



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO

**EFFECTOS DE UN CULTIVO DE COBERTURA SOBRE PROPIEDADES
EDÁFICAS Y USO DEL AGUA EN AMBIENTES CON EROSIÓN HÍDRICA Y
MONOCULTIVO DE SOJA, EN EL SUR DE LA PROVINCIA DE SANTA FE**

JULIA ESTER CAPURRO

**TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE MAGISTER EN MANEJO Y
CONSERVACIÓN DE RECURSOS NATURALES**

DIRECTOR: ING. AGR. DR. SERGIO MONTICO

2018

**EFFECTOS DE UN CULTIVO DE COBERTURA SOBRE PROPIEDADES
EDÁFICAS Y USO DEL AGUA EN AMBIENTES CON EROSIÓN HÍDRICA Y
MONOCULTIVO DE SOJA, EN EL SUR DE LA PROVINCIA DE SANTA FE**

Julia Ester Capurro

Ingeniera Agrónoma – Universidad Nacional de Entre Ríos

Esta Tesis es presentada como parte de los requisitos para optar al grado académico de Magister en Manejo y Conservación de Recursos Naturales, de la Universidad Nacional de Rosario y no ha sido previamente presentada para la obtención de otro título en ésta u otra Universidad. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en Cañada de Gómez, Santa Fe, durante el período comprendido entre Junio 2012 y Junio 2017 bajo la dirección del Ing. Agr. Dr. Sergio Montico.

Nombre y firma del Maestrando: Julia Ester Capurro

Nombre y firma del Director : Sergio Montico

Defendida:de 20__.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer ...

- ❖ A mi director, Sergio Montico por su ayuda, dedicación y constantes aportes.
- ❖ A Hugo Marelli y Juan Arce por la generosidad de su cooperación.
- ❖ A mis compañeros de la Agencia de Extensión Rural INTA Cañada de Gómez en especial a María José Dickie.
- ❖ A José Andriani, Carlos Correro y Beatriz Urquiza por su inestimable ayuda.
- ❖ A Diego Vesprini y su familia, dueños del establecimiento donde se realizó el trabajo, por su espíritu de colaboración permanente.
- ❖ Al INTA por el financiamiento de la Maestría.
- ❖ A la Maestría en Conservación de Recursos Naturales, por la formación que me brindó.

DEDICATORIA

A mis hijos Sebastián, María Florencia y María Eugenia

A mi esposo Héctor

A la memoria de mis padres Marta y Argentino

INDICE DE CONTENIDOS

INDICE DE TABLAS	I
INDICE DE FIGURAS	III
ABREVIATURAS	V
RESUMEN	VII
ABSTRACT	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. HIPÓTESIS	4
3. OBJETIVOS	4
3.1. GENERAL	4
3.2. ESPECÍFICOS	4
3.2.1. Evolución de propiedades físico-químicas	4
3.2.2. Producción de materia orgánica, fijación de carbono y uso de agua útil disponible	4
3.2.3. Pérdidas de agua y suelo por erosión hídrica	4
3.2.4. Efecto sobre el rendimiento del cultivo de soja	4
4. MATERIALES Y MÉTODOS	5
4.1. Ubicación y características del sitio experimental	5
4.2. Diseño experimental y tratamientos evaluados	7
4.3. Manejo del cultivo de cobertura	7
4.4. Manejo del cultivo de soja	8
4.5. Evaluación de propiedades químicas del suelo	9
4.6. Evaluación de propiedades físicas sub-superficiales del suelo	9

4.6.1. Textura	9
4.6.2. Densidad aparente	10
4.6.3. Índice de estabilidad de agregados	10
4.7. Evaluación de la producción de materia seca y contenido de carbono del cultivo de cobertura y del cultivo de soja y agua útil disponible en el perfil del suelo	10
4.7.1. Materia seca y contenido de carbono de los cultivos de cobertura	10
4.7.2. Materia seca y contenido de carbono del cultivo de soja	11
4.7.3. Agua útil disponible en el perfil del suelo	11
4.7.4. Costo hídrico, uso consuntivo y eficiencia de uso del agua del cultivo de cobertura	11
4.8. Evaluación del efecto del cultivo de cobertura sobre la erosión hídrica	12
4.8.1. Condiciones superficiales del suelo	12
4.8.1.1. Cobertura superficial	12
4.8.1.2. Rugosidad superficial	12
4.8.2. Lluvias simuladas	13
4.8.2.1. Descripción del simulador de lluvias	13
4.8.2.2. Procedimiento	13
4.8.2.3. Agua útil antecedente en el espesor 0-20 centímetros	14
4.8.2.4. Tiempo de inicio del escurrimiento superficial	15
4.8.2.5. Hidrogramas de escurrimiento superficial	15
4.8.2.6. Pérdida total de agua por escurrimiento superficial	15
4.8.2.7. Coeficiente de escurrimiento	15
4.8.2.8. Infiltración acumulada	16

4.8.2.9. Pérdida total de suelo por erosión hídrica	16
4.8.2.10. Concentración de materia orgánica, carbono orgánico y nutrientes, ph y textura de los sedimentos erosionados	16
4.8.2.11. Tasa de enriquecimiento de materia orgánica, carbono orgánico y nutrientes y variación de pH y textura en los sedimentos erosionados	16
4.8.2.12. Pérdidas totales de materia orgánica, carbono orgánico y nutrientes por erosión hídrica	17
4.9. Rendimiento del cultivo de soja	17
4.10. Análisis de la información	17
5. RESULTADOS	18
5.1. Propiedades químicas del suelo	18
5.1.1. Carbono orgánico total	18
5.1.2. Carbono orgánico particulado	19
5.1.3. Relación carbono orgánico particulado/carbono orgánico total	19
5.1.4. Nitrógeno total	20
5.1.5. Relación carbono/nitrógeno	21
5.1.6. Fósforo extractable	21
5.1.7. Azufre de sulfatos	22
5.1.8. pH	22
5.2. Propiedades físicas sub-superficiales del suelo	34
5.2.1. Textura	34
5.2.2. Densidad aparente	35

5.2.3. Índice de estabilidad estructural	39
5.3. Evaluación de la producción de materia seca y contenido de carbono del cultivo de cobertura y del cultivo de soja y su efecto en el agua útil disponible	41
5.3.1. Producción de materia seca aérea y contenidos de carbono del cultivo de cobertura y del cultivo de soja	41
5.3.2. Impacto del cultivo de cobertura sobre el agua útil disponible	43
5.3.3. Costo hídrico, uso consuntivo y eficiencia de uso del agua del cultivo de cobertura	47
5.4. Evaluación del efecto del cultivo de cobertura sobre la erosión hídrica	48
5.4.1. Condiciones superficiales del suelo	48
5.4.1.1. Cobertura superficial	48
5.4.1.2. Rugosidad superficial	49
5.4.2. Agua útil disponible antecedente en el espesor 0-20 centímetros	50
5.4.3. Tiempo de inicio del escurrimiento superficial	50
5.4.4. Hidrogramas de escurrimiento superficial	51
5.4.5. Pérdida total de agua por escurrimiento superficial	55
5.4.6. Coeficiente de escurrimiento	55
5.4.7. Infiltración acumulada	56
5.4.8. Pérdida total de suelo por erosión hídrica	57
5.4.9. Concentración de materia orgánica, carbono orgánico y nutrientes, pH y textura de los sedimentos erosionados	58
5.4.10. Tasa de enriquecimiento de materia orgánica, carbono orgánico y nutrientes y variación de pH y textura en los sedimentos erosionados	59

5. 4.11. Pérdidas totales de materia orgánica, carbono orgánico y nutrientes por erosión hídrica	61
5.5. Rendimiento del cultivo de soja	63
6. DISCUSIÓN	65
6.1. Propiedades químicas del suelo	65
6.1.1. Carbono orgánico total	65
6.1.2. Carbono orgánico particulado	66
6.1.3. Relación carbono orgánico particulado/carbono orgánico total	67
6.1.4. Nitrógeno total	67
6.1.5. Relación carbono/nitrógeno	68
6.1.6. Fósforo extractable	69
6.1.7. Azufre de sulfatos	70
6.1.8. pH	70
6.2. Propiedades físicas sub-superficiales del suelo	71
6.2.1. Textura	71
6.2.2. Densidad aparente	71
6.2.3. Índice de estabilidad estructural	72
6.3. Evaluación de la producción de materia seca y del contenido de carbono del cultivo de cobertura y del cultivo de soja y su efecto en el agua útil disponible	73
6.3.1. Producción de materia seca aérea y contenido de carbono del cultivo de cobertura y del cultivo de soja	73
6.3.2. Efecto del cultivo de cobertura sobre el agua útil disponible	73
6.3.3. Costo hídrico, uso consuntivo y eficiencia de uso del agua del cultivo	

de cobertura	74
6.4. Evaluación del efecto del cultivo de cobertura sobre la erosión hídrica	76
6.4.1. Condiciones superficiales del suelo	76
6.4.1.1. Cobertura superficial	76
6.4.1.2. Rugosidad superficial	76
6.4.2. Agua útil disponible antecedente en el espesor 0-20 centímetros	77
6.4.3. Tiempo de inicio del escurrimiento superficial	77
6.4.4. Hidrogramas de escurrimiento superficial	78
6.4.5. Pérdida total de agua por escurrimiento superficial	78
6.4.6. Coeficiente de escurrimiento	79
6.4.7. Infiltración acumulada	80
6.4.8. Pérdida total de suelo por escurrimiento superficial	80
6.4.9. Concentración de materia orgánica, carbono orgánico y nutrientes, pH y textura de los sedimentos erosionados	81
6.4.10. Tasa de enriquecimiento de materia orgánica, carbono orgánico y nutrientes y variación de pH y textura en los sedimentos erosionados	83
6. 4.11. Pérdidas totales de materia orgánica, carbono orgánico y nutrientes por erosión hídrica	84
6.5. Rendimiento del cultivo de soja	84
7. CONCLUSIONES	86
8. POSIBLES LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN QUE PODRÍAN DERIVARSE DE ESTA TESIS Y ORIENTARSE A NUEVAS PREGUNTAS HIPOTÉTICAS.	88
BIBLIOGRAFÍA	89

ANEXO I	104
Tablas de niveles de probabilidad de los test F, de los análisis de variancia	104
Figuras de evolución de las propiedades químicas, a distintas profundidades	120
ANEXO II. Fotos	126

I. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores medios y extremos de temperatura, humedad relativa y heladas de la Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja 3360-13 y 14. Cañada de Gómez y Rosario. Período 1901-1980

Tabla 2. Argiudol típico serie Correa. Datos analíticos del perfil típico de la Hoja 3360-13 y 14

Tabla 3. Propiedades químicas edáficas en el estrato 0 a 5 centímetros, en los momentos de siembra de los cultivos de cobertura y siembra, floración y madurez fisiológica de soja

Tabla 4. Propiedades químicas edáficas en el estrato 5 a 10 centímetros, en los momentos de siembra de los cultivos de cobertura y siembra, floración y madurez fisiológica de soja

Tabla 5. Propiedades químicas edáficas en el estrato 10 a 20 centímetros, en los momentos de siembra de los cultivos de cobertura y siembra, floración y madurez fisiológica de soja

Tabla 6. Propiedades químicas edáficas en el estrato 20 a 40 centímetros, en los momentos de siembra de los cultivos de cobertura y siembra, floración y madurez fisiológica de soja

Tabla 7. Relación COP/COT en el estrato 0-5 centímetros en los momentos de siembra de los cultivos de cobertura y siembra y floración de soja

Tabla 8. Relación COP/COT en el estrato 5-10 centímetros, en los momentos de siembra de los cultivos de cobertura y siembra y floración de soja

Tabla 9. Relación COP/COT en el estrato 10-20 centímetros, en los momentos de siembra de los cultivos de cobertura y siembra y floración de soja

Tabla 10. Textura en porcentaje, en 0 – 5, 5 – 10 y 10 – 20 centímetros, en los diferentes ambientes evaluados

Tabla 11. Índice de estabilidad de agregados en porcentaje, en 0 – 10 centímetros, en los momentos de siembra de los cultivos de cobertura, siembra y floración de soja.

