri y Sec dentro de la misma profundidad. Letras distintas indican diferencias significativas (valor $p < 0,05$) dentro de la misma profundidad.

Con respecto a la evolución de los valores de COS a través de los distintos años de medición, en la capa de 0 a 20 cm se observó que al inicio del ensayo (1996) los valores no diferían entre Ri y Sec. Luego, en el año

2007, se produce un incremento significativo del COS en ambos tratamientos, del orden del 15% y 9% respecto al dato inicial, para Ri y Sec respectivamente (Figura 4). Esto estaría indicando que si bien no hubo diferencias significativas entre Ri y Sec en el año 2007, aunque si hubo una tendencia de mayor aumento del COS en el tratamiento Ri. En el año 2013 no hubo diferencias significativas respecto a la medición anterior (2007) en ninguno de los tratamientos y se mantuvieron las diferencias entre Ri y Sec.

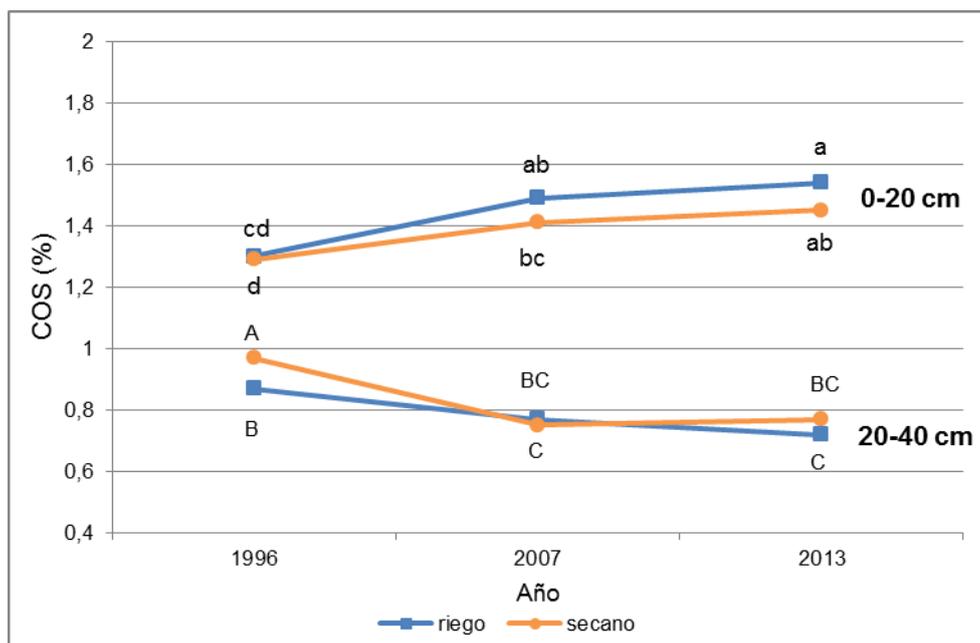


Figura 4. Evolución temporal de la concentración de carbono orgánico del suelo para las situaciones riego y secano, en los estratos de 0-20 y 20-40 cm. COS= carbono orgánico del suelo; Letras distintas indican diferencias significativas (valor $p < 0,05$) dentro de la misma profundidad.

Considerando al estrato de 20 a 40 cm de profundidad, en 1996 el valor inicial de CO era mayor en Sec que en el tratamiento Ri. Luego, el CO disminuyó en ambos tratamientos y en 2007 no se produjeron diferencias significativas entre Ri y Sec, indicando una disminución del CO del suelo significativamente menor (valor $p < 0,05$) en Ri que en el tratamiento Sec. En el año 2013, al igual que en el estrato superior, no se encontraron diferencias respecto a la medición del 2007 ni entre los tratamientos de riego y secano.

Al analizar los datos desde el punto de vista de la cantidad (stock) de CO del suelo, los resultados mostraron un comportamiento similar a los de %

de CO medidos en la capa de 0-20 cm. No hubo diferencias (al 5%) entre los tratamientos Ri y Sec en ninguno de los años medidos (Tabla 2).

Tabla 2. Evolución del stock de carbono del suelo en el estrato de 0-20 cm, para las situaciones riego y seco.

Tratamiento	Stock CO (tn/ha)	
	Año 2007	Año 2013
Riego	37,7 (ab)	38,5 (a)
Secano	35,4 (b)	36,9 (ab)

CO= carbono orgánico del suelo. Letras distintas indican diferencias significativas (valor $p < 0,05$).

En la Figura 5 se presentan los resultados de concentración de CO y sus diferentes fracciones granulométricas, obtenidos en ambos tratamientos (riego y seco), luego de 17 años de ensayo. Si bien no se realizó un análisis estadístico para comparar los resultados entre profundidades, puede observarse que los mayores valores de CO obtenidos en la profundidad de 0-5 cm se debieron a mayores valores de las fracciones 53-200 micras y >200 micras. Asimismo, puede verse que no existieron diferencias marcadas, entre profundidades y tratamientos, en la fracción <53 micras. Respecto a la comparación entre riego y seco, en la capa de 0-5 cm se obtuvieron valores significativamente superiores (valor $p < 0,05$) en el tratamiento Ri en las fracciones 53-200 micras y >200 micras. En cambio, no hubo diferencias en la fracción <53 micras. En el resto de las profundidades analizadas no hubo diferencias entre los tratamientos para ninguna de las fracciones.

La distribución estratificada del CO es característica de los sistemas bajo SD continua (Unger 1991). En el presente experimento este proceso se observa tanto en el tratamiento Ri como en el tratamiento Sec en las mediciones realizadas en el año 2007 (Giubergia et al., 2013) y en los resultados presentados en este trabajo final de grado. Esta distribución de CO en SD se atribuye principalmente a cambios de las fracciones lábiles de la MO (Kay y Vanden Bygaart 2002; Álvarez et al., 2009), tal como ha sido observado en este experimento (Figura 5). Así la estratificación del CO bajo

SD, se debe al mantenimiento de los rastrojos en superficie y la no remoción del suelo, que llevan a un incremento de la MO en los primeros cm de suelo (Unger, 1991; Buschiazzo et al., 1998).

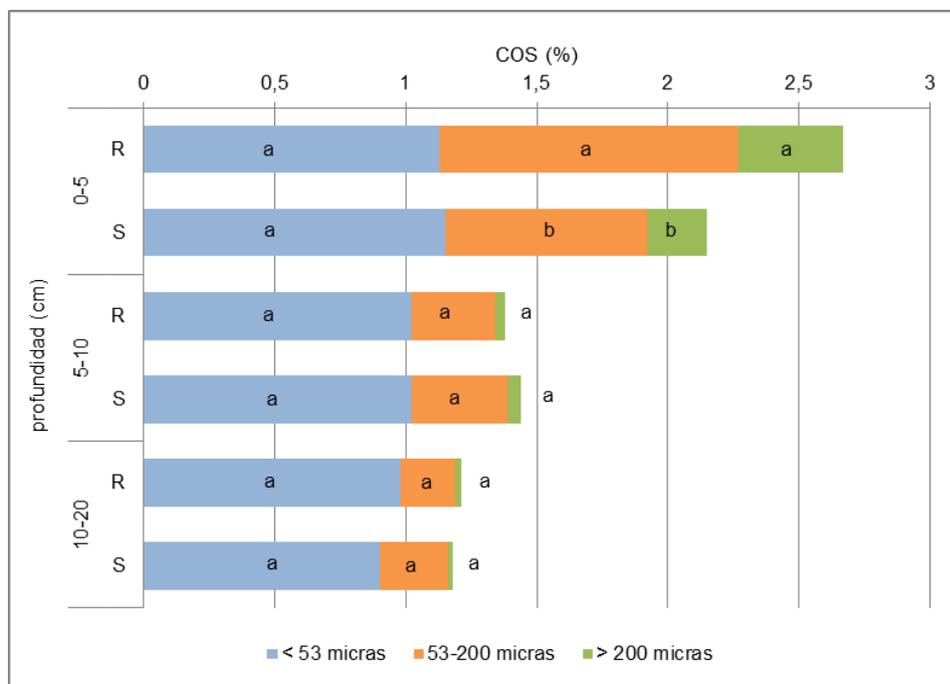


Figura 5. Valores de carbono orgánico de las diferentes fracciones granulométricas, expresados como porcentaje de la masa de suelo, a diferentes profundidades para los tratamientos riego y secano. COS= carbono orgánico del suelo. Letras distintas indican diferencias significativas (valor $p < 0,05$) dentro de cada fracción de CO a la misma profundidad.

Las diferencias en los valores de COS entre Ri y Sec fueron de escasa magnitud y solamente significativas en el estrato superficial de suelo (0-5 cm), explicando la ausencia de significancia entre Ri y Sec al analizar la capa de 0-20 cm tanto para % como para stock de CO, en las mediciones realizadas en 2007 y 2013 (Figura 4 y Tabla 2). En general los antecedentes muestran que las diferencias de CO a favor del Ri son de escasa magnitud y en muchos casos no son significativas. Esto se debería a que bajo Ri si bien se incrementa el aporte de C por residuos (por mayores rendimientos de los cultivos), por otro lado se aceleran las tasas de descomposición de los residuos y la mineralización del CO (Giubergia et al., 2013). Trost et al. (2013) realizaron una revisión de 22 investigaciones sobre el efecto del riego sobre el COS, en distintas regiones del mundo. Los autores concluyen en

que el efecto del riego es fuertemente dependiente del clima y el contenido inicial de COS. Los suelos de regiones áridas mostraron en promedio incrementos del 90 a 500% en el COS, en regiones semiáridas entre el 11 y 35%, mientras que no hubo efectos significativos en regiones húmedas.

Como se mencionó anteriormente, son escasos los antecedentes de estudios del efecto del riego sobre distintas fracciones de la MO. Sin embargo, cuando se ha medido el efecto de diferentes prácticas sobre esta variable, se ha observado que las fracciones más estables de la MO, asociadas a arcillas y limos (<53 micras), sufren pocos cambios (Álvarez y Steinbach, 2006 a). Mientras que las fracciones lábiles (>53 micras) son sensibles a los efectos de diferentes usos de la tierra y pueden ser utilizadas como indicadores tempranos de la calidad de suelo (Six et al., 2002). En el presente experimento, el efecto de la práctica de Ri bajo SD parece tener un efecto similar a lo reportado para otras prácticas de manejo del suelo (SD, rotaciones con gramíneas), con incrementos de las fracciones de CO de mayor tamaño (53-200 micras y >200 micras) y principalmente a nivel superficial. En concordancia con los resultados obtenidos en este trabajo final de grado, Gillabel et al. (2007) midieron mayor stock de CO del suelo en Ri, asociado principalmente a un cambio en el carbono en la fracción entre 53 y 250 micras.

5.2. Evolución de densidad aparente y estabilidad de agregados

Respecto a la Dap del suelo, en ambos años de medición los valores fueron notablemente inferiores en la profundidad de 0-5 cm respecto a 5-10 y 10-20 cm, tanto en Ri como en Sec. Además, se observa una tendencia al incremento de los valores de Dap en el tiempo, aunque estadísticamente significativa solo para la situación de Sec (Tabla 3). Otro punto a tener en cuenta es que en general (en ambos años y para las diferentes profundidades) los valores de Dap bajo Ri son más altos que en Sec, en algunos casos con diferencias significativas.

Tabla 3. Evolución de la densidad aparente del suelo a diferentes profundidades, para las situaciones riego y seco.

Profundidad (cm)	Tratamiento	Dap (g/cm ³)	
		2007	2013
0-5	Riego	1,09 (bc)	1,12 (b)
	Secano	1,03 (c)	1,23 (a)
5-10	Riego	1,42 (ab)	1,44 (a)
	Secano	1,35 (b)	1,40 (ab)
10-20	Riego	1,41 (a)	1,43 (a)
	Secano	1,35 (b)	1,41 (a)

Dap = Densidad aparente. Letras distintas indican diferencias significativas (valor $p < 0,05$) dentro de la misma profundidad.

Las diferencias en los valores de Dap entre el estrato superficial y los subsuperficiales ha sido reportada por varios autores para sistemas manejados en SD en condiciones de seco (Buschiazzo et al., 1998; Peirone et al., 2008). En el presente experimento este fenómeno ya fue observado en el año 2007 y se mantiene en las mediciones realizadas en 2013, en ambos tratamientos. En la capa de 0-5 cm influye marcadamente el CO y la actividad de la macrofauna del suelo que permitirían mantener valores bajos de Dap (Alvarez et al., 2009). Por su parte, los mayores valores a nivel subsuperficial se deberían a un efecto de compactación generado por el manejo en SD (Sasal et al., 2006). Esto también explicaría el incremento temporal de los valores de Dap. Sin embargo, estarían dentro del rango considerado como normal para suelos de textura franco-limosa (i.e. entre 1,3 y 1,4 g/cm³), por lo que no estarían afectando negativamente al crecimiento radical de los cultivos. Para la textura estudiada se mencionan valores de Dap de 1,55 a 1,60 g/cm³, a partir de los cuales puede ser afectado el crecimiento radical (Arshad et al., 1996 citado por USDA 1999).

Los mayores valores de Dap obtenidos en el tratamiento Ri se podrían explicar por una condición frecuente de mayor contenido de humedad del suelo bajo Ri. En el tratamiento Ri la aplicación de agua se decide en función de un balance hídrico que permite mantener altos niveles de humedad en el suelo. En esta condición el suelo tiene menor capacidad soporte al paso de

la maquinaria agrícola, lo que resulta en una progresiva pérdida de porosidad total (Taboada et al., 2008). En un lote bajo riego con características similares a las de la presente investigación, en la Pampa Ondulada, Torres Duggan et al. (2010) midieron una elevada resistencia mecánica del suelo (> 2 MPa), debido a un alto tránsito vehicular en un lote bajo SD para producción de semillas, con cosecha sobre suelo húmedo.