Tabla 12. Producción de materia seca aérea y contenido de carbono, en megagramos por hectárea, de cultivos de cobertura y de soja en madurez fisiológica

Tabla 13. Costo hídrico, uso consuntivo y eficiencia de uso del agua de los cultivos de cobertura

Tabla 14. Cobertura superficial del suelo en porcentaje, en siembra de los cultivos de cobertura y en inicios de floración del cultivo de soja

Tabla 15. Rugosidad superficial en milímetros, a la siembra de los cultivos de cobertura e inicios de floración del cultivo de soja

Tabla 16. Concentración de materia orgánica, carbono orgánico y nutrientes, pH y textura de los sedimentos erosionados

Tabla 17. Tasa de enriquecimiento de materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total y fósforo, y variación de pH y textura en los sedimentos erosionados, respecto del espesor 0-5 centímetros del suelo

Tabla 18. Cantidades totales de materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total y fósforo, perdidas por hectárea durante las lluvias simuladas

Tabla 19. Peso de mil semillas en gramos y número de granos por metro cuadrado del cultivo de soja

Tabla 20. Niveles de probabilidad de los test F, de los análisis de variancia de las variables químicas de suelo, en el espesor 0 a 5 centímetros

Tabla 21. Niveles de probabilidad de los test F, de los análisis de variancia de las variables químicas de suelo, en el espesor 5 a 10 centímetros

Tabla 22. Niveles de probabilidad de los test F, de los análisis de variancia de las variables químicas de suelo, en el espesor 10 a 20 centímetros

Tabla 23. Niveles de probabilidad de los test F, de los análisis de variancia de las variables químicas de suelo, en el espesor 20 a 40 centímetros

Tabla 24. Niveles de probabilidad de los test F, de los análisis de variancia de las variables físicas de suelo

Tabla 25. Niveles de probabilidad de los test F, de los análisis de variancia de la producción de materia seca y contenido de carbono en cultivos de cobertura y soja, del balance de agua útil disponible en cinco momentos y del costo hídrico, uso consuntivo y eficiencia de uso del agua de los cultivos de cobertura

Tabla 26. Niveles de probabilidad de los test F, de los análisis de variancia de: cobertura superficial, rugosidad superficial, tiempo inicio escurrimiento, pérdida total de agua, concentración, tasa de enriquecimiento y pérdida total de materia orgánica, carbono orgánico y nutrientes en sedimentos erosionados

Tabla 27. Niveles de probabilidad de los test F, de los análisis de variancia del rendimiento de soja

Tabla 28. Densidad aparente a: 0-6, 6-12, 12-18, 18-24, 24-30, 30-36, 36-42 y 42-48 centímetros, en siembra de los cultivos de cobertura y siembra y floración de soja

III. INDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Precipitaciones medias en milímetros del período 1957/2012 y del período enero 2012/abril 2013
- Figura 2. Contenido de COP > 53 micras a 0-5 centímetros, en los momentos de siembra de los cultivos de cobertura y siembra y floración de soja
- Figura 3. Contenido de COP > 53 micras a 5-10 centímetros, en los momentos de siembra de los cultivos de cobertura y siembra y floración de soja
- Figura 4. Contenido de COP > 53 micras a 10-20 centímetros, en los momentos de siembra de los cultivos de cobertura y siembra y floración de soja
- Figura 5. Valores medios de densidad aparente, en diferentes momentos de muestreo, Subfigura a: 0-6 cm, Subfigura b: 6 – 12 cm, Subfigura c: 12 – 18 cm
- Figura 6. Valores medios de densidad aparente, en diferentes momentos de muestreo, Subfigura d: 18-24 cm, Subfigura e: 24 – 30 cm, Subfigura f: 30 – 36 cm
- Figura 7. Valores medios de densidad aparente, en diferentes momentos de muestreo, Subfigura g: 36-42 cm, Subfigura h: 42 – 48 cm
- Figura 8. Lámina de agua útil disponible en milímetros, acumulada hasta 200 centímetros de profundidad a siembra de los cultivos de cobertura
- Figura 9. Lámina de agua útil disponible en milímetros, acumulada hasta 200 centímetros de profundidad a secado de los cultivos de cobertura
- Figura 10. Lámina de agua útil disponible en milímetros, acumulada hasta 200 centímetros de profundidad a siembra del cultivo de soja
- Figura 11. Lámina de agua útil disponible en milímetros, acumulada hasta 200 centímetros de profundidad a la floración del cultivo de soja
- Figura 12. Lámina de agua útil disponible en milímetros, acumulada hasta 200 centímetros de profundidad, a inicio de llenado de granos del cultivo de soja
- Figura 13. Agua útil disponible en milímetros, a 0-20 centímetros de profundidad, anterior a la aplicación de los test de lluvias simuladas
- Figura 14. Tiempo de inicio del escurrimiento superficial en minutos
- Figura 15. Tasa instantánea de escurrimiento superficial, en milímetros por hora, en a: Loma SCC y b: Loma CCC, y en cada repetición de lluvia simulada. Pérdida Total de agua por repetición en milímetros
- Figura 16. Tasa instantánea de escurrimiento superficial, en milímetros por hora, en c: Media Loma SCC y d: Media Loma CCC, y en cada repetición de lluvia simulada. Pérdida Total de agua por repetición en milímetros

Figura 17. Tasa instantánea de escurrimiento superficial, en milímetros por hora, en e: Bajo SCC y f: Bajo CCC, y en cada repetición de lluvia simulada. Pérdida Total de agua por repetición en milímetros

Figura 18. Pérdida total de agua por escurrimiento superficial, en porcentaje sobre la lluvia aplicada

Figura 19. Coeficiente de escurrimiento en porcentaje

Figura 20. Infiltración total acumulada en milímetros

Figura 21. Pérdida total de suelo en kilos por hectárea, por erosión hídrica

Figura 22. Rendimientos de soja en kilos por hectárea

Figura 23: Evolución de la concentración del carbono orgánico total en gramos por kilo a distintas profundidades, Subfigura a: 0-5 cm, Subfigura b: 5 – 10 cm, Subfigura c: 10 – 20 cm., Subfigura d: 20 – 40 cm

Figura 24: Evolución de la concentración del nitrógeno total en gramos por kilo a distintas profundidades, Subfigura a: 0-5 cm, Subfigura b: 5 – 10 cm, Subfigura c: 10 – 20 cm., Subfigura d: 20 – 40 cm

Figura 25: Evolución de la relación carbono/nitrógeno a distintas profundidades, Subfigura a: 0-5 cm, Subfigura b: 5 – 10 cm, Subfigura c: 10 – 20 cm., Subfigura d: 20 – 40 cm

Figura 26: Evolución de la concentración del fósforo extractable en miligramos por kilo a distintas profundidades, Subfigura a: 0-5 cm, Subfigura b: 5 – 10 cm, Subfigura c: 10 – 20 cm., Subfigura d: 20 – 40 cm

Figura 27: Evolución de la concentración del azufre de sulfatos en miligramos por kilo a distintas profundidades, Subfigura a: 0-5 cm, Subfigura b: 5 – 10 cm, Subfigura c: 10 – 20 cm., Subfigura d: 20 – 40 cm

Figura 28: Evolución del pH a distintas profundidades, Subfigura a: 0-5 cm, Subfigura b: 5 – 10 cm, Subfigura c: 10 – 20 cm., Subfigura d: 20 – 40 cm

V. ABREVIATURAS

AER	Agencia de Extensión Rural
AUD	Agua útil disponible
AUDi	Agua útil disponible inicial
AUDf	Agua útil disponible final
AUM	Agua útil máxima
C	Carbono
cc H ₂ O.cc suelo	Centímetros cúbicos de agua por centímetros cúbicos de suelo
CC	Cultivos de cobertura
CCC	Con cultivos de cobertura
CE	Coefficiente de escurrimiento
CH	Costo hídrico
cm	Centímetro
cm ³	Centímetro cúbico
cm ³ .ha ⁻¹	Centímetro cúbico por hectárea
C:N	Relación Carbono/Nitrógeno
CO	Carbono orgánico
COP	Carbono orgánico particulado
COP/COT	Relación Carbono orgánico particulado/ Carbono orgánico total
COT	Carbono orgánico total
Dap	Densidad aparente
dds	Días después de la siembra
Es	Escurrimiento
EUA	Eficiencia de uso del agua
FAL	Franco arcillo limosa
FL	Franco limosa
g	Gramos
g.ha ⁻¹	Gramo por hectárea
g.kg ⁻¹	Gramos por kilogramo
g.cm ⁻³	Gramo por centímetro cúbico
g.m ⁻²	Gramos por metro cuadrado
ha/s	Hectárea/s
HP	Caballos de fuerza

IA	Infiltración acumulada
IEA	Índice de estabilidad de agregados
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
k	Coeficiente de escurrimiento
$\text{KJ.ha}^{-1}.\text{mm}^{-1}$	Kilo joules por hectárea por milímetro
Kg.ha^{-1}	Kilogramos por hectárea
Kg MS.mm^{-1}	Kilos de materia seca por milímetro
l	Litro
l.ha^{-1}	Litros por hectárea
L.Str.	Límite de estrés hídrico
m	Metro
m^2	Metro cuadrado
meq.100 g^{-1}	Miliequivalentes cada cien gramos de suelo
Mg.ha^{-1}	Megagramos por hectárea
mg.kg^{-1}	Miligramos por kilogramo
mg.m^{-2}	Miligramos por metro cuadrado
min	Minutos
mm	Milímetros
mm.h^{-1}	Milímetros por hora
MO	Materia orgánica
MS	Materia seca
N	Nitrógeno
NG	Número de granos
Nt	Nitrógeno total
Pe	Fósforo extractable
P_{1000}	Peso de mil granos
Pls.m^{-2}	Plantas por metro cuadrado
PP	Precipitaciones
Pr	Precipitación
psi	Libras por pulgada cuadrada
PVC	Policluro de vinilo
RR	Rugosidad superficial
RUSLE	Ecuación universal de pérdida de suelo revisada
RI	Primera repetición
RII	Segunda repetición

RIII	Tercera repetición
R1	Estadío de floración en soja
R5	Estadío de inicio de llenado de granos en soja
R6	Estadío de madurez fisiológica en soja
SAS	Sistema de análisis estadístico (Statistical analysis system)
SCC	Sin cultivos de cobertura
SD	Siembra directa
S-SO4	Azufre de sulfatos
TA	Variable clasificatoria ó Efecto Tratamiento por Ambiente
Ti	Tiempo de inicio de escurrimiento
UC	Uso consuntivo
USLE	Ecuación universal de pérdida de suelo
V	Voltios
µm	Micra
°C	Grados centígrados
%	Porcentaje

VII. RESUMEN

El monocultivo de soja (*Glycine max (L.) Merr.*) que se desarrolla actualmente en una gran superficie del área cultivada de la región pampeana húmeda argentina, afecta la sustentabilidad de sus ambientes agrícolas. El deterioro de las propiedades físico-químicas de los suelos y la falta de aprovechamiento de una parte sustancial de los recursos disponibles, como agua y nutrientes, se suma al daño provocado por los procesos de erosión hídrica, de difícil reparación. La inclusión de un cultivo de cobertura (CC) invernal podría mejorar la calidad de los suelos, incorporar al sistema los recursos ambientales no aprovechados y disminuir los procesos erosivos, favoreciendo la productividad del cultivo de renta. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de un cultivo de cobertura sobre algunas propiedades edáficas, uso del agua, control de la erosión y en la productividad del cultivo de soja en monocultivo, en suelos erosionados.

El estudio se realizó en Cañada de Gómez, provincia de Santa Fe, durante la campaña agrícola 2012/2013. El experimento se desarrolló sobre un suelo Argiudol típico, con un diseño de parcelas divididas, donde las parcelas mayores fueron los ambientes del sitio experimental, diferenciados por su relieve en Loma, Media Loma y Bajo y las parcelas menores fueron los tratamientos de cobertura, que tuvieron dos niveles, sin cultivos de cobertura (SCC) y con cultivos de cobertura (CCC). Los CC consistieron en una mezcla de avena (*Avena sativa L.*) y vicia (*Vicia sativa L.*). Se evaluó carbono orgánico total (COT) en gramos por kilogramo (g.kg^{-1}), carbono orgánico particulado (COP) fracción > 53 micras (μm) en g.kg^{-1} , nitrógeno total (Nt) en g.kg^{-1} , fósforo extractable (Pe) en miligramos por kilogramo (mg.kg^{-1}), azufre de sulfatos (S-SO₄) en mg.kg^{-1} , pH, textura en porcentaje (%), densidad aparente (Dap) en gramos por centímetro cúbico (g.cm^{-3}) y estabilidad estructural (IEA) en %, en distintas profundidades de suelo y diferentes momentos del estudio, desde la siembra de los CC hasta la madurez fisiológica de la soja. Sobre los datos obtenidos se calculó la relación carbono/nitrógeno (C:N) y la relación COP/COT. Se midió la producción de materia seca (MS) en megagramos por hectárea (Mg.ha^{-1}) y el contenido de carbono (C) en Mg.ha^{-1} , sobre la biomasa aérea de los CC, al momento de su secado y en la biomasa aérea vegetativa y reproductiva de la soja, en el estadio fenológico de madurez fisiológica (R6). Se evaluó el agua útil disponible (AUD) en milímetros (mm) hasta dos metros de profundidad, en diferentes momentos de los ciclos de los CC y de la soja. Se calculó el costo hídrico (CH) en mm, uso consuntivo (UC) en mm y eficiencia de uso del agua (EUA) en kilogramos de materia seca por milímetro (kg MS.mm^{-1}) de los CC. Se midió la cobertura superficial en % y la rugosidad superficial (RR) en milímetros (mm), en diferentes momentos del estudio.

Se realizaron tests de erosión hídrica, en inicios de floración del cultivo de soja, en donde se midió el agua útil disponible antecedente en el espesor 0-20 centímetros (cm) en mm y el tiempo de inicio del escurrimiento (Ti) en minutos (min). Se elaboraron hidrogramas en milímetros por hora (mm.h^{-1}) cada cinco min, en base a los caudales de escurrimiento, se midió la pérdida total de agua por escurrimiento superficial en % del agua aplicada, se calculó el coeficiente de escurrimiento (CE), en % de la cantidad total de agua escurrida sobre la cantidad total de agua aplicada, se calculó la infiltración acumulada (IA) en mm, en base a la diferencia acumulada cada cinco minutos entre agua aplicada y agua escurrida y se midió la pérdida total de suelo en kilogramos por hectárea (kg.ha^{-1}).

Sobre los sedimentos erosionados se determinó la concentración de materia orgánica (MO), carbono orgánico (CO) y Nt en g.kg^{-1} , de Pe en mg.kg^{-1} , de arena, limo y arcilla en g.kg^{-1} y el pH. Se calculó la tasa de enriquecimiento de MO, CO, Nt y Pe y la variación de pH y textura en los sedimentos erosionados, respecto del espesor de 0 a 5 centímetros del suelo. Se calcularon las pérdidas totales de MO, CO y Nt, en kg.ha^{-1} y de Pe en gramos por hectárea (g.ha^{-1}). Se midió el rendimiento del cultivo de soja en kg.ha^{-1} y se registró el número de granos. m^{-2} (NG) y el peso de mil granos (P_{1000}) en gramos (g), como componentes de rendimiento.

En todos los ambientes se registraron incrementos de COT y COP desde la siembra de la soja y hasta el fin del estudio, del Nt y del pH en el momento de siembra del cultivo de soja y del S-SO₄ en madurez fisiológica del cultivo. Estos aumentos sólo se hallaron en 0-5 cm de profundidad, marcándose un proceso de estratificación, por enriquecimiento superficial respecto de los estratos más profundos. El Pe fue menor durante todo el estudio, en las parcelas CCC respecto de las parcelas SCC, si bien no significativamente y mostró una elevada estratificación superficial. En la mayoría de las determinaciones, el ambiente Media Loma presentó desde el inicio del trabajo, un mayor deterioro de todas sus propiedades químicas y físicas, respecto de los ambientes Loma y Bajo. El IEA mostró una respuesta positiva a la incorporación de los CC y la Dap sólo presentó efecto a siembra de la soja. La MS de los CC varió entre 5,5 y 6,7 Mg.ha^{-1} según ambientes, con un contenido de C de 2,2 a 2,6 Mg.ha^{-1} . La MS y el contenido de C de las vainas con granos de soja en el estadio fenológico R6, fue superior en las parcelas CCC. Las reservas de AUD consumidas por los CC se recuperaron con las lluvias registradas durante el barbecho previo a la siembra de soja, y en los estadios de floración (R1) e inicio de llenado de granos (R5) de soja, el AUD en las parcelas CCC fue superior al de las parcelas SCC. El UC fue superior en las parcelas CCC, mientras el CH y la EUA de los CC no mostraron diferencias entre ambientes.

La cobertura superficial y la RR fueron incrementadas por los CC. Durante la aplicación de las lluvias simuladas, el Ti se retrasó y las pérdidas totales de agua y suelo disminuyeron, debido a la presencia de la cubierta vegetal. La concentración de MO, CO, nutrientes y de la fracción arcilla en los sedimentos erosionados, fue superior a la del suelo de origen en superficie, y las cantidades totales de MO, CO y nutrientes perdidas por erosión, fueron menores en las parcelas CCC. Se registró un incremento del rendimiento de soja en todas las parcelas CCC. Los CC constituyen una práctica recomendable para mejorar propiedades físico-químicas de los suelos, producir MS y captar C a expensas de los recursos no aprovechados en sistemas de monocultivo de soja, como así también para disminuir las pérdidas por erosión hídrica, favoreciendo la productividad del cultivo de renta en ambientes agrícolas de la región pampeana húmeda argentina.

Palabras claves: cultivos de cobertura, monocultivo, propiedades edáficas, agua, erosión hídrica.

IX. ABSTRACT

EFFECTS OF COVER CROPS ON SOIL PROPERTIES AND USE OF WATER IN ENVIRONMENTS WITH WATER EROSION AND SOYBEAN MONOCULTURE, IN SOUTHERN PROVINCE OF SANTA FE

Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) monoculture affects sustainability of agricultural environments in the Argentinean Humid Pampas Region. The under-utilisation of resources, like water and nutrients, is added to the deterioration of physico-chemical soil properties and to the damage caused by the process of water erosion. The inclusion of a winter cover crop (CC) could incorporate to the system these wasted resources, improve soil quality and reduce erosive processes, increasing the productivity of the soybean crop. The objective of this study was to evaluate the effect of the inclusion of a winter CC in a soybean-soybean sequence, on some physical and chemical soil properties, the use of water, the water erosive processes and crop productivity. The inclusion of the CC improved some physical and chemical properties and the use of the available water. The loss of water, soil and nutrients caused by water erosion was reduced and soybean showed higher grain yields.

1. INTRODUCCIÓN

El concepto de agricultura sustentable es una respuesta relativamente reciente a la declinación en la calidad de los recursos naturales, asociada con la agricultura moderna. Este concepto ha dado lugar a mucha discusión y ha promovido la necesidad de proponer ajustes mayores en la agricultura convencional para hacerla más viable y compatible con lo ambiental, social y económico (Altieri, 2001).

La agricultura sostenible generalmente se refiere a un modo de agricultura que intenta proporcionar rendimientos sostenidos a largo plazo, mediante el uso de tecnologías ecológicas de manejo. Esto requiere que el sistema agrícola sea considerado como un ecosistema debido a que la agricultura, bajo un razonamiento lógico, no está orientada hacia la búsqueda de altos rendimientos de un producto en particular, sino a la optimización del sistema como un todo (Thrupp, 1996, citado por Bolívar, 2011).

Si no se consideran prácticas adecuadas de conservación de suelos, la realización de actividades agropecuarias y forestales, puede ocasionar el deterioro de los recursos naturales y generar impactos negativos sobre el medio ambiente y la infraestructura para el desarrollo, como pérdida de la fertilidad del suelo, erosión, obstrucción de caminos y acumulación de lodo en depósitos acuíferos (Serrano Altamirano y Cano García, 2007).

Según Dechen et al. (2004), la degradación del suelo puede ser entendida como la reducción de su calidad y productividad, debido principalmente a acciones inducidas por el hombre. La consecuencia de esto es la pérdida de la sustentabilidad, traducida en una disminución de la capacidad del suelo de producir en determinado sistema de manejo. El uso de la tierra para fines agrícolas es una de las principales causas de degradación del suelo, y por lo tanto existe un gran interés en la cuantificación de la pérdida de calidad del suelo generada por el manejo agrícola (Lal et al., 1998, citados por Duval et al., 2016).

De acuerdo con Paruelo et al. (2005), en la región pampeana argentina, incorporada a la agricultura a principios del siglo veinte, los cultivos anuales no avanzaron tanto sobre vegetación natural, sino que reemplazaron cultivos perennes, mayoritariamente pasturas sembradas, compuestas por alfalfa y otras forrajeras, que antes ocupaban los potreros durante cuatro a cinco años, en alternancia con un número similar de años de cultivos anuales.

Desde principios de la década del 90 del siglo veinte, se registró un avance sostenido en la producción agrícola nacional, con un crecimiento extraordinario de la superficie destinada al cultivo de soja en la región pampeana y extrapampeana. Esta situación se potenció con la rápida incorporación de la soja transgénica asociada al sistema de siembra directa, que permitió su cultivo en áreas marginales y en suelos con limitaciones para la agricultura convencional (Casas, 2007). El uso de monocultivos sin la incorporación de residuos, en conjunto con la utilización de fertilizantes artificiales para compensar los nutrientes perdidos, ha sido una de las causas más comunes a las que se le adjudica la disminución de los niveles de la MO de los suelos (Körschens et al., 1998, citados por Clunes et al., 2014).

Teniendo en cuenta los limitados aportes de rastrojos del cultivo de soja junto con su baja relación carbono/nitrógeno (C:N), su participación en las rotaciones agrícolas afectaría a la conservación de los contenidos de materia orgánica (MO) y al mantenimiento de adecuados niveles de cobertura (Ruffo, 2003, citado por Scianca et al., 2008)). Esto podría llevar en el largo plazo al deterioro físico y químico de los suelos (Scianca et al., 2008). En este sentido, se reportó que los suelos franco limosos de la Pampa Ondulada argentina bajo siembra directa (SD) con predominio de soja, registran una progresiva disminución de su fertilidad física y química (Lavado, 2006, citado por Restovich et al., 2011).

Por otra parte, una gran proporción de la oferta anual de recursos del ambiente útiles para la productividad agrícola, principalmente agua y radiación solar, son desaprovechados al realizar un solo cultivo por año, lo que torna en sumamente ineficientes a los actuales sistemas productivos (Caviglia et al., 2004). Con similar enfoque, Ernst (2004), explica que los sistemas de producción que se basan en un cultivo por año, generan tiempos de barbecho excesivamente largos, en los que se aumenta la probabilidad de tener pérdidas de suelo y nutrientes por erosión.

En Argentina, el grado de deterioro actual de los suelos debido a la erosión hídrica es de variada intensidad. Se estima que en los últimos 30 años, la degradación por esta causa en todo el país se incrementó en 250.000 hectáreas por año y la gravedad del problema se manifiesta en una superficie de 1.600.000 hectáreas degradadas por acción del agua, lo cual representa el 36% de la superficie de la Pampa Húmeda (Marelli et al., 2006).

La causa fundamental de la erosión hídrica en las tierras cultivadas es la acción de las lluvias directamente sobre el suelo. De esta forma, la pérdida de suelo debida a este fenómeno, va a depender de la combinación de la erosividad, definida como el potencial de la lluvia para erosionar el suelo, con la erodibilidad del mismo, o sea su capacidad de resistir la acción de las precipitaciones (Wischmeier y Smith, 1978; Hudson, 1995).

Debido a que la erosión es un proceso predominante de superficie, las condiciones físicas de la capa edáfica superficial - externas e internas - son las que determinarán las pérdidas totales de suelo y agua causadas. Básicamente, esas condiciones dependerán del tipo de uso de la tierra y de la forma como el suelo y los cultivos son manejados, los cuales inducen diferentes grados de cobertura y rugosidad superficiales (Bagatini et al., 2011).

La cobertura del suelo proporcionada por los residuos de cultivos dejados en superficie (Siqueira Leite et al., 2009) tiene acción directa y efectiva en la reducción de la erosión hídrica, en virtud de la disipación de la energía cinética de las gotas de lluvia, lo cual disminuye la desagregación de las partículas del suelo y el sellamiento superficial y aumenta la infiltración del agua. Estos autores consideran que la presencia de residuos sobre el suelo también actúa en la reducción de la velocidad del escurrimiento superficial y consecuentemente en la capacidad erosiva del mismo.

La utilización del abono verde como práctica agrícola, conocida ya antes de la era cristiana, consistía en la incorporación al suelo de masa vegetal no descompuesta, con la finalidad de conservar y/o recuperar la productividad de las tierras agrícolas. Con el objetivo de

diferenciarlos de los abonos verdes, es conveniente mencionar que los cultivos de cobertura (CC) son cultivos sembrados entre dos cultivos de cosecha y no son incorporados al suelo, pastoreados (habitualmente) ni cosechados. Los residuos de los CC quedan en superficie, liberando los contenidos de la masa vegetal al descomponerse (Montico, 2007).

La inclusión de un CC durante este período, normalmente improductivo, permite mantener el suelo cubierto, reciclar nutrientes y producir un nuevo ingreso de rastrojo al sistema. Cuando el CC utilizado es una leguminosa, se logra además un ingreso adicional de nitrógeno (N), lo que puede representar una ventaja económica agregada (Ernst, 2004).

La biomasa aérea producida por el CC permanece entera y anclada al suelo a través de sus raíces y de esta forma no será arrastrada por los escurrimientos superficiales, como sucede con los residuos de los cultivos de renta, que son trozados por la cosechadora. Dentro del suelo, las raíces favorecen la cohesión y aireación y luego de la supresión de su crecimiento se descomponen, dejando conductos que facilitan el ingreso del agua a todo el perfil explorado por ellas. La utilización de CC para mejorar biológicamente estados estructurales degradados bajo SD continua, es una práctica usualmente utilizada en el sur de Brasil y en Paraguay (Calegari et al., 1993; Campos et al., 1999; Derpsch, 1999, citados por Sasal y Andriulo, 2005).

La evaporación es el principal factor de pérdida de agua de los suelos (Quiroga et al., 2005) estimándose que entre el 50 y 70 % de la precipitación anual retorna directamente a la atmósfera sin intervenir en el proceso productivo. La pérdida de agua por evaporación desde la superficie del suelo, puede reducirse con coberturas vivas como CC, que al aumentar la transpiración, reasignan el agua potencialmente evaporada al flujo transpiratorio de las plantas (Lu et al., 2000, citados por Carfagno et al., 2013a).

En el sur de los Departamentos Belgrano e Iriondo de la Provincia de Santa Fe, en la República Argentina, se ubica un área de paisaje fuertemente ondulado con pendiente general hacia los cauces del Arroyo Tortugas, el Río Carcarañá y la Cañada de Gómez, con gradientes del 1 al 3 %. Estas fuertes pendientes por su gradiente y también por su longitud, son las que históricamente originaron una severa erosión hídrica, siendo sus efectos sobre el suelo la limitación agronómica más grave que actualmente presenta el área. La naturaleza de los materiales originarios de los suelos conserva en toda el área, características similares a las observadas en el resto de la Pampa Ondulada. Éstos están constituidos por un manto de sedimentos loésicos con predominio de las fracciones muy finas, limos y arcillas. La textura dominante es franco-limosa. Los suelos predominantes son Argiudoles típicos (INTA, 1988).