Para la variable EA, en los dos años medidos, los valores en la capa de 0-5 cm fueron superiores a los obtenidos en los estratos subsuperficiales (5-10 y 10-20 cm) en ambos tratamientos. En la capa superficial se observaron diferencias significativas (valor $p < 0,05$) a favor del tratamiento Ri, mientras que no se obtuvieron diferencias entre los tratamientos para los dos horizontes más profundos, en el año 2007. Para el año 2013, en cambio, las diferencias a favor del tratamiento Ri se produjeron en las capas de 0-5 y 5-10 cm (Tabla 4).

Tabla 4. Valores de estabilidad de agregados del suelo a diferentes profundidades, para las situaciones riego y seco.

Profundidad (cm)	Tratamiento	Estabilidad de Agregados			
		(%)		índice relativo	
		2007	2013	2007	2013
0-5	Riego	67 (a)	82 (a)	139	149
	Secano	48 (b)	55 (b)	100	100
5-10	Riego	36 (a)	66 (a)	106	135
	Secano	34 (a)	49 (b)	100	100
10-20	Riego	25 (a)	57 (a)	89	119
	Secano	28 (a)	48 (a)	100	100

Letras distintas indican diferencias significativas (valor $p < 0,05$) dentro de la misma profundidad y año de medición.

Los valores más altos de EA (%) obtenidos en el año 2013 respecto al 2007, no necesariamente significaron un incremento de la variable, debido a que los valores de estabilidad son muy dependientes de distintas condiciones o factores al momento del muestreo (por ej. cultivo antecesor, cantidad de residuos, humedad del suelo). Por esta razón se calculó un

índice relativo al valor en Sec, para cada año y profundidad, de manera de poder hacer comparaciones entre años. De esta forma puede observarse que efectivamente las diferencias en EA a favor del tratamiento Ri se incrementaron en el año 2013, en las tres profundidades analizadas.

Se presentan a continuación las ecuaciones de las regresiones lineales entre EA y COS y sus fracciones para el año 2013, que resultaron estadísticamente significativas. La Ecuación 1 describe la relación para los tratamientos Ri y Sec en las tres profundidades analizadas. Las ecuaciones 2 y 3, las relaciones con COS y CO de las fracciones >200 micras y 53-200 micras respectivamente, en la profundidad de 0-5 cm.

(Ec. 1) $EA = 36,5 + 14,7 \text{ COS}$; n=69, valor p < 0,0001, $R^2 = 0,37$; donde EA: estabilidad de agregados (%), COS: carbono orgánico (%).

(Ec. 2) $EA = -13,9 + 34,7 \text{ COS}$; n=23, valor p = 0,0002, $R^2 = 0,50$; donde EA: estabilidad de agregados (%), COS: carbono orgánico (%).

(Ec. 3) $EA = 34,2 + 17,5 \text{ CO}(53-200) + 60,2 \text{ CO}(>200)$; n=23, valor p = 0,0022, $R^2 = 0,46$; donde EA: estabilidad de agregados (%), CO(53-200): carbono orgánico en la fracción de 53 a 200 micras (%), CO(>200): carbono orgánico en la fracción mayor a 200 micras (%).

La estratificación en profundidad de los valores de EA medidos en el año 2007 estuvieron explicados por regresiones lineales significativas con la variable CO para el tratamiento Sec ($R^2 = 0,49$) y con CO y salinidad del suelo (medido a través de la CE) para el tratamiento Ri ($R^2 = 0,81$) (Giubergia et al., 2013). En el año 2013, el COS explicó el 37% de la variabilidad en los valores de EA para ambos tratamientos y las 3 profundidades analizadas (Ecuación 1). Los resultados obtenidos coinciden con los observados en general en la bibliografía (Buschiazzo et al., 1998; Micucci y Taboada 2006), que postulan que los agregados son más estables a mayor nivel de CO. Una relación similar entre EA y MOS se encontró en un ensayo de labranzas y

secuencias de cultivos, en INTA Manfredi, sobre la misma serie de suelo (Giubergia et al., 2010).

Respecto a las diferencias en los valores de EA entre los tratamientos Ri y Sec para la capa superficial (0-5 cm), se da una situación particular, debido a que se midieron mayores valores de EA bajo riego, a pesar de tener este tratamiento valores de PSI muy superiores al secano (ver datos de PSI en Giubergia et al., 2013). En ambos años medidos, nuevamente el COS explica significativamente una alta proporción de la variabilidad. En el año 2007, los mayores valores de EA medidos bajo riego se relacionaron positivamente con mayores valores de COS y CE ($R^2= 0,61$), contrarrestando al posible efecto negativo del sodio (Giubergia et al., 2013). Mientras en el año 2013, los mayores valores de EA en Ri estuvieron relacionados con los mayores valores de COS medidos en el tratamiento irrigado, y dentro de este con las fracciones mayores a 53 micras (Ecuaciones 2 y 3). Otros factores que favorecerían a la estabilización de la estructura del suelo bajo riego serían los más altos aportes de residuos de cosecha que se mantienen en superficie debido a la SD, y a una mayor actividad biológica bajo el tratamiento Ri acorde con un mayor margen de sustrato carbonado (Giubergia et al., 2013).

A nivel regional, en lotes regados por pivót central, se obtuvieron similares o mayores valores de EA bajo riego que en secano, asociados a mayores rendimientos de cultivos y aportes de MO y al manejo en SD (Mon et al., 2007; Costa y Aparicio 2008; Torres Duggan et al., 2010). Blanco-Canqui et al. (2010) determinaron también un incremento de la EA al aumentar la cantidad de riego aplicado, en dos experimentos bajo SD en Kansas (Estados Unidos). Este incremento estuvo asociado a mayores aportes de residuos, un incremento de los mecanismos de "*binding*" y mayor actividad biológica del suelo. Estudios de Barzegar et al. (1997) mostraron, aún con altos niveles de sodio intercambiable, el efecto preponderante que tienen la MO y los mecanismos físicos de agregación (por ejemplo agentes orgánicos que enlazan partículas de suelo, fenómeno conocido como "*binding*") por sobre la agregación a través de enlaces iónicos, que requieren la presencia de cationes multivalentes para formar puentes.

5.3. Evaluación de la cobertura de rastrojos bajo riego y secano

En la Tabla 5 se presentan los resultados de los aportes de residuos de cosecha (rastrojo) estimados para un ciclo completo de rotación (campañas 2011/12 y 2012/13) y el rastrojo realmente medido a campo al final del ciclo, en agosto de 2013.

Observando los valores promedio, puede verse que el valor medido es muy inferior al total de aportes estimados para los tres cultivos que integran la rotación, tanto en riego como en secano (7586 y 6813 kg/ha vs 18131 y 11763 kg/ha, para Ri y Sec respectivamente). Pero por otro lado, es superior (prácticamente duplica) al valor de residuos aportados por el cultivo de soja de 2°, último cultivo realizado antes de la medición a campo (7586 y 6813 kg/ha vs 4386 y 4239 kg/ha, para Ri y Sec respectivamente). El primer resultado es un indicador de la ocurrencia de procesos de descomposición de los residuos más antiguos de la secuencia (esto es soja de 1°, maíz de 1° y trigo). Sin embargo, el segundo resultado antes mencionado indicaría que persisten sin descomponer una parte de esos residuos más antiguos en el material recolectado a campo (visualmente se observó en este material una alta proporción de soja, pero también residuos de maíz y trigo).