En las últimas décadas, la agricultura en la provincia de Santa Fe atravesó por grandes cambios. Según datos del Ministerio de Agroindustria de la Nación (2017), la superficie agrícola provincial pasó de ocupar 3.679.511 a 5.235.357 has entre las campañas 1979/80 y 2015/16. Esta gran expansión del área agrícola estuvo acompañada de cambios en los cultivos sembrados. En tanto la soja de primera época de siembra creció de 158.000 has a 2.821.782 has, la suma de las superficies de trigo y maíz pasó de 1.305.500 a 1.276.300 has. En este período, en los Departamentos Belgrano e Iriondo, la soja de primera aumentó

de 51.000 a 355.278 has, mientras que el área ocupada por las dos gramíneas pasó de 189.000 a 111.295 has totales. El más afectado por estos cambios fue el cultivo de trigo que perdió un 57 % del área sembrada.

En las rotaciones agrícolas en siembra directa difundidas en la región, los cultivos de trigo y maíz proveían a los suelos de importantes cantidades de rastrojos luego de su cosecha. A partir del fuerte predominio de la soja, la ausencia de cobertura comienza a visualizarse como una limitante para estos sistemas de producción. La problemática se agrava en áreas onduladas, donde gran parte del agua de las lluvias de primavera escurre hacia las zonas bajas de los lotes, arrastrando el escaso rastrojo remanente. Así, la soja sembrada a continuación emerge en suelos casi descubiertos (Capurro et al., 2010).

Por lo expuesto hasta aquí surge que, en esta importante región productiva argentina, resultaría relevante generar información que vincule los efectos de los CC con mejoras en las propiedades físico-químicas de los suelos, un uso más eficiente de los recursos ambientales disponibles e incrementos en la productividad del cultivo de soja, sobre tierras erosionadas.

2. HIPÓTESIS

Cultivos de cobertura de invierno intercalados en la secuencia soja-soja en ambientes erosionables, impactan favorablemente sobre propiedades edáficas, aprovechan recursos ambientales no utilizados, mitigan la erosión hídrica y favorecen la productividad del cultivo de soja.

3.OBJETIVOS

3.1.GENERAL

Evaluar el efecto de un cultivo de cobertura sobre algunas propiedades edáficas, uso del agua, control de la erosión y en la productividad del cultivo de soja en monocultivo, en suelos erosionados.

3.2. ESPECÍFICOS

- 3.2.1. Evaluar el efecto del CC sobre el suelo, a través del seguimiento de algunas propiedades químicas y físicas.
- 3.2.2. Evaluar la producción de MS y fijación de C del CC y del cultivo de soja y su impacto sobre el uso del AUD en el perfil del suelo.
- 3.2.3. Medir el efecto del CC sobre las pérdidas de agua, suelo, materia orgánica y nutrientes provocadas por erosión hídrica, a través de la aplicación de lluvias simuladas.
- 3.2.4. Determinar el efecto de la inclusión del CC sobre el rendimiento del cultivo de soja.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación y características del sitio experimental

El sitio experimental (32° 52' 33" Sur y 61° 26' 59" Oeste, altitud media de 114 m), se ubicó en el Distrito Cañada de Gómez, Departamento Iriondo, Provincia de Santa Fe de la República Argentina. El clima es templado, sin gran amplitud térmica anual. En la Tabla 1 se indican los valores medios y extremos de temperatura, humedad relativa y heladas de la estación Rosario del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, 1988).

Tabla 1. Valores medios y extremos de temperatura, humedad relativa y heladas de la Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja 3360-13 y 14. Cañada de Gómez y Rosario. Período 1901-1980

Variables Climáticas	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
Temperatura media °C	24,4	23,6	21,5	17,5	14,8	10,7	10,8	11,8	14,3	17,2	20,4	23,1	17,5
Temperatura máxima absoluta °C	43,5	41,0	38,7	35,4	31,3	29,6	31,3	33,4	35,6	39,1	39,5	41,5	43,5
Temperatura máxima media °C	31,2	30,3	27,6	23,4	19,6	16,0	16,0	17,6	20,4	23,2	26,9	29,6	23,5
Temperatura mínima media °C	18,6	18,1	16,5	12,9	9,7	6,5	6,3	6,7	8,8	11,6	14,4	17,0	12,3
Temperatura mínima absoluta °C	7,0	5,6	2,4	-1,5	-5,6	-8,1	-8,8	-5,8	-6,3	-1,2	1,2	4,2	-8,8
Humedad relativa media %	67	70	74	78	81	80	79	74	72	71	70	68	74
Frecuencia media de días con heladas	0	0	0	0,1	1,3	4,4	5,2	3,6	1,2	0,2	0	0	16,0
	Primeras heladas				Últimas heladas				Período medio libre de heladas				
Heladas	Fecha media		Variabilidad		Fecha media		Variabilidad		275 días				
	3 Junio		(+/-) 20 días		4 Septiembre		(+/-) 25 días						

Según la Clasificación Climática de Thornthwaite (Thornthwaite y Mather, 1955), el clima de la región es de tipo subhúmedo a húmedo. El régimen pluviométrico tiende a ser monzónico, con un 70 % de las lluvias concentradas en el verano, de octubre a marzo. En la Figura 1 se muestran los valores medios de precipitaciones en Cañada de Gómez (datos INTA AER Cañada de Gómez, no publicados), correspondientes al período 1957/2012 y los registros de las lluvias caídas durante el período de estudio, 2012/2013.

Durante el crecimiento de los CC se identificaron dos fases con diferentes condiciones climáticas, una etapa inicial seca – de mayo a julio de 2012 – con precipitaciones 37 % inferiores a la media histórica de la región, y una etapa final húmeda – de agosto a octubre de 2012 - con lluvias 120 % por encima de los registros normales de la época. Durante el crecimiento del cultivo de soja también se dieron dos períodos contrastados, una etapa inicial húmeda - de noviembre a diciembre de 2012 – y una etapa final seca - de enero a marzo de 2013 - con precipitaciones 58 % inferiores a la media histórica.

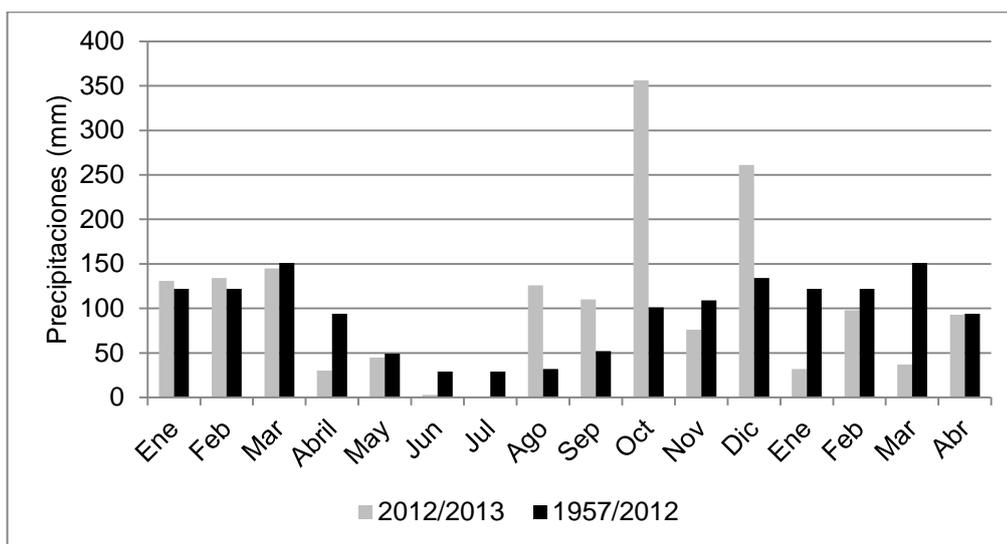


Figura 1. Precipitaciones medias en milímetros del período 1957/2012 y del período enero 2012/abril 2013

El estudio se realizó en un suelo Argiudol típico serie Correa, en su fase moderadamente erosionada (Crr 3). En la Tabla 2 se detallan los datos analíticos del perfil típico de dicha serie (INTA, 1988). El sitio experimental tuvo un manejo de agricultura continua durante 25 años y monocultivo de soja de primera en siembra directa, durante los últimos diez años.

Tabla 2. Serie Correa (Argiudol típico). Datos analíticos del perfil típico de la Hoja 3360-13 y 14.

Horizonte	Ap	B1	B21t	B22t	B3	C1	C2ca	
Prof. (cm)	4 - 14	16 - 24	28 - 40	57 - 67	80 - 90	120 - 133	145 - 155	
MO (%)	2,60	2,26	1,22	0,72	0,26	0,16	0,10	
pH agua (1:2,5)	5,1	5,4	5,7	6,0	6,1	6,9	7,6	
CIC (meq 100 g ⁻¹)	20,5	22,5	28,0	27,8	24,1	25,3	20,5	
Cationes intercamb (meq.100 g ⁻¹)	Ca++	13,0	14,2	18,1	18,9	16,2	18,9	-
	Mg++	2,1	3,1	4,1	4,1	3,7	2,9	-
	K+	1,1	1,1	1,4	1,7	1,6	1,7	2,0
	Na+	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2
Textura (%)	Arcilla	23,5	29,8	38,0	34,4	20,5	12,5	15,4
	Limo	69,5	65,2	58,8	60,0	72,0	78,5	77,1
	Arena	7,0	5,0	3,2	5,6	7,5	9,0	7,5

4.2. Diseño Experimental y tratamientos evaluados

El ensayo se realizó siguiendo un diseño en parcelas divididas. Las parcelas mayores correspondieron al factor ambiente con tres niveles: Loma (ambiente con relieve subnormal, con pendiente media de 0,15 % y sin erosión hídrica), Media Loma (ambiente de relieve normal, con una pendiente media de 0,9 %, con erosión moderada y una pérdida de hasta el 25 % del horizonte superficial) y Bajo (ambiente subnormal a cóncavo - pendiente media <0,1 % - con recepción y acumulación de sedimentos y sin erosión hídrica) y las parcelas menores correspondieron al subfactor tratamiento, con dos niveles: CCC (con cultivos de cobertura) y SCC (sin cultivos de cobertura).

De esta forma, quedaron definidas seis combinaciones de ambientes y tratamientos: Loma SCC, Loma CCC, Media Loma SCC, Media Loma CCC, Bajo SCC y Bajo CCC. Las dimensiones de cada parcela fueron de 30 m por 50 m, y se distribuyeron en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones.

La siembra de los CC y del cultivo de soja y las aplicaciones de fitosanitarios, fueron efectuadas siempre en el sentido del declive, conforme a la filosofía de obtención del factor cobertura y manejo del suelo del modelo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo/Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (USLE/RUSLE) de predicción de la erosión. De esta forma se aisló el efecto de la siembra en contorno o cortando la pendiente y se evitó la confusión de variables.

Las variables químicas y físicas superficiales y subsuperficiales evaluadas, a excepción de las tomadas durante los tests de lluvias simuladas, fueron registradas en distintos momentos del estudio - según se detalla en cada variable - de manera que se obtuvieron medidas repetidas en el tiempo.

4.3. Manejo del cultivo de cobertura

En pre-siembra del CC se eliminaron las malezas emergidas en todas las parcelas con una aplicación de 1,35 kg.ha⁻¹ de Glifosato SG 74,7 % (679 g de equivalente ácido) sin mezclas con otros herbicidas, a fin de evitar posibles daños por fitotoxicidad a la especie leguminosa a implantar.

Se implantó una mezcla de avena (*Avena sativa* L.) (Peso de 1000 semillas: 33 g) y vicia (*Vicia sativa* L.) (Peso de 1000 semillas: 59 g) con una densidad de siembra de 88 kg.ha⁻¹, a fin de lograr 200 plantas por metro cuadrado (pls.m⁻²) y una relación de consociación 50:50 de cada especie

La semilla de vicia fue inoculada con *Rhizobium leguminosarum bv.viciae*, con una dosis de 110 g de inoculante cada 25 kg de semilla, utilizando el método semihúmedo. El mismo consistió en humedecer la semilla con una solución de 250 cm³ de agua y 25 g de azúcar

cada 25 kg de semilla y posteriormente espolvorear con el inoculante. Luego se procedió a homogeneizar la mezcla así preparada de semilla+inoculante.

La siembra del CC se realizó el 8 de mayo de 2012 con una sembradora de siembra directa de grano fino, con líneas de siembra separadas a 0,175 m y abresurcos de doble disco plano.

Las parcelas SCC se mantuvieron libres de malezas mediante la aplicación de 1,2 kg.ha⁻¹ de Glifosato SG 74,7 % (679 g de equivalente ácido), 0,2 l.ha⁻¹ de 2,4 D sal dimetilamina (60 g de equivalente ácido) y 5,5 g.ha⁻¹ de Metsulfuronmetil PM (60 g de equivalente ácido). La aplicación de herbicidas se realizó el 12 de Julio de 2012, con un equipo pulverizador autopropulsado con pastillas tipo abanico plano, presión de trabajo de 3 bares y 40 litros por hectárea (l.ha⁻¹) de caudal de agua.

El ciclo de crecimiento del CC fue de 155 días, desde la emergencia hasta la supresión de su crecimiento. El 13 de octubre de 2012, en estadio de plena floración del CC (vicia 70%; avena 100%) se aplicaron 2,5 l.ha⁻¹ de Glifosato SL 48% (360 g de equivalente ácido) y 0,7 l.ha⁻¹ de 2,4 D sal dimetilamina (60 g de equivalente ácido) para efectuar el secado de las plantas. La pulverización se realizó con un equipo pulverizador autopropulsado con pastillas tipo cono hueco, presión de trabajo de 8 bares y 100 l.ha⁻¹ de caudal de agua.