La cantidad total de rastrojo estimado en riego fue un 54% superior al secano. Los cultivos que más aportaron a esta diferencia fueron maíz de 1°, soja de 1° y trigo; no así soja de 2° ya que los rendimientos en esa campaña fueron similares en ambos tratamientos. Sin embargo, si se toma el rastrojo medido a campo al final de la secuencia, en promedio bajo Ri se recolectó solo un 11% más de residuos que en Sec. Esto se podría explicar principalmente porque una alta proporción de los residuos medidos eran de la soja de 2° recién cosechada (junio de 2013). Pero además, todas las diferencias que se pudieron generar a favor del riego en los cultivos de maíz y trigo se perdieron al momento de medir a campo, posiblemente por una mayor tasa de descomposición y mineralización de los residuos bajo el tratamiento Ri.

Tabla 5. Aportes de rastrojo estimado a partir del rendimiento de los cultivos en un ciclo de rotación y valores medidos a campo al final del mismo ciclo, bajo riego y secano.

Tratamiento		Rendimiento			Rastrojo estimado ^a				Rastrojo medido (kg/ha)
		(kg/ha)			(kg/ha)				
		2011/12 ^b	2012 ^c	2012/13 ^d	2011/12 ^b	2012 ^c	2012/13 ^d	Total	
Sector 3	Ri	4500	2620	3090	6390	4270	4386	15046	6478
	Sec	2650	1320	2985	3763	2152	4239	10154	5789
Sector 4	Ri	13000	3465	3090	11180	5650	4386	21216	8694
	Sec	7700	1540	2985	6622	2513	4239	13374	7838
Promedio	Ri	8750	3042	3090	8785 (169)	4960 (232)	4386 (103)	18131 (154)	7586 (111)
	Sec	5175	1430	2985	5192 (100)	2332 (100)	4239 (100)	11763 (100)	6813 (100)

^a Rduo trigo= Rto (H°) x 1,63; Rduo soja= Rto (H°) x 1,42; Rduo maíz= Rto (H°) x 0,86 (Álvarez y Steinbach 2006 b).

^b Campaña 2011/12 corresponde a cultivo de soja de 1° (Sector 3) y maíz de 1° (Sector 4).

^c Campaña 2012 corresponde a cultivo de trigo en ambos sectores.

^d Campaña 2012/13 corresponde a cultivo de soja de 2° en ambos sectores.

Entre paréntesis Índice Relativo al valor en secano, dentro de la misma columna.

Álvarez y Steinbach (2006 b), para la región de la Pampa Ondulada, estudiaron en residuos de trigo aportados al suelo que un 50% del carbono del mismo pasó a formar parte de la MO del suelo (proceso conocido como humificación) y un 50% se perdió hacia la atmósfera como CO₂ (proceso conocido como descomposición y mineralización). Ambos procesos van generando la desaparición de los residuos de la superficie de suelo, que puede ocurrir de manera más o menos rápida dependiendo principalmente de las características del residuo, temperatura, humedad ambiente, humedad del suelo, etc. El proceso de descomposición y mineralización de los residuos o materia orgánica “fresca” puede llevar desde unos pocos meses hasta 2 años (Conti, 2000).

Los antecedentes revisados muestran evidencias de que bajo riego aumenta la tasa de descomposición de los residuos y la mineralización del COS. Trost et al. (2014) midieron en un experimento de larga duración de 40 años de antigüedad en una región semiárida de Alemania, que la

combinación de riego y fertilización nitrogenada incrementó la descomposición microbiana de los rastrojos debido a una mayor humedad disponible en el suelo regado, combinado con altas temperaturas y por una modificación de la relación C/N de los residuos. Gillabel et al. (2007) en un experimento similar estimaron una más rápida mineralización del CO bajo riego debido también a un incremento de la actividad microbiana, debido a una mayor cantidad de humedad disponible en el suelo por mayor cantidad de tiempo, aspectos críticos en áreas con déficit hídrico. La humedad es el principal factor regulador de la mineralización en la región semiárida (Alvarez y Steinbach 2006 b). Incrementos en el flujo de CO₂ hacia la atmósfera han sido medidos bajo riego, tanto en condiciones de labranza convencional como en SD (Jabro et al., 2008). En el presente experimento, las escasas diferencias de rastrojo medidos entre Ri y Sec y la ausencia de diferencias significativas en los valores de COS, sería evidencia de una mayor velocidad de descomposición y mineralización a CO₂ de los residuos aportados bajo riego.

6. CONCLUSIONES

Respecto a la variable COS, se observó una estratificación del carbono en profundidad, tanto en riego como en seco. La distribución estratificada del CO es característica de los sistemas bajo siembra directa continua y se atribuye principalmente a cambios de las fracciones lábiles de la MO.

Las diferencias en los valores de COS entre riego y seco fueron de escasa magnitud y solamente significativas en el estrato superficial de suelo (0-5 cm), explicando la ausencia de significancia entre Ri y Sec al analizar la capa de 0-20 cm tanto para % como para stock de CO, en las mediciones realizadas en 2007 y 2013. Desde el punto de vista de la evolución del COS en el inicio del experimento se observó en la capa de 0-20 cm un incremento significativo en ambos tratamientos, del orden del 15% y 9%, para riego y seco respectivamente, en la medición del año 2007. Luego, los valores se mantuvieron en el año 2013 en ambos tratamientos.

Las diferencias en los valores de COS entre riego y seco de escasa magnitud se deberían a que bajo riego si bien se incrementa el aporte de C por residuos (por mayores rendimientos de los cultivos), por otro lado se aceleran las tasas de descomposición de los residuos y la mineralización del CO.

Los mayores valores de CO obtenidos en la profundidad de 0-5 cm se debieron a mayores valores de las fracciones 53-200 micras y >200 micras. Asimismo, no existieron diferencias marcadas, entre profundidades y tratamientos, en la fracción <53 micras. En este aspecto, el efecto de la práctica de riego bajo siembra directa parece ser similar a lo reportado para otras prácticas de manejo del suelo como siembra directa y rotaciones con gramíneas.

Respecto a la Dap del suelo, se obtuvieron en ambos tratamientos valores altos a nivel subsuperficial (5-10 y 10-20 cm), que se deberían a un efecto de compactación generado por el manejo en SD. Se obtuvo también una tendencia al incremento de los valores de Dap en el tiempo, levemente superior bajo el tratamiento Ri.

La EA fue superior en el tratamiento irrigado, en el estrato más superficial del suelo (0-5 cm). Este resultado se repitió en ambos años de medición y las diferencias a favor del riego se han incrementado en el tiempo. Mayores valores de CO asociado a fracciones más lábiles (53-200 y >200 micras), mayores aportes de residuos de cosecha que se mantienen en superficie debido a la SD y una mayor actividad biológica, permitirían mantener altos valores de EA en la superficie del perfil irrigado, a pesar de tener este tratamiento valores de PSI muy superiores al secano.

Finalmente, de la medición a campo de residuos de cosecha se obtuvo que bajo riego solo se recolectó un 11% más de rastrojo que en secano. Los aportes de residuos estimados durante el año anterior a la medición fueron un 54% superior en el tratamiento Ri. Las diferencias entre ambos valores se explican por una alta proporción de rastrojo de soja de 2° en el residuo medido. Este es el cultivo que menores diferencias de rendimiento expresa entre riego y secano. Además, las diferencias que se pudieron generar en los cultivos de maíz y trigo se perdieron al momento de medir a campo, por una posible mayor tasa de descomposición y mineralización de los residuos bajo el tratamiento irrigado.

7. BIBLIOGRAFÍA

Aapresid. 2012. Evolución de la superficie en siembra directa en Argentina. Campañas 1977/78 a 2010/11 (Disponible en: <http://www.aapresid.org.ar/superficie/>). Consultado el 28/05/2014.

Álvarez C.R., Taboada M.A., Gutierrez Boem F.H., Bono A., Fernández P.L., Prystupa P. 2009. Topsoil Properties as Affected by Tillage Systems in the Rolling Pampa Region of Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73: 1242-1250.

Álvarez, R.; Díaz, R.A.; Barbero, N.; Santanatoglia, O.J.; Blotta, L. 1995. Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂-C production from three tillage systems. *Soil Till. Res.* 33: 17-28.

Álvarez R., Steimbach H. 2006 a. Efecto del sistema de labranza sobre la materia orgánica. Pp 69-78 en: Álvarez R (Ed.). *Materia orgánica. Valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos*. Editorial Facultad de Agronomía. UBA. Argentina.

Álvarez R., Steimbach H. 2006 b. Balance de carbono en suelos cultivados. Pp 55-68 en: Álvarez R (Ed.). *Materia orgánica. Valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos*. Editorial Facultad de Agronomía. UBA. Argentina.

Álvarez R., Steimbach H. 2006 c. Valor agronómico de la materia orgánica. Pp 13-27 en: Álvarez R (Ed.). *Materia orgánica. Valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos*. Editorial Facultad de Agronomía. UBA. Argentina.

Arranz, C.; Galantini, J.; Iglesias, J.; Kruger, H.; Venanzi, S. 2004. Sistemas de labranzas: efecto del pastoreo animal sobre la distribución del tamaño de poros. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná 22-25 junio. 7 p.

Arshad M.A., Lowery B., Grossman B. 1996. Physical tests for monitoring soil quality. P. 123-142. In: J. W.Doran and A. J. Jones (eds.)

Methods for assessing soil quality. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI.

Arshad, M.A. 1999. Tillage and soil quality. Tillage practices for sustainable agriculture and environmental quality in different agroecosystems (editorial). Soil Till. Res. 53: 1-2.

Balesdent, J.; C, Chenu; M, Balabane. 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. Soil Tillage Res. 53: 215-230.

Bautista, C. A., J. Etchevers B., R.F. del Castillo y C. Gutiérrez. 2004. Ecosistemas 2004/2 (Disponible en: <http://www.aeet.org/ecosistemas/042/revision2.htm>). Consultado el 28/05/2014.

Barzegar A.R., Nelson P.N., Oades J., Rengasamy P. 1997. Organic matter, sodicity and clay type: Influence on soil aggregation. Soil Sci. Soc. Am. J. 61: 1131-1137.

Blanco- Canqui H., Klocke N.L., Schlegel A.J., Stone L.R., Rice C.W. 2010. Impacts of Deficit Irrigation on Carbon Sequestration and Soil Physical Properties under No-Till. Soil Sci. Soc. Am. J. 74: 1301-130.

Bragachini, M; A Méndez; J Pognante; D De la Torre; O Pozzolo. 2009. Historia de la mecanización agrícola del país: del arado de reja a la siembra de precisión. En: La Argentina 2050. La Revolución Tecnológica del Agro. Ricci, D. (Editora) 744 p.

Burke W., Gabriels D., Bouma J. 1986. Soil structure assessment. A.A. Balkema, Rotterdam.

Buschiazzo, D.E.; Panigatti, J.L.; Unger, P.W. 1998. Tillage effects on soil properties and crop production in the subhumid and semiarid Argentinean Pampas. Soil Till. Res. 49: 105-116.

Cambardella, CA & ET Elliot. 1992. Particulate soil organic matter across grassland cultivation sequence. Soil Sci. Soc. Am. J. 56:777-783.

Conti M. 2000. Materia orgánica del suelo. Pp 67-86 en: Conti M. (Ed.). Principios de edafología con énfasis en suelos argentinos. Editorial Facultad de Agronomía. UBA. Argentina.

Corbella, R. D.; Garcia, J. R.; Sanzano, G. A.; Plasencia, A. M.; Fernandez de Ullivarri, J. 2006. Diferentes fracciones de carbono orgánico como indicadores de calidad de suelos del Este tucumano. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. CD 5pp.

Costa J.L., Aparicio V. 2008. Evaluación de propiedades químicas y físicas en lotes con pivót central en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. Actas XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Luis.

Crescimanno G., Iovino M., Provenzano G. 1995. Influence of salinity and sodicity on soil structural and hydraulic characteristics. Soil Sci. Am. J. 59: 1701-1708.

De Bona F.D., Bayer C., Dieckow J., Bergamaschi H. 2008. Soil quality assessed by carbon management index in a subtropical Acrisol subjected to tillage systems and irrigation. Aust. J. Soil Res. 46: 469–475.

Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzales L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2009. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Ellert B.H., Bettany J.R. 1995. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. Can. J. Soil Sci. 75: 529-538.

FAO, 2007. Agricultura de Conservación (Disponible en: <http://www.fao.org/ag/ca>, FAO, Rome, Marzo 2007). Consultado el 30/05/2014.

Feller, C.1979. Une méthode de fractionnement granulométrique de la matière organique des sols. Application aux sols tropicaux, á textures grossières, très pauvres en humus. Cah. ORSTOM, sèr Pèdol., vol. XVII, 4:339-346.

Feller, C. y M, Beare. H. 1997. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma*. 79: 69-116.

Follett R.F. 2001. Soil management concepts and carbon sequestration in cropland soils. *Soil Till. Res.* 61, 77–92.

Frenkel H., Goertzen J., Rhoades J.D. 1978. Effects of clay type and content, exchangeable sodium percentage, and electrolyte concentration on dispersion and soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 32-39.

Galantini, J.; Iglesias, J.; Cutini, I.; Kruger, H.; Venanzi, S. 2004. Sistemas de labranzas: efecto sobre las fracciones orgánicas. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná 22-25 junio. Resumen expandido editado en CD.

Gillabel, J.; Deneff, K.; Brenner, J.; Merckx, R.; Paustian, K. 2007. Carbon sequestration and soil aggregation in center-pivot irrigated and dryland cultivated farming systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71: 1020-1028.

Giubergia J.P, Basanta M.V., Garino I., Lovera E. 2010. Estabilidad estructural de un haplustol éntico con diferentes labranzas y secuencias de cultivos. Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del suelo. Rosario.

Giubergia, J.; Martellotto E.; Lavado R.S. 2013. Complementary irrigation and direct drilling have little effect on soil organic carbon content in semiarid Argentina. *Soil Till. Res.* 134: 147-152.