4.4. Manejo del cultivo de soja

La siembra del cultivo de soja se efectuó el 10 de Noviembre de 2012, con una sembradora de siembra directa de grano grueso, con líneas de siembra separadas a 0,525 m, cuchillas turbo, doble disco plantador y placas monograno.

Se implantó el cultivar ADM 4210 (Grupo IV corto Indeterminado), a una densidad de 34 semillas por metro cuadrado (18 semillas por metro lineal a 0,525 m entre líneas de siembra). La semilla de soja fue previamente inoculada con *Bradyrhizobium japonicum*, con una dosis de 200 g de inoculante cada 50 kg de semilla y tratada con curasemillas, con una dosis de 100 cm³ cada 100 kg de semilla de una suspensión concentrada al 35% en base a Fludioxinil 25 y Metalaxil M10.

El control de malezas en postemergencia del cultivo de soja se realizó mediante dos aplicaciones de herbicidas, con 1,3 l.ha⁻¹ de Glifosato SL al 66,2 % (540 g de equivalente ácido), efectuadas los días 1 de diciembre de 2012 y 2 de enero de 2013, con las plantas del cultivo en estadios vegetativo e inicios de fructificación, respectivamente. Los herbicidas se aplicaron con un equipo pulverizador autopropulsado con pastillas tipo abanico plano, presión de trabajo de 3 bares y 40 l.ha⁻¹ de caudal de agua.

El control de plagas insectiles del cultivo de soja se efectuó en dos momentos. El 25 de enero de 2013 se aplicaron 30 centímetros cúbicos por hectárea (cm³.ha⁻¹) de una suspensión concentrada de Clorantraniliprol al 20% para el control de orugas defoliadoras

(*Rachiplusia nu* y *Colias lesbia*) y el 13 de febrero de 2013 se aplicaron 250 cm³.ha⁻¹ de Tianatoxam (141 gramos por litro) y Lambdacihalotrina (106 gramos por litro) para el control de chinches (*Nezara viridula* y *Piezodorus güilldini*). Los insecticidas se aplicaron con un equipo pulverizador autopropulsado con pastillas tipo cono hueco, presión de trabajo de 8 bares y 100 l.ha⁻¹ de caudal de agua. La cosecha del cultivo de soja se realizó el 7 de abril de 2013 con una cosechadora autopropulsada.

4.5. Evaluación de propiedades químicas del suelo

Se extrajeron muestras compuestas de suelo a 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm y 20-40 cm de profundidad, en cuatro momentos del estudio: en siembra de los CC, en siembra de soja, en floración de soja y en madurez fisiológica de soja. Sobre estas muestras se determinaron las concentraciones de: COT (carbono orgánico total) (g.kg⁻¹) por combustión húmeda según el método de Walkley y Black (1934), Nt (nitrógeno total) (g.kg⁻¹) según el método de Kjeldhal (1883), Pe (fósforo extractable) (mg.kg⁻¹) por el método Bray I (Bray y Kurtz, 1945), S-SO₄ (azufre de sulfatos) (mg.kg⁻¹) por el método turbidimétrico y la reacción del suelo (pH) por el método suelo/agua: 1/ 2,5. La relación carbono/nitrógeno (C/N) se obtuvo mediante el cociente entre COT/Nt.

Sobre una alícuota de las muestras compuestas de suelo a 0-5 cm, 5-10 cm y 10-20 cm, extraídas en siembra de CC, siembra de soja y floración de soja, se determinó la concentración de COP > 53 μm (carbono orgánico particulado, fracción mayor a 53 micras) por el método de fraccionamiento granulométrico de Cambardella & Elliot (1992) modificado. Este valor se expresó en masa (g.kg⁻¹). En estas muestras se calculó la relación COP/COT, mediante la siguiente fórmula:

$$\text{COP/COT} = \text{COP (g.kg}^{-1}\text{)} / \text{COT (g.kg}^{-1}\text{)}$$

4.6. Evaluación de propiedades físicas sub-superficiales del suelo

4.6.1. Textura

Se extrajeron muestras compuestas de suelo en Loma, Media Loma y Bajo, a 0-5 cm, 5-10 cm y 10-20 cm de profundidad en presiembra de los CC y se analizó la textura, mediante la distribución del tamaño de partículas por sedimentación, por el método de la Pipeta de Robinson (1922).

4.6.2. Densidad aparente

Se extrajeron tres submuestras en cada parcela a : 0-6 cm, 6-12 cm, 12-18 cm, 18-24 cm, 24-30 cm, 30-36 cm, 36-42 cm y 42-48 cm de profundidad, en tres momentos del estudio: en siembra de CC, en siembra de soja y en floración de soja. Se determinó la Dap (densidad aparente) por el método del cilindro de Blake y Hartge (1986). Se utilizaron cilindros biselados de 6 cm de diámetro y 6 cm de altura. Las muestras se llevaron a estufa de 105 grados centígrados (°C) durante 48 horas y se obtuvo el peso seco. La Dap se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Dap (g.cm}^{-3}\text{)} = \text{ peso suelo seco (g) / volumen del cilindro (cm}^3\text{)}$$

4.6.3. Índice de estabilidad de agregados

Se extrajeron tres muestras por parcela, con pala a 0-10 cm de profundidad, en tres momentos del estudio: siembra de los CC, siembra de soja y floración de soja. Se tomó una muestra de referencia en floración de soja, de un sector no disturbado con vegetación predominante de gramíneas, ubicado en el límite sur del sitio experimental. Se determinó el IEA (índice de estabilidad de agregados) por el método de agitación en agua de agregados de 1-2 mm, de Douglas y Goss (1982) modificado. El índice se calculó por el procedimiento de Kemper (1965), considerando los siguientes intervalos: inestable (<20%), moderadamente estable (20-40%) y estable (>40%).

4.7. Evaluación de la producción de materia seca y contenido de carbono del cultivo de cobertura y del cultivo de soja y agua útil disponible en el perfil del suelo

4.7.1. Materia seca de los cultivos de cobertura

En forma previa al secado de los CC, con las plantas de *Vicia sativa* y *Avena sativa* en el estadio de plena floración, se extrajeron tres muestras de 0,25 metro cuadrado (m²) de la parte aérea del CC en cada parcela. Se obtuvo el peso fresco, se llevó a estufa a 65 °C hasta peso constante y se obtuvo el peso seco. Se calculó la producción de MS en Mg.ha⁻¹. Se determinó la concentración de carbono en porcentaje (% C), con analizador de carbono por combustión seca (LECO-TRUSPEC). Se tomó una alícuota de la MS obtenida y se determinó la concentración de C.

4.7.2. Materia seca del cultivo de soja

En el estadio R6 del cultivo de soja, se extrajeron 3 muestras de 1 metro (m) lineal de surco – 0,525 m² - de parte aérea de plantas en cada parcela. Se obtuvo el peso fresco, se llevó a estufa a 65°C hasta peso constante y se obtuvo el peso seco. Se calculó la producción de MS en Mg.ha⁻¹. Se determinó la concentración de carbono en porcentaje (% C), con analizador de carbono por combustión seca (LECO-TRUSPEC). Se tomó una alícuota de la MS obtenida y se determinó la concentración de C. Durante el ciclo del cultivo se registraron las sucesivas etapas fenológicas de la soja, aplicando la escala de Fehr y Caviness (1977).

4.7.3. Agua útil disponible en el perfil del suelo

Se midió el AUD (agua útil disponible) en mm hasta dos metros de profundidad, con una sonda de neutrones marca Troxler. Las determinaciones se realizaron en cinco momentos del estudio: en siembra de los CC, en secado de los CC, en siembra de soja, en floración de soja (estadio fenológico R1) y en inicio de llenado de los granos de soja (estadio fenológico R5) .

4.7.4. Costo hídrico, uso consuntivo y eficiencia de uso del agua de los cultivos de cobertura.

Se obtuvieron estos parámetros, mediante la aplicación de las siguientes fórmulas:

$$\checkmark \text{ CH (mm)} = \text{AUD SCC} - \text{AUD CCC}$$

Donde: CH es el costo hídrico en mm y AUD SCC y AUD CCC representan el agua útil disponible en las parcelas sin CC y con CC, al momento del secado de los mismos.

$$\checkmark \text{ UC (mm)} = \text{AUDi} + \text{PP} - \text{AUDf}$$

Donde: UC es el uso consuntivo en mm, PP son las precipitaciones acumuladas en mm, durante el período de crecimiento de los CC y AUDi y AUDf representan el agua útil disponible en mm en el suelo, al inicio y al final del período de crecimiento, respectivamente

$$\checkmark \text{ EUA (kg MS. mm}^{-1}\text{)} = \frac{\text{MS}}{\text{UC}}$$

Donde: EUA es la eficiencia de uso del agua en kg MS. mm⁻¹; MS es la producción de materia seca durante el período de crecimiento en kg.ha⁻¹ y UC es el uso consuntivo en mm.

4.8. Evaluación del efecto del cultivo de cobertura sobre la erosión hídrica

4.8.1. Condiciones superficiales del suelo

4.8.1.1. Cobertura superficial

Se evaluó el porcentaje de cobertura vegetal de la superficie del suelo. Se utilizó el método de la transecta lineal ó recta transecta de Laflen et al. (1981), mediante una soga de 10 m de largo con marcas cada 10 cm. Se consideró suelo cubierto cuando una marca coincidía con hojas, tallos ó cualquier tipo de residuo vegetal - tamaño mayor a lápiz - y se consideró suelo sin cobertura cuando la marca coincidía con suelo desnudo sin residuos vegetales. Se realizaron tres mediciones por cada parcela en dos momentos del estudio: en siembra de CC y en principios de floración del cultivo de soja, antes de la aplicación de las lluvias simuladas.

4.8.1.2. Rugosidad superficial

Se evaluó la RR en mm, utilizando un perfilómetro de agujas (Iruetia et al., 2010), que consta de un marco vertical (Foto 17 del Anexo II) con 14 varillas espaciadas cada 3,5 cm. Este se sujetó, con dos abrazaderas laterales, a dos guías horizontales que marcaban, cada 3,5 cm, la distancia de desplazamiento del perfilómetro. Así se obtuvieron las referencias en las dimensiones de las coordenadas "x" e "y". La posición de las varillas de madera y su diferencia con la altura del eje horizontal, determinó las alturas de los distintos puntos registrados, en correspondencia con la altura del terreno.

Debido a la altura alcanzada por los residuos del CC y a fin de evitar aplastamientos del material vegetal, mediante cuatro barras de hierro se elevó el marco del perfilómetro a una altura de 80 cm de la superficie del suelo. Con el mismo objetivo, se reemplazaron las agujas metálicas por varillas de madera de 120 cm de largo. De esta forma en cada estación de muestreo se relevó una cuadrícula con 210 registros de altura. La RR se expresó como el desvío estándar de cada serie de lecturas. Se realizaron tres estaciones de medición en cada parcela. Estas mediciones se realizaron en dos momentos del estudio: en siembra de CC y en principios de floración del cultivo de soja, antes de la aplicación de las lluvias simuladas.

4.8.2. Lluvias simuladas

4.8.2.1. Descripción del simulador de lluvias

El simulador aplica una cantidad de lluvia determinada sobre parcelas de límites conocidos, registrando los escurrimientos generados durante la experiencia. La diferencia entre el agua aplicada y el agua escurrida, representa el agua infiltrada por el suelo.

El equipo consta de una estructura metálica rectangular de 2 m por 1 m, sostenida a 3 m de altura por cuatro soportes telescópicos desmontables (ver Foto 18 del Anexo II). Sobre ese bastidor de hierro se ubican los picos aspersores tipo Veejet 80.100, que oscilan movidos por un brazo mecánico (Foto 19 del Anexo II), accionado por un motor eléctrico de 12 voltios (V).

Cuando el equipo está en actividad, el brazo oscila sobre la parcela a una frecuencia de 24 oscilaciones por minuto, lo que determina la intensidad de la lluvia aplicada. Esta intensidad es controlada por una válvula solenoide, accionada por un temporizador, que regula el tiempo de demora entre pasadas sucesivas de la aspersión.

Dos colectores en forma de embudo, suspendidos en el bastidor, reciben el agua asperjada durante el tiempo de demora y un manómetro indica la presión de trabajo en todo momento (Foto 20 del Anexo II), que es de 0,41 bar, equivalente a 6 libras por pulgada cuadrada (psi, abreviatura del inglés). Meyer y Harmond (1979) especificaron que, considerando la velocidad terminal de las gotas cayendo desde tres metros de altura y con una presión de salida de 6 psi, el pico Veejet 80.100 genera una energía de 200 kilojoules por hectárea por milímetro ($\text{kJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$).

El agua se almacenó en un tanque de 5000 litros (l) de capacidad, situado fuera del lote y se impulsó a través de una manguera flexible de 19 mm de diámetro, mediante una bomba centrífuga acoplada a un motor a combustión de 4 caballos de fuerza (HP). Se dispuso de una cortina plástica protectora, a fin de impedir que las gotas de lluvia puedan ser desplazadas por el viento fuera de la parcela de simulación, lo que hubiese provocado una variación de la distribución y de esta forma, la intensidad de la lluvia aplicada.