Gregorich, E. G.; Carter, M. R.; Angers, D. A.; Monreal, C. M.; Ellert, B. H.; 1994. Towards and minimum date set to asses soil organic matter quality in agricultural soil. *Can. J. Soil. Sci.* (74): 367-385.

Haynes, R. J. 2000. Labile organic matter as an indicador of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand. *Soil Biology & Biochem.* 32: 211-219.

Hernanz, J.L.; López R.; Navarrete L.; Sánchez Girón V. 2002. Long-term effects of tillage systems and rotations on soil structural stability and

organic carbon stratification in semiarid central Spain. *Soil Till. Res.* 66: 129-141.

INTA. 1987. Carta de suelos de la República Argentina. Hoja 3163-32 Oncativo. Plan Mapa de suelos (Ed.).

Jabro, J.D.; Sainju, U.; Stevens, W.B.; Evans, R.G. 2008. Carbon dioxide flux as affected by tillage and irrigation in soil converted from perennial forages to annual crops. *J. Environ. Manage.* 88: 1478–1484.

Kay B.D, VandenBygaart A.J. 2002. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. *Soil Till. Res.* 66: 107-118.

Kemper W, Rosenau R. 1986. Aggregate stability and size distribution. En: Klute A. (Ed.). *Methods of Soil Analysis: part I. Physical and Mineralogical Methods*, 2 nd ed. Agron. Monogr., vol. 9. ASA and SSSA, Madison, WI, pp 425 – 442.

Lal, R.; Kimble, J.; Follett, R.; Cole, C. 1998. The potential of US cropland to sequester C and mitigate the greenhouse effect. *Ann Arbor Sci. Publ.*, Chelsea, MI.

Lamas M; Moreno G. 2000. Densidad del suelo. Pp 159-165 en: Conti M. (Ed.). *Principios de edafología con énfasis en suelos argentinos*. Editorial Facultad de Agronomía. UBA. Argentina.

Lavado R.S. 2009. Salinización y sodificación de suelos de producción agrícola extensiva por riego complementario. Pp 45-58 en: Taboada M.A.y Lavado R.S. (Eds.). *Alteraciones de la fertilidad de los suelos. El halomorfismo, la acidez, el hidromorfismo y las inundaciones*. Editorial Facultad de Agronomía. UBA. Argentina.

Lovera E., Gil R., Martellotto E. 1993. Características edáficas y climáticas del área perteneciente al PAC II- zona centro. EEA INTA Manfredi (Ed.). Argentina.

Martellotto E, Salinas A, Lovera E, Salas P, Alvarez C, Giubergia J, Lingua S. 2005. Inventario y caracterización del riego suplementario en la

provincia de Córdoba. Riego presurizado. Pivotal central. Boletín nº 10. EEA INTA Manfredi (Ed.). Argentina. 15 p.

Micucci F.G., Taboada M.A. 2006. Soil physical properties and soybean root abundance in conventionally and zero tilled soils in the humid pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 86: 152-162.

Mon R., Iruetia C., Botta G.F., Pozzolo O., Bellora Melcón F., Rivero D., Bomben M. 2007. Effects of supplementary irrigation on chemical and physical soil properties in the rolling pampa region of Argentina. *Cien. Inv. Agr.* 34(3):187-194.

Nelson D.W., Sommers L.E. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. En: *Methods of Soil Analysis*. Page AL. (Ed.). Part 2. *Agronomy* 9, Madison, WI, pp 539-579.

Oades J.M., Waters A.G. 1991. Aggregate hierarchy in soil. *Aust. J. Soil Res.* 29: 815-828.

Peirone L.S., Basanta M.V., Lovera E., Giubergia J.P., Álvarez C. 2008. Propiedades químicas y densidad aparente de un haplustol del centro de la provincia de Córdoba bajo siembra directa y labranza convencional. *Actas XXI Congreso Argentino de la Ciencia del suelo*. San Luis.

Pilatti M., Imhoff S., Ghiberto P., Marano R. 2006. Changes in some physical properties of Mollisols induced by supplemental irrigation. *Geoderma*. 133: 431-443.

Pognante. J.; Bragachini. M.; Casini. C. Bianco Gaido. M. 2011. Siembra directa. Actualización técnica N°58. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

Porta Casanelas J, Lopez Acevedo Reguerin M, Roquero de Lamburu C. 2003. Manual para la Agricultura y el Medio Ambiente. Mundi-Prensa (Ed).

Pupisky H., Shaimberg I. 1979. Salt effects on the hydraulic conductivity of a sandy soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43: 429-433.

Quiroga, A.; Ormeño, O.; Peinemann, N. 1998. Efecto de la siembra directa sobre propiedades físicas de los suelos. En: Panigatti, J.; Marelli, H.; Buschiazzo, D.; Gil, R. (Eds). Siembra directa. p. 57-63.

Reicosky D C. 2001. Conservation Agriculture: global environmental benefits of soil carbon management; in: Garcia Torres L., Benites J., Martinez-Vilela A. (Eds.): Conservation Agriculture, a worldwide challenge, FAO/ECAF, Rome/Brussels, Vol. I, pp. 3-12, ISBN 84-932237-0-0.

Reeves, D. 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil Till. Res.* 43: 131-167.

Salas P., Lovera E., Basanta M., Giubergia J., Martellotto E., Salinas A. 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. EEA INTA Manfredi (Ed.). Argentina. 12p.

Salinas A., Mari N., Bustos V., Giubergia JP., Boccardo M., Severina I., Aimar F. 2015. Actualización del área bajo riego suplementario en Córdoba. *Revista Riegos & Drenajes*. Argentina. Número 77. Julio/Agosto 2015. Pp 56-57.

Sasal M.C., Andriulo A.E., Taboada M.A. 2006. Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in Argentinians Pampas. *Soil Till. Res.* 87: 9-18.

Shaimberg I., Levy G.J., Goldstein D., Mamedov A.I., Letey J. 2001. Prewetting rate and sodicity effects on the hydraulic conductivity of soils. *Aust. J. Soil Res.* 39 : 1279-1291.

Six J., Elliott E.T., Paustian K. 1999. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 1350-1358.

Six, J.; P. Callewaert, S. Lenders, S. De Gryze, S. J. Morris; E. G.Gregorich, E. A. Paul, K. Paustian. 2002. Measuring and understanding

carbon storage in afforested soils by physical fractionation. *Soil Sci. Soc. of Am. J.* 66:1981-1987.

Taboada M.A., Micucci F.G., Cosentino D.J., Lavado R.S. 1998. Comparison of compaction induced by conventional and zero tillage in two soils of the Rolling Pampa of Argentina. *Soil Till. Res.* 49: 57-63.

Taboada M, Micucci F. 2004. Fertilidad física de los suelos. EFA Buenos Aires (Ed.). Argentina. 79 p.

Taboada M.A., Micucci F.G., Álvarez C.R. 2008. Impedancias mecánicas y compactación en suelos agrícolas. Pp 93-153 en: Taboada M.A., Álvarez C.R. (Eds.). Fertilidad física de los suelos (2ª edición). Editorial Facultad de Agronomía. UBA. Argentina.

Tisdall J, Oades J. 1982. Organic matter and water stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33:141-163.