4.8.2.2. Procedimiento

Del 10 al 14 de diciembre de 2012, previo a la floración del cultivo de soja, se aplicó una lluvia simulada en cada parcela con el Simulador de Intensidades Múltiples descrito en el punto anterior, que cuantifica el proceso de erosión hídrica (Meyer y Harmon, 1979; Meyer, 1983), adaptado en la EEA INTA Marcos Juárez (Marelli et al., 1986). Las lluvias simuladas fueron aplicadas a una intensidad constante planificada de $60 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ y tuvieron una duración de 1 h.

Se instaló una micro-parcela de medición en cada unidad experimental. La micro-parcela de medición tuvo un área de 1 m² (1m x 1m), con una zona de borde de 0,5 m de ancho y estuvo ubicada en la parte central del área de aspersión. Se delimitaron tres de sus lados con chapas galvanizadas de 20 cm de altura, enterradas 10 cm en el suelo (Fotos 21 y 22 del Anexo II) y en el borde inferior, perpendicular a la dirección de la pendiente, se usó una bandeja aforadora del escurrimiento en forma de vertedero, del mismo material.

Las uniones de las paredes de cada micro-parcela se sellaron con cinta aisladora, para evitar pérdidas de agua y se aprisionó tierra del lado exterior de las chapas para fijarlas y evitar movimientos. Para medir la cantidad de agua aplicada en cada lluvia, se ubicaron dos recipientes colectores dentro de la misma, uno en el centro y otro hacia el borde de la micro-parcela de medición. Luego de cada lluvia, el contenido de cada uno se midió con una probeta graduada y los valores obtenidos se promediaron y llevaron a mm.h⁻¹.

El vertedero de la bandeja aforadora (Foto 23 del Anexo II) se conectó a un caño de policloruro de vinilo (PVC), que condujo el agua escurrida hacia afuera de la micro-parcela - a una distancia aproximada de 1,5 m de la misma - volcándola en baldes dispuestos con el borde superior a nivel de la superficie del suelo. Para ello se excavaron hoyos, de dimensiones algo superiores al tamaño de los baldes - de 10 l de capacidad - que fueron tapizados con material plástico para evitar derramamientos de suelo dentro del recipiente. Los baldes plásticos fueron previamente tarados e identificados.

Las colectas de los volúmenes de agua escurridos se realizaron a intervalos regulares de 5 min. De esta forma, se obtuvieron 12 baldes (Foto 24, 25 y 26 del Anexo II) por cada lluvia de 60 min y un 13º balde que colectó el escurrimiento de cola, hasta 5 min después de finalizada la lluvia. Al final de cada lluvia, los baldes se taparon y sellaron con cinta de papel, para luego proceder a pesarlos con una balanza digital con precisión de 1g. Luego de evaporada el agua del escurrimiento, se pesó el total de sedimentos colectados.

4.8.2.3. Agua útil antecedente en el espesor 0-20 centímetros

Antes del inicio de cada lluvia y luego de su finalización se extrajeron muestras de suelo a 20 cm de profundidad, a fin de determinar el porcentaje de agua gravimétrica inicial y final en g de agua por g de suelo. Para su determinación, las muestras se pesaron en húmedo, se llevaron a estufa a 105°C durante 48 hs y posteriormente se obtuvo su peso seco.

A partir de la humedad gravimétrica antecedente y la Dap del estrato – considerando una Dap media a floración de soja de 1,31; 1,32 y 1,23 g.cm⁻³ para Loma, Media Loma y Bajo, respectivamente – se calculó la humedad volumétrica en centímetros cúbicos de agua por centímetros cúbicos de suelo (cc agua/cc suelo). A partir de la humedad volumétrica y el espesor del estrato en mm, se calculó la lámina de agua actual en mm. Y por medio de la diferencia entre la lámina de agua actual en mm y la lámina de agua para el punto de marchitez permanente en mm, se obtuvo la lámina de agua útil actual.

Para la determinación de las constantes hídricas se utilizó el programa Soil Water Characteristics Hydraulic Properties Calculator (Saxton et al., 1986).

4.8.2.4. Tiempo de inicio del escurrimiento superficial

Se midió con cronómetro a partir del inicio de la lluvia simulada. En cada lluvia simulada se registró el tiempo de inicio del escurrimiento (T_i) en min, a partir del momento en que un hilo continuo de agua comenzó a escurrir dentro del balde colector y la superficie del suelo mostraba encharcamientos.

4.8.2.5. Hidrogramas de escurrimiento superficial

A partir de los valores de las colectas de agua escurrida a intervalos regulares de 5 min, se pudo representar gráficamente la escorrentía en $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$. De esta forma, se construyeron hidrogramas de escurrimiento superficial, durante el transcurso de cada test de erosión. El área bajo el hidrograma, muestra la cantidad total de escurrimiento generado, en el intervalo de tiempo considerado.

Dentro de cada hidrograma, como es usual en estudios de este tipo, se describió el proceso de escurrimiento generado en cada repetición realizada. Cada repetición muestra el efecto de la variación natural del suelo en el transcurso del test de erosión, siendo representativa de las condiciones actuales del mismo.

4.8.2.6. Pérdida total de agua por escurrimiento superficial

Se registró en cada lluvia simulada, la pérdida total de agua y se calculó el porcentaje respectivo sobre la lluvia total aplicada, durante la hora de duración del evento.

4.8.2.7. Coeficiente de escurrimiento

Se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\checkmark \text{ CE ó } k (\%) = \frac{E_s}{P_r} * 100$$

Donde: CE ó k es el coeficiente de escurrimiento (en %); E_s es la lámina escurrida (en mm) y P_r es la precipitación (en mm).

4.8.2.8. Infiltración acumulada

Se calculó como la sumatoria de las diferencias entre el agua aplicada en mm y el agua escurrida en mm, cada cinco minutos, desde el inicio hasta la finalización de la lluvia simulada.

4.8.2.9. Pérdida total de suelo por erosión hídrica

Los sedimentos totales obtenidos en gramos por metro cuadrado (g.m^{-2}) de los escurrimientos de cada lluvia simulada, se secaron a 105°C hasta peso constante y se convirtieron a kg.ha^{-1}

4.8.2.10. Concentración de materia orgánica, carbono orgánico y nutrientes, pH y textura de los sedimentos erosionados.

Sobre las muestras de sedimentos obtenidos en las lluvias simuladas, se realizaron las siguientes determinaciones: MO (g.kg^{-1}) por combustión húmeda según el método Walkley y Black (1934) y carbono orgánico (CO) (g.kg^{-1}) por combustión seca (analizador LECO CR-12); Nt (g.kg^{-1}) según el método de Kjeldhal (1883); Pe (mg.kg^{-1}) por el método Bray I (Bray y Kurtz, 1945).

Sobre una muestra compuesta de los sedimentos erosionados de cada uno de los tratamientos (SCC y CCC) en los distintos ambientes (Loma, Media Loma y Bajo) se determinó la reacción del suelo (pH) por el método suelo/agua: 1/ 2,5 y el tamaño de las partículas por sedimentación, por el método de la Pipeta de Robinson (1922).

4.8.2.11. Tasa de enriquecimiento de materia orgánica, carbono orgánico y nutrientes y variación de pH y textura en los sedimentos erosionados

Se calculó en base a la relación entre la concentración de las variables determinadas en el sedimento (MO, CO, Nt, Pe, pH, arena, limo y arcilla) y en el suelo en 0 - 5 cm de profundidad.

4.8.2.12. Pérdidas totales de materia orgánica, carbono orgánico y nutrientes por erosión hídrica

Se calculó mediante el producto entre la concentración de MO, CO, Nt y Pe de los sedimentos erosionados de cada parcela y la pérdida total de suelo en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, en cada una de ellas.

4.9. Rendimiento del cultivo de soja

Las parcelas se cosecharon con una cosechadora automotriz. Se trilló un área de 1386 m^2 por parcela, dejando sin cosechar borduras laterales de un surco y 1 m de frente y fondo. El grano cosechado se pesó con una balanza portátil para acoplados marca Vesta, de 4 platos. La determinación de la humedad del grano cosechado se realizó con un higrómetro electrónico marca Delver, modelo HD-1000 digital. El rendimiento ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) se llevó a humedad comercial del grano (13,5 %).

Se evaluó el P_{1000} (g) mediante el recuento de tres muestras de 250 granos de soja por parcela cosechada. Se procedió a registrar su peso (g) y el valor resultante se multiplicó por cuatro. Se calculó el número de granos por metro cuadrado mediante la relación entre el rendimiento y el P_{1000} .

4.10. Análisis de la información

Los análisis estadísticos se realizaron mediante análisis de variancia según el diseño utilizado - parcelas divididas - testeando particularmente los efectos de ambientes, tratamientos y su interacción. Seguidamente se realizaron los test de comparaciones de medias, de acuerdo a la significación de los efectos en los análisis de variancia, utilizando el test LSD de Fisher, a un nivel de significación del 5%.

En los casos de las variables observadas en varios momentos - detalladas en 4.5., 4.6.2., 4.6.3., 4.7.3., 4.8.1.1. y 4.8.1.2. - los análisis de variancia se adaptaron a esta situación, creando la variable clasificatoria ó efecto TA, constituido por las 6 combinaciones de ambientes y tratamientos y considerando también el efecto fecha y la interacción TAxfecha. Se trabajó separadamente para cada profundidad. Estos análisis se realizaron según un modelo mixto con diferentes matrices de variancias y covariancias. Una vez determinada la estructura adecuada se realizaron los tests de comparaciones de promedios entre fechas, dentro de cada TA. El procesamiento se realizó mediante el software Statistical analysis system (SAS) University edition virtual application (2015).

5. RESULTADOS

5.1. Propiedades químicas del suelo

En las Tablas 3, 4, 5 y 6 se muestran los valores obtenidos de las propiedades químicas de suelo evaluadas, para cada profundidad y momento de estudio. Por un criterio de homogeneidad en la presentación, se disponen en las tablas todas las letras obtenidas del análisis estadístico, que detectan o no diferencias significativas. De esta forma, las diferencias significativas dentro de cada ambiente se muestran en todas las tablas, aunque en los casos que no haya interacción no sería relevante considerarlas. Con el objetivo de ilustrar la evolución de estas propiedades, se incluyen las figuras 23 a 28 del Anexo I.

En las Figuras 2, 3 y 4 se presentan los contenidos de COP de la fracción > 53 μm y en las Tablas 7, 8 y b 9 se expresa la relación COP/COT, obtenida para esas profundidades y momentos de muestreo. En las Tablas 20 a 23 del Anexo I, figuran los niveles de probabilidad de los test F correspondientes a los análisis de estas variables.

5.1.1. Carbono orgánico total

El COT, a 0 -5 cm de profundidad, mostró efecto de tratamiento y ambiente, cada vez más significativo con el paso del tiempo, sin interacción entre ellos en ninguna fecha de muestreo. Se detectó interacción significativa de TA por fechas.

En este espesor, el COT mostró incrementos (Tabla 3) por la inclusión de los CC, en las fechas de muestreo posteriores a la supresión del crecimiento. En los momentos de siembra, floración y madurez fisiológica del cultivo de soja, las medias en las parcelas CCC mostraron diferencias significativamente superiores de concentración de COT de 4,19; 2,55 y 2,29 g.kg^{-1} , respecto de las medias en las parcelas SCC. Esto determinó que los valores finales de COT crecieran respecto de los iniciales en las parcelas CCC y decrecieran en casi todas las parcelas SCC, a excepción del Bajo que mostró valores superiores.

En términos de ambiente, al inicio del estudio se presentaron diferencias altamente significativas de COT en orden descendente Loma>Bajo>Media Loma, en todas las profundidades evaluadas. Luego de la incorporación de los CC, Loma y Bajo conservaron valores significativamente superiores a Media Loma en 0 – 5 cm de profundidad, hasta la finalización del estudio.

En los estratos más profundos (Tablas 4, 5 y 6), tanto de las parcelas CCC como de las SCC, la evolución del COT durante el tiempo de estudio fue similar y no respondió a la inclusión de los CC. Así, disminuyó significativamente entre siembra de los CC y siembra del cultivo de soja, luego aumentó hacia la floración del cultivo, para disminuir nuevamente hacia el final del ciclo de la soja, llegando a valores inferiores a los

iniciales, a excepción del Bajo en 5 -10 cm de profundidad, cuyos valores finales fueron superiores.

En referencia a los diferentes espesores evaluados, los valores promedio de COT disminuyeron progresivamente al aumentar la profundidad. Las concentraciones en 5-10, 10-20 y 20-40 cm significaron el 73, 68 y 54 % en las parcelas SCC y el 64, 61 y 47 % en las parcelas CCC, respecto de la profundidad 0-5 cm. Se pudo observar así una mayor estratificación superficial del COT en aquellas parcelas CCC.

5.1.2. Carbono orgánico particulado

La respuesta encontrada en los valores de COP (Figuras 2, 3 y 4) a la inclusión de los CC fue similar a la de COT. Se detectó efecto del tratamiento muy significativo a partir de la segunda fecha y no se encontró interacción ambiente por tratamiento en ningún momento de muestreo. En esta variable, la interacción TA por fechas fue no significativa, por lo que el orden de fechas en todos los TA es similar.

En 0-5 cm de profundidad y a partir de la supresión del crecimiento de los CC, se notaron importantes incrementos del COP en esas parcelas. A siembra y floración del cultivo de soja, hubo aumentos medios de 108 y 52 % en las parcelas CCC, respecto de las parcelas SCC. Los valores finales de las parcelas CCC en este estrato, mostraron un incremento promedio del 50 % del COP respecto del inicio del estudio, mientras que el COP de las parcelas SCC disminuyó el 3 % en el mismo período. En lo relativo a los ambientes evaluados, las medias de las concentraciones de COP no mostraron diferencias significativas entre los distintos ambientes, en ningún momento del estudio.

En los estratos más profundos, en 5- 10 cm y 10- 20 cm, no se halló respuesta del COP a los CC. Esta variable mostró una elevada estratificación, a través de concentraciones muy superiores en el espesor 0-5 cm respecto de los estratos más profundos, tanto en las parcelas CCC como en las SCC. Es así como las concentraciones de COP, en los estratos 5-10 cm y 10-20 cm, significaron en promedio sólo un 11 % y 9 % respectivamente, de los valores medidos en el estrato superior. Por ello, nótese que las escalas usadas en las Figuras 2 y 3 son distintas a la de la Figura 1, debido a que los cambios tienen otros niveles.

5.1.3. Relación carbono orgánico particulado/carbono orgánico total

En las Tablas 7, 8 y 9 se muestran los valores de la relación COP/COT, calculados para las distintas profundidades y momentos testeados. El análisis de los datos arrojó resultados similares a los de COP, sin efecto del ambiente en los estratos evaluados y un efecto altamente significativo del tratamiento a 0-5 cm de profundidad, luego de la supresión del crecimiento de los CC. Se halló interacción ambiente por tratamiento en

floración de soja, en los estratos 5-10 y 10-20 cm de profundidad. En este último estrato se detectó además interacción TA por fechas.

El efecto del tratamiento en la relación COP/COT, a 0-5 cm de profundidad, generó un incremento de la misma del 71 % en el momento de la siembra de soja y del 48 % en floración del cultivo en las parcelas CCC. Este efecto no se mostró en los otros espesores, donde los valores de la relación se mantuvieron estables y sin diferencias significativas. En estos espesores más profundos, en el momento de floración de soja, la relación creció en Loma CCC y Bajo CCC y decreció en Media Loma CCC, si bien en todos los casos sin diferencias significativas.

Con respecto a los ambientes, los valores mostraron medias de 0,088; 0,093 y 0,098 en el orden Loma, Media Loma y Bajo. Y en referencia a las profundidades evaluadas, al igual que en COP, los valores de la relación COP/COT decrecieron pronunciadamente al profundizar en el suelo, con medias de 0,212; 0,038 y 0,028 para 0-5, 5-10 y 10-20 cm, respectivamente.

5.1.4. Nitrógeno total

En esta variable se encontraron diferencias significativas en tratamiento, ambiente ó interacción entre ambos, alternativamente en las tres primeras fechas. La interacción TA x fecha fue siempre significativa, de esta forma el orden de las fechas fue diferente en todos los TA.

Luego de la supresión de los CC, en el espesor 0-5 cm de profundidad, el Nt de las parcelas CC presentó valores significativamente superiores, 20 % por encima del promedio de las parcelas SCC. Estas diferencias de Nt, favorables a las parcelas con CC, no se dieron en el resto de las profundidades estudiadas ni en otros momentos de muestreo. En el estrato más profundo y al momento de floración del cultivo de soja, las parcelas de Loma CCC y Media Loma CCC presentaron niveles más bajos de Nt que Loma SCC y Media Loma SCC, mientras que, a diferencia de éstas, en Bajo CCC se hallaron valores más altos que en Bajo SCC.

En cuanto a los ambientes estudiados, el ambiente Media Loma presentó a lo largo del estudio y a todas las profundidades, las menores concentraciones de Nt. Por su parte, Loma y Bajo mostraron valores similares durante el trabajo, con algunas variaciones, según el momento de muestreo considerado. La media general del Nt fue de 1,34; 1,20 y 1,36 g.kg⁻¹ para Loma, Media Loma y Bajo, respectivamente.

En referencia a las distintas profundidades estudiadas (Tablas 3, 4, 5 y 6), la tendencia de los valores indicó un progresivo empobrecimiento del Nt al avanzar en profundidad, con promedios de 1,75; 1,25; 1,19 y 1,01 g.kg⁻¹ para 0-5, 5-10, 10-20 y 20-40 cm, respectivamente.

5.1.5. Relación carbono/nitrógeno

El análisis de la relación C/N detectó efecto del tratamiento sólo en 0-5 cm de profundidad, al final del estudio, con mayores valores en las parcelas CCC y diferencias muy marcadas en Media Loma. En ese momento, el efecto ambiente tuvo un nivel de significación de 0,0557. Hubo además efecto del ambiente en las capas más profundas, al inicio del estudio, que se manifestó a través de una relación C/N más alta en Loma y Media Loma en 10 – 20 y 20 -40 cm, respectivamente. La interacción TA por fecha fue altamente significativa en todas las profundidades, o sea que las combinaciones TA mostraron diferencias entre fechas.

En referencia a los distintos momentos evaluados, en la siembra del cultivo de soja se encontraron los menores valores de la relación C/N, en todas las profundidades medidas (Tablas 3, 4, 5 y 6). Estos registros, mostraron una disminución promedio del 11 % en los estratos superiores respecto del muestreo anterior, diferencia que se amplió en los estratos más profundos.

Los mayores valores, en cambio, no presentaron una tendencia clara, se registraron en distintas profundidades y en distintos momentos del estudio. Y respecto de las profundidades testeadas, a medida que se avanzó en profundidad, los valores hallados fueron menores, tanto para las parcelas SCC como para las parcelas CCC.

5.1.6. Fósforo extractable

El análisis de los valores de Pe encontrados, no detectó efecto del tratamiento. Se halló efecto del ambiente altamente significativo en todas las profundidades testeadas, en el momento de inicio del trabajo. Este efecto del ambiente se mantuvo sólo a 0-5 cm de profundidad durante el resto del estudio. No se encontró interacción ambiente por tratamiento en ningún momento de muestreo. Se halló interacción TA por fecha sólo a 5-10 cm de profundidad, significativa al 5 %.

Aunque sin diferencias significativas, a partir de la siembra de soja se hallaron valores de Pe inferiores en las parcelas CCC respecto de las parcelas SCC. En el estrato 0-5 cm (Tabla 3), esta disminución alcanzó una media de 17 %. En los estratos más profundos (Tablas 4, 5 y 6) mayoritariamente también se notaron disminuciones del Pe en las parcelas CCC, con medias de 15, 3 y 14 % en 5-10, 10–20 y 20–40 cm de profundidad, a excepción del ambiente Bajo que mostró ganancias de P.

En referencia a las variaciones entre ambientes, la Media Loma mostró valores significativamente inferiores a Loma y Bajo, a lo largo del estudio. Las medias de Pe para Loma, Media Loma y Bajo fueron 24, 11 y 31 mg.kg⁻¹, respectivamente.

Al examinar las profundidades evaluadas, se observó que los contenidos de Pe decrecieron desde la superficie hacia los estratos inferiores, con valores medios de 30,84; 19,42; 18,90 y 18,63 mg.kg⁻¹ para las profundidades 0-5, 5-10, 10-20 y 20-40 cm, respectivamente. Como lo marcan los datos señalados, la caída de los registros de Pe en profundidad no fue gradual, sino que se dio en mayor proporción entre la

capa superficial y el resto de los espesores evaluados, marcándose así una elevada estratificación del nutriente.

5.1.7. Azufre de sulfatos

El contenido de S-SO₄ (Tablas 3, 4, 5 y 6) en muchos casos mostró efecto significativo del tratamiento al final del estudio, en los dos estratos superiores y efecto del ambiente altamente significativo en todas las profundidades testeadas, en el momento de inicio del trabajo. En ninguna fecha hubo interacción de ambiente por tratamiento. Se registró interacción significativa del efecto TA x fecha en todas las profundidades, de manera que el orden de las fechas fue distinto en cada TA.

Las parcelas CCC mostraron valores significativamente superiores de S-SO₄ hacia fines del estudio. En ese momento, en los espesores 0-5 y 5-10 cm, las parcelas CCC tuvieron 22 y 27 % más S-SO₄ que las parcelas SCC, respectivamente. En otros momentos y estratos, estas ventajas mostraron una alta variabilidad.

La media de S-SO₄ en los distintos ambientes fue de 7,47; 6,90 y 7,65 mg.kg⁻¹ para Loma, Media Loma y Bajo, respectivamente y estos registros presentaron variaciones similares a lo largo del estudio, con los mayores valores al inicio del trabajo.

En general, los contenidos de S-SO₄ decrecieron, si bien no tan pronunciadamente como otros nutrientes, desde superficie hacia los estratos más profundos. Los valores medios fueron de 8,17; 7,41; 7,24 y 6,55 mg.kg⁻¹ para 0-5, 5-10, 10-20 y 20-40 cm de profundidad, respectivamente.

5.1.8. pH

El pH mostró efecto de tratamiento, ambiente e interacción entre ambos, en el momento de siembra del cultivo de soja, en el espesor 0-5 de profundidad. También se detectaron estos efectos alternadamente, en otras profundidades y momentos del estudio. El análisis entre fechas detectó interacción significativa de TA por fecha en 5-10, 10-20 y 20-40, pero no significativa en el estrato de 0-5 cm.

Las determinaciones de pH (Tablas 3, 4, 5 y 6) presentaron valores significativamente inferiores en el Bajo CCC a 0-5 cm y en Loma y Media Loma SCC a 20-40 cm de profundidad, en el momento de la siembra del cultivo de soja. En referencia a los ambientes, el pH tuvo promedios de 5,95; 6,04 y 5,88 en Loma, Media Loma y Bajo, respectivamente y las medias para las profundidades testeadas fueron de 5,97; 5,90; 5,87 y 6,07 para 0-5, 5-10, 10-20 y 20-40 cm, respectivamente.

Tabla 3. Propiedades químicas edáficas en el estrato 0 a 5 centímetros, en los momentos de siembra de los cultivos de cobertura y siembra, floración y madurez fisiológica de soja

Ambiente	Tratamiento	COT (g.kg ⁻¹)	Nt (g.kg ⁻¹)	C:N	Pe (mg.kg ⁻¹)	S-SO ₄ (mg.kg ⁻¹)	pH
Siembra de CC							
Loma	SCC	24,03 aA	1,90 aA	12,65 abcB	37,43 bA	9,80 cA	6,17 aA
	CCC	24,01 aA	1,87 aA	12,84 abB	37,30 bA	9,83 cA	6,03 aA
Media Loma	SCC	20,00 cA	1,63 cA	12,27 bcA	16,93 cA	11,37 aA	5,93 aA
	CCC	19,88 cB	1,50 dB	13,25 aB	16,87 cA	11,30 aA	5,97 aA
Bajo	SCC	22,02 bB	1,73 bcA	12,73 abcB	40,93 aA	10,40 bA	6,00 aA
	CCC	21,80 bB	1,83 abB	11,91 cBC	41,00 aA	10,50 bA	5,97 aA
Medias Tratamientos	SCC	22,02 a	1,76 a	12,55 a	31,77 a	10,52 a	6,03 a
	CCC	21,90 a	1,73 a	12,68 a	31,72 a	10,54 a	5,99 a
Medias Ambientes	Loma	24,02 a	1,88 a	12,77 a	37,37 b	9,82 c	6,10 a
	Media Loma	19,94 c	1,57 c	12,75 a	16,90 c	11,33 a	5,95 a
	Bajo	21,91 b	1,78 b	12,30 a	40,97 a	10,45 b	5,98 a
Siembra de soja							
Loma	SCC	20,04 bcB	1,73 bcAB	11,58 aB	39,47 abA	6,60 aBC	6,03 abA
	CCC	24,40 aA	2,03 aA	12,02 aB	30,43 bcA	7,70 aB	5,93 bA
Media Loma	SCC	17,83 cAB	1,60 cA	11,14 aA	22,53 cA	7,03 aB	6,07 aA
	CCC	20,93 bAB	1,93 abA	10,84 aC	16,73 cA	7,10 aB	6,03 abA
Bajo	SCC	19,01 bcC	1,77 bcA	10,74 aC	47,57 aA	7,37 aB	6,03 abA
	CCC	24,11 aAB	2,17 aA	11,11 aC	42,83 abA	8,50 aB	5,73 cB
Medias Tratamientos	SCC	18,96 b	1,70 b	11,19 a	36,52 a	7,00 a	6,04 a
	CCC	23,15 a	2,04 a	11,32 a	30,00 a	7,77 a	5,90 b
Medias Ambientes	Loma	22,22 a	1,88 a	11,78 a	34,95 a	7,15 a	5,98 ab
	Media Loma	19,38 b	1,77 a	11,02 a	19,63 b	7,07 a	6,05 a
	Bajo	21,56 a	1,97 a	10,96 a	45,20 a	7,93 a	5,88 b
Floración de Soja							
Loma	SCC	21,69 abAB	1,73 abcAB	12,54 aAB	35,47 abA	8,80 aAB	6,03 aA
	CCC	24,66 aA	1,93 aA	12,78 aB	27,57 abcA	9,60 aAB	6,03 aA
Media Loma	SCC	18,37 bAB	1,60 cA	11,48 aA	20,57 bcA	7,70 aB	6,00 aA
	CCC	21,50 abAB	1,67 bcAB	12,87 aAB	16,27 cA	6,57 aB	5,93 aA
Bajo	SCC	23,32 aAB	1,80 abcA	12,96 aAB	43,00 aA	6,87 aB	5,87 aA
	CCC	24,87 aAB	1,83 abB	13,59 aAB	39,53 aA	10,27 aAB	5,97 aA
Medias Tratamientos	SCC	21,13 b	1,71 a	12,37 a	33,01 a	7,79 a	5,97 a
	CCC	23,68 a	1,81 a	13,09 a	27,79 a	8,81 a	5,98 a
Medias Ambientes	Loma	23,17 a	1,83 a	12,62 a	31,52 ab	9,20 a	6,03 a
	Media Loma	19,94 b	1,63 b	12,29 a	18,42 b	7,13 a	5,97 a
	Bajo	24,10 a	1,82 a	13,28 a	41,27 a	8,57 a	5,92 a