Torres Duggan M., Alvarez C.R., Taboada M.A., Chamorro E., D'Ambrosio D., Celesti T., Vignarolli F. 2010. Riego complementario en sistemas productivos extensivos: influencias sobre las propiedades físicas y químicas del suelo. *Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del suelo.* Rosario.

Trost B., Prochnow A., Drastig K., Meyer-Aurich A., Ellmer F., Baumecker M. 2013. Irrigation, soil organic carbon and N₂O emissions. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 33:733 – 749.

Trost B., Ellmer F., Baumecker M., Meyer-Aurich A., Prochnow A., Drastig K. 2014. Effects of irrigation and nitrogen fertilizer on yield, carbon inputs from above ground harvest residues and soil organic carbon contents of a sandy soil in Germany. *Soil Use and Management.* 30: 209 – 218.

Unger, P.W. 1991. Organic matter, nutrient and pH distribution in no and conventional tillages semiarid soils. *Agron. J.* 83: 186-191.

USDA. 1999. Soil quality test kit guide. NRCS Soil Quality Inst., Auburn, AL.

8. ANEXO

Tabla 1. Pruebas de hipótesis secuenciales para CO en 0-5 cm.

		numDF	F-value	p-value
(Intercept)		1	1429.81	<0.0001
TRATAMIENTO	1	12.57	0.0010	
BLOQUE	3	0.14	0.9364	

Tabla 2. Medias ajustadas y errores estándares para CO (%) en 0-5 cm. *LSD Fisher* ($\alpha=0.05$).

TRATAMIENTO	Medias	E.E.	
RIEGO	2.59	0.11	A
SECANO	2.12	0.07	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

Tabla 3. Pruebas de hipótesis secuenciales para CO en 5-10 cm.

		numDF	F-value	p-value
(Intercept)		1	2328.05	<0.0001
TRATAMIENTO	1	2.73	0.1056	
BLOQUE	3	3.40	0.0261	

Tabla 4. Medias ajustadas y errores estándares para CO (%) en 5-10 cm. *LSD Fisher* ($\alpha=0.05$)

TRATAMIENTO	Medias	E.E.	
SECANO	1.41	0.05	A
RIEGO	1.33	0.03	A

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

Tabla 5. Pruebas de hipótesis secuenciales para CO en 10-20 cm.

		numDF	F-value	p-value
(Intercept)		1	2169.72	<0.0001
TRATAMIENTO	1	0.72	0.3992	
BLOQUE	3	4.75	0.0060	

Tabla 6. Medias ajustadas y errores estándares para CO (%) en 10-20 cm. *LSD Fisher* ($\alpha=0.05$)

TRATAMIENTO	Medias	E.E.	
SECANO	1.15	0.04	A
RIEGO	1.12	0.03	A

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

Tabla 7. Pruebas de hipótesis secuenciales para CO en 20-40 cm.

		numDF	F-value	p-value
(Intercept)		1	466.84	<0.0001
TRATAMIENTO	1	0.80	0.3748	
BLOQUE	3	0.37	0.7721	

Tabla 8. Medias ajustadas y errores estándares para CO (%) 20-40 cm.
LSD Fisher ($\alpha=0.05$)

TRATAMIENTO	Medias	E.E.	
SECANO	0.78	0.06	A
RIEGO	0.72	0.04	A

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

Tabla 9. Pruebas de hipótesis secuenciales para CO en 40-80 cm.

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	700.72	<0.0001
TRATAMIENTO	1	0.38	0.5409
BLOQUE	3	0.62	0.6075

Tabla 10. Medias ajustadas y errores estándares para CO (%) 40-80 cm.
LSD Fisher ($\alpha=0.05$)

TRATAMIENTO	Medias	E.E.	
RIEGO	0.40	0.02	A
SECANO	0.39	0.02	A

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

Tabla 11 Pruebas de hipótesis secuenciales para evolución temporal de COS en 0-20 cm.

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	8210.92	<0.0001
Tratamiento	1	1.94	0.1656
Tiempo	2	15.81	<0.0001
Bloque	3	16.10	<0.0001
Tratamiento:Tiempo	2	0.61	0.5425

Tabla 12. Medias ajustadas y errores estándares para evolución de COS (%) en 0-20 cm.
LSD Fisher ($\alpha=0.05$).

Tratamiento	Tiempo	Medias	E.E.			
riego	2013	1.54	0.04	A		
riego	2007	1.49	0.03	A	B	
secano	2013	1.45	0.04	A	B	
secano	2007	1.41	0.04		B	C
riego	1996	1.30	0.03			C D
secano	1996	1.29	0.04			D

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

Tabla 13. Pruebas de hipótesis secuenciales para evolución de COS en 20-40 cm.

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	3549.32	<0.0001
Tratamiento	1	2.86	0.0921
Tiempo	2	12.57	<0.0001
Bloque	3	12.84	<0.0001
Tratamiento:Tiempo	2	1.73	0.1802

Tabla 14. Medias ajustadas y errores estándares para evolución temporal de COS (%) en 20-40 cm. LSD Fisher (alfa=0.05).

Tratamiento	Tiempo	Medias	E.E.		
secano	1996	0.96	0.04	A	
riego	1996	0.86	0.03		B
riego	2007	0.77	0.03		B C
secano	2013	0.77	0.04		B C
secano	2007	0.75	0.04		C
riego	2013	0.72	0.03		C

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

Tabla 15. Pruebas de hipótesis secuenciales para evolución de Stock CO en 0-20 cm.

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	6239.54	<0.0001
Tratamiento	1	3.20	0.0762
Tiempo	1	1.58	0.2112
Bloque	3	11.55	<0.0001
Tratamiento:Tiempo	1	0.15	0.7023

Tabla 16. Medias ajustadas y errores estándares para evolución de Stock CO (Tn/ha) en 0-20 cm. LSD Fisher (alfa=0.05)

Tratamiento	Tiempo	Medias	E.E.		
Riego	2013	38.53	0.93	A	
Riego	2007	37.74	0.82	A	B
Secano	2013	36.91	1.07	A	B
Secano	2007	35.38	1.04		B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

Tabla 17. Pruebas de hipótesis secuenciales para CO particulado (>200 micras) en 0-5 cm.

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	113.69	<0.0001
Tratamiento	1	7.34	0.0135
Bloque	1	0.26	0.6149

Tabla 18. Medias ajustadas y errores estándares para CO particulado (>200 micras) (%COS) en 0-5 cm. LSD Fisher (alfa=0.05)

Tratamiento	Medias	E.E.	
Riego	0.40	0.04	A
Secano	0.23	0.05	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

Tabla 19. Pruebas de hipótesis secuenciales para CO particulado (>200 micras) en 5-10 cm.

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	368.06	<0.0001
Tratamiento	1	0.78	0.3878
Bloque	1	0.14	0.7108

Tabla 20. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento CO particulado (>200 micras) (%COS) en 5-10 cm. *LSD Fisher (alfa=0.05)*

Tratamiento	Medias	E.E.
Secano	0.05	0.01 A
Riego	0.04	2.4E-03 A

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0.05)

Tabla 21. Pruebas de hipótesis secuenciales para CO particulado (>200 micras) en 10-20 cm.

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	157.59	<0.0001
Tratamiento	1	0.26	0.6139
Bloque	1	1.14	0.2975

Tabla 22. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento CO particulado (>200 micras) (%COS) en 10-20 cm. *LSD Fisher (alfa=0.05)*

Tratamiento	Medias	E.E.
Riego	0.02	1.9E-03A
Secano	0.02	2.1E-03A

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0.05)

Tabla 23. Pruebas de hipótesis secuenciales para CO particulado (>200-53 micras) en 0-5 cm.

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	1025.54	<0.0001
Tratamiento	1	15.26	0.0009
Bloque	1	3.54	0.0744

Tabla 24. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento CO particulado (>200-53 micras) (%COS) en 0-5 cm. *LSD Fisher (alfa=0.05)*

Tratamiento	Medias	E.E.
Riego	1.14	0.09 A
Secano	0.77	0.03 B

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0.05)

Tabla 25. Pruebas de hipótesis secuenciales para CO particulado (>200-53 micras) en 5-10 cm.

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	638.43	<0.0001
Tratamiento	1	4.11	0.0563
Bloque	1	2.54	0.1269

Tabla 26. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento CO particulado (>200-53 micras) (%COS) en 5-10 cm. *LSD Fisher (alfa=0.05)*

Tratamiento	Medias	E.E.
Secano	0.37	0.02 A
Riego	0.32	0.02 A

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0.05)

Tabla 27. Pruebas de hipótesis secuenciales para CO particulado (>200-53 micras) en 10-20 cm.

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	1079.05	<0.0001
Tratamiento	1	12.89	0.0018
Bloque	1	0.01	0.9074

Tabla 28. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento CO particulado (>200-53 micras) (%COS) en 10-20 cm. *LSD Fisher (alfa=0.05)*

Tratamiento	Medias	E.E.	
Secano	0.26	0.01	A
Riego	0.21	0.01	B

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0.05)

Tabla 29. Pruebas de hipótesis secuenciales para CO particulado (<53 micras) en 0-5 cm.

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	567.07	<0.0001
Tratamiento	1	0.01	0.9399
Bloque	1	0.49	0.4900

Tabla 30. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento CO particulado (<53 micras) (%COS) en 0-5 cm. *LSD Fisher (alfa=0.05)*

Tratamiento	Medias	E.E.	
Secano	1.15	0.05	A
Riego	1.13	0.10	A

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0.05)

Tabla 31. Pruebas de hipótesis secuenciales para CO particulado (<53 micras) en 5-10 cm.

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	351.55	<0.0001
Tratamiento	1	3.4E-05	0.9954
Bloque	1	0.12	0.7346

Tabla 32. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento CO particulado (<53 micras) en 5-10 cm. *LSD Fisher (alfa=0.05)*

Tratamiento	Medias	E.E.	
Riego	1.02	0.09	A
Secano	1.02	0.07	A

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0.05)

Tabla 33. Pruebas de hipótesis secuenciales para CO particulado (<53 micras) en 10-20 cm.

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	496.94	<0.0001
Tratamiento	1	0.52	0.4775
Bloque	1	1.76	0.1991

Tabla 34. Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento CO particulado (<53 micras) (%COS) en 10-20 cm. *LSD Fisher (alfa=0.05)*

Tratamiento	Medias	E.E.
Riego	0.98	0.06 A
Secano	0.90	0.07 A

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0.05)

Tabla 35. Pruebas de hipótesis secuenciales para evolución de DAP en 0-5 cm.

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	7173.22	<0.0001
Tratamiento	1	0.83	0.3676
Tiempo	1	14.02	0.0005
Bloque	1	1.58	0.2154
Tratamiento:Tiempo	1	10.34	0.0025

Tabla 36. Medias ajustadas y errores estándares para evolución de DAP (gr/cm³) en 0-5 cm.

LSD Fisher (alfa=0.05)

Tratamiento	Tiempo	Medias	E.E.		
Secano	2013	1.23	0.03	A	
Riego	2013	1.12	0.02		B
Riego	2007	1.09	0.02		B C
Secano	2007	1.03	0.03		C

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0.05)

Tabla 37. Pruebas de hipótesis secuenciales para evolución de DAP en 5-10 cm.

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	12654.50	<0.0001
Tratamiento	1	4.83	0.0334
Tiempo	1	2.06	0.1587
Bloque	1	0.02	0.8759
Tratamiento:Tiempo	1	0.11	0.7467

Tabla 38. Medias ajustadas y errores estándares para evolución de DAP (gr/cm³) en 5-10 cm.

LSD Fisher (alfa=0.05)

Tratamiento	Tiempo	Medias	E.E.		
Riego	2013	1.44	0.02	A	
Riego	2007	1.42	0.02	A	B
Secano	2013	1.40	0.03	A	B
Secano	2007	1.35	0.03		B

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0.05)

Tabla 39. Medias ajustadas y errores estándares para evolución de DAP (gr/cm³) en 10-20 cm.

LSD Fisher (alfa=0.05)

Tratamiento	Tiempo	Medias	E.E.		
Riego	2013	1.43	0.01	A	
Riego	2007	1.41	0.01	A	
Secano	2013	1.41	0.01	A	
Secano	2007	1.35	0.01		B

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0.05)

Tabla 40. Pruebas de hipótesis secuenciales para EA en 0-5 cm.

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	3638.46	<0.0001
Tratamiento	1	42.55	<0.0001
Bloque	1	0.90	0.3546

Tabla 41. Medias ajustadas y errores estándares para EA (%) en 0-5 cm. *LSD Fisher* ($\alpha=0.05$).

Tratamiento	Medias	E.E.	
Riego	82.18	1.40	A
Secano	55.32	3.84	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)

Tabla 42. Pruebas de hipótesis secuenciales para EA en 5-10 cm.

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	334.29	<0.0001
Tratamiento	1	9.00	0.0068
Bloque	1	2.90	0.1036

Tabla 43. Medias ajustadas y errores estándares para EA (%) en 5-10 cm. *LSD Fisher* ($\alpha=0.05$).

Tratamiento	Medias	E.E.	
Riego	66.53	4.88	A
Secano	48.78	3.85	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)

Tabla 44. Pruebas de hipótesis secuenciales para EA en 10-20 cm.

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	548.29	<0.0001
Tratamiento	1	4.14	0.0548
Bloque	1	0.40	0.5340

Tabla 45. Medias ajustadas y errores estándares para EA (%) en 10-20 cm. *LSD Fisher* ($\alpha=0.05$.)

Tratamiento	Medias	E.E.	
Riego	57.43	2.89	A
Secano	48.01	3.85	A

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)



Figura 1. Imagen de cilindros de 100 cm^3 de volumen utilizados para la medición de Dap en diferentes profundidades.



Figura 2. Imagen de cilindro utilizado para la toma de muestra compuesta sin disturbar.



Figura 3. Imagen del marco de 0,5 m x 0,5 m de diámetro utilizado para la recolección de residuos vegetales superficiales.



Figura 4. Imagen de tamiz utilizado para separar el rastrojo muestreado de resto de suelo.