Madurez Fisiológica de soja							
Loma	SCC	22,92 cB	1,58 aB	14,51 aA	31,83 abA	5,50 bC	6,10 aA
	CCC	24,80 abA	1,58 aB	15,70 aA	27,10 baA	6,97 abB	6,00 aA
Media Loma	SCC	18,79 dB	1,73 aA	10,86 bA	16,53 bcA	5,20 bB	6,03 aA
	CCC	22,23 cA	1,47 aB	15,12 aA	13,70 cA	6,37 abB	6,07 aA
Bajo	SCC	23,48 bcA	1,61 aA	14,58 aA	43,03 aA	6,80 abB	5,87 aA
	CCC	25,02 aA	1,70 aB	14,72 aA	35,63 aA	7,97 aB	5,87 aAB
Medias Tratamientos	SCC	21,73 b	1,64 a	13,40 b	30,47 a	5,83 b	6,00 a
	CCC	24,02 a	1,58 a	15,27 a	25,48 a	7,10 a	5,98 a
Medias Ambientes	Loma	23,86 a	1,58 a	15,15 a	29,47 ab	6,23 a	6,05 a
	Media Loma	20,51 b	1,60 a	13,11 a	15,12 b	5,78 a	6,05 a
	Bajo	24,25 a	1,66 a	14,74 a	39,33 a	7,38 a	5,87 a

Ref.: COT: Carbono Orgánico Total; Nt: Nitrógeno total; C:N: Relación Carbono:Nitrógeno; Pe: Fósforo extractable; S-SO₄: Azufre de Sulfatos; SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura. Diferentes letras minúsculas en sentido vertical, indican diferencias significativas dentro de cada momento de muestreo, distintas letras mayúsculas en sentido vertical, indican diferencias significativas entre fechas, (test F p<0,05).

Tabla 4. Propiedades químicas edáficas en el estrato 5 a 10 centímetros, en los momentos de siembra de los cultivos de cobertura y siembra, floración y madurez fisiológica de soja

Ambiente	Tratamiento	COT (g.kg ⁻¹)	Nt (g.kg ⁻¹)	C:N	Pe (mg.kg ⁻¹)	S-SO ₄ (mg.kg ⁻¹)	pH
Siembra de CC							
Loma	SCC	16,55 aA	1,40 aA	11,82 aA	22,87 aAB	10,57 aA	5,53 aB
	CCC	16,49 aA	1,20 aA	13,74 aA	22,67 abA	10,47 aA	5,63 aB
Media Loma	SCC	14,63 dAB	1,23 aAB	11,89 aB	10,13 dAB	8,13 cA	5,77 aB
	CCC	14,48 eA	1,13 aA	12,81 aA	10,13 dA	8,23 cA	5,87 aB
Bajo	SCC	15,39 bAB	1,37 aA	11,23 aB	22,50 bcA	9,73 bA	5,80 aA
	CCC	15,16 cB	1,23 aA	12,33 aA	22,40 cAB	9,70 bA	5,83 aA
Medias Tratamientos	SCC	15,53 a	1,33 a	11,66 a	18,50 a	9,48 a	5,70 a
	CCC	15,38 a	1,19 a	12,96 a	18,40 a	9,47 a	5,78 a
Medias Ambientes	Loma	16,52 a	1,30 a	12,78 a	22,77 a	10,52 a	5,58 a
	Media Loma	14,56 c	1,18 a	12,33 a	10,13 c	8,18 c	5,82 a
	Bajo	15,27 b	1,30 a	11,81 a	22,45 b	9,72 b	5,82 a
Siembra de soja							
Loma	SCC	14,61 aB	1,27 abA	11,50 aA	26,63 aA	6,47 aB	5,93 aA
	CCC	13,97 aB	1,23 abA	11,36 aB	18,73 aA	6,50 aB	5,83 aAB
Media Loma	SCC	11,99 aC	1,17 bB	10,25 aC	13,93 aA	6,63 aB	6,00 aA
	CCC	11,98 aB	1,13 bA	10,60 aB	9,27 aA	5,50 aB	6,07 aAB
Bajo	SCC	14,42 aB	1,30 abAB	11,09 aB	28,63 aBA	6,97 aB	5,97 aA
	CCC	14,53 aB	1,37 aA	10,61 aB	29,00 aBA	6,60 aB	5,90 aA
Medias Tratamientos	SCC	13,67 a	1,24 a	10,98 a	23,07 a	6,69 a	5,97 a
	CCC	13,49 a	1,24 a	10,85 a	19,00 a	6,20 a	5,93 a
Medias Ambientes	Loma	14,29 a	1,25 ab	11,45 a	22,68 a	6,48 a	5,88 a
	Media Loma	11,99 a	1,15 b	10,43 a	11,60 a	6,07 a	6,03 a
	Bajo	14,48 a	1,33 a	10,88 a	28,82 a	6,78 a	5,93 a
Floración de Soja							
Loma	SCC	16,47 aAB	1,33 aA	12,38 aA	26,47 aBA	7,60 aB	5,90 aA
	CCC	16,32 aA	1,30 aA	12,55 aAB	19,77 aBA	7,97 aB	5,90 aA
Media Loma	SCC	16,18 aA	1,37 aA	11,81 aBC	12,47 aAB	6,40 aB	6,03 aA
	CCC	13,80 aAB	1,17 aA	11,79 aAB	9,03 aA	7,17 aAB	5,87 aB
Bajo	SCC	16,78 aA	1,27 aB	13,21 aA	28,33 aA	6,40 aB	5,87 aA
	CCC	16,47 aAB	1,33 aA	12,38 aA	24,57 aB	8,43 aAB	5,87 aA
Medias Tratamientos	SCC	16,48 a	1,32 a	12,47 a	22,42 a	6,80 a	5,93 a
	CCC	15,53 a	1,27 a	12,26 a	17,79 a	7,86 a	5,88 a
Medias Ambientes	Loma	16,40 a	1,32 a	12,43 a	23,12 a	7,78 a	5,90 a
	Media Loma	14,99 a	1,27 a	11,82 a	10,75 a	6,78 a	5,95 a
	Bajo	16,63 a	1,30 a	12,84 a	26,45 a	7,42 a	5,87 a

Madurez Fisiológica de soja							
Loma	SCC	16,40 aA	1,37 aA	11,97 aA	20,90 aB	5,13 cB	6,03 abA
	CCC	15,49 aA	1,26 aA	12,29 aAB	15,57 aBA	7,00 abB	5,97 abA
Media Loma	SCC	13,87 aB	0,99 aC	14,01 aA	8,00 aB	5,27 bcB	6,13 aA
	CCC	13,57 aA	1,07 aA	12,68 aA	8,30 aA	5,90 abcB	6,20 aA
Bajo	SCC	16,13 aA	1,19 aB	13,55 aA	26,80 aA	6,47 bcB	5,83 bA
	CCC	16,80 aA	1,31 aA	12,82 aA	28,87 aAB	8,50 aAB	5,87 bA
Medias Tratamientos	SCC	15,47 a	1,19 a	13,22 a	18,57 a	5,62 b	6,00 a
	CCC	15,29 a	1,22 a	12,60 a	17,59 a	7,13 a	6,01 a
Medias Ambientes	Loma	15,94 a	1,32 a	12,13 a	18,23 a	6,07 a	6,00 ab
	Media Loma	13,72 a	1,03 a	13,33 a	8,17 a	5,58 a	6,17 a
	Bajo	16,47 a	1,25 a	13,26 a	27,83 a	7,48 a	5,85 b

Ref.: COT: Carbono Orgánico Total; Nt: Nitrógeno total; C:N: Relación Carbono:Nitrógeno; Pe: Fósforo extractable; S-SO₄: Azufre de Sulfatos; SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura. Diferentes letras minúsculas en sentido vertical, indican diferencias significativas dentro de cada momento de muestreo, distintas letras mayúsculas en sentido vertical, indican diferencias significativas entre fechas, (test F p<0,05).

Tabla 5. Propiedades químicas edáficas en el estrato 10 a 20 centímetros, en los momentos de siembra de los cultivos de cobertura y siembra, floración y madurez fisiológica de soja

Ambiente	Tratamiento	COT (g.kg ⁻¹)	Nt (g.kg ⁻¹)	C:N	Pe (mg.kg ⁻¹)	S-SO ₄ (mg.kg ⁻¹)	pH
Siembra de CC							
Loma	SCC	16,90 aA	1,47 aA	11,50 cB	21,50 bA	11,60 aA	5,40 bB
	CCC	16,70 bA	1,33 bA	12,56 bcA	21,50 bA	11,63 aA	5,40 bB
Media Loma	SCC	14,23 dA	0,97 cB	14,67 aA	9,27 cAB	8,63 cA	5,67 aC
	CCC	14,09 eA	1,03 cA	13,68 abA	9,20 cA	8,53 cA	5,70 aC
Bajo	SCC	16,44 cA	1,30 bA	12,65 bcA	24,50 aA	9,13 bA	5,60 aB
	CCC	16,34 cA	1,40 abA	11,67 Cab	24,60 aA	9,07 bA	5,73 aB
Medias Tratamientos	SCC	15,85 a	1,24 a	12,99 a	18,42 a	9,79 a	5,56 a
	CCC	15,71 a	1,26 a	12,63 a	18,43 a	9,74 a	5,61 a
Medias Ambientes	Loma	16,80 a	1,40 a	12,04 b	21,50 b	11,62 a	5,40 b
	Media Loma	14,16 c	1,00 b	14,20 a	9,23 c	8,58 c	5,68 a
	Bajo	16,39 b	1,35 a	12,18 b	24,55 a	9,10 b	5,67 a
Siembra de soja							
Loma	SCC	14,23 aB	1,27 aBC	11,20 aB	26,50 aA	6,17 aB	5,93 aA
	CCC	12,85 aB	1,17 aB	10,98 aB	19,40 aA	5,87 aB	5,87 aA
Media Loma	SCC	11,40 aB	1,10 aB	10,36 aC	10,10 aA	6,97 aB	6,03 aAB
	CCC	10,74 aB	1,10 aA	9,76 aC	7,63 aA	5,73 aB	6,17 aAB
Bajo	SCC	12,46 aB	1,17 aA	10,65 aB	26,30 aBA	6,03 aB	5,93 aA
	CCC	13,82 aB	1,27 aAB	10,88 aB	28,10 aBA	6,27 aB	5,93 aA
Medias Tratamientos	SCC	12,69 a	1,18 a	10,72 a	20,98 a	6,39 a	5,97 a
	CCC	12,47 a	1,18 a	10,56 a	18,38 a	5,96 a	5,99 a
Medias Ambientes	Loma	13,54 a	1,22 a	11,11 a	22,95 a	6,02 a	5,90 a
	Media Loma	11,07 a	1,10 a	10,06 a	8,87 a	6,35 a	6,10 a
	Bajo	13,14 a	1,22 a	10,75 a	27,22 a	6,15 a	5,93 a
Floración de Soja							
Loma	SCC	15,19 aAB	1,27 aB	11,96 aB	24,73 aA	7,10 aB	5,93 abA
	CCC	15,22 aAB	1,23 aAB	12,37 aAB	17,87 aA	7,00 aB	5,93 abA
Media Loma	SCC	14,55 aA	1,23 aA	11,83 aB	11,67 aA	5,87 aBC	6,00 aB
	CCC	12,85 aAB	1,07 aA	12,01 aAB	7,87 aA	6,57 aAB	6,00 aB
Bajo	SCC	14,61 aAB	1,20 aA	12,18 aA	26,17 aA	5,90 aB	5,77 cAB
	CCC	15,56 aAB	1,20 aB	12,97 aA	29,23 aA	8,33 aAB	5,83 bcAB
Medias Tratamientos	SCC	14,78 a	1,23 a	11,90 a	20,86 a	6,29 a	5,90 a
	CCC	14,54 a	1,17 a	12,43 a	18,32 a	7,30 a	5,92 a
Medias Ambientes	Loma	15,20 a	1,25 a	12,07 a	21,30 a	7,05 a	5,93 a
	Media Loma	13,70 a	1,15 a	11,90 a	9,77 a	6,22 a	6,00 a
	Bajo	15,09 a	1,20 a	12,53 a	27,70 a	7,12 a	5,80 b

Madurez Fisiológica de soja							
Loma	SCC	15,06 aB	1,07 aC	14,07 aA	22,03 aA	5,60 aB	6,10 aA
	CCC	13,81 aB	1,11 aAB	12,44 aAB	15,83 aA	6,23 aB	6,00 aA
Media Loma	SCC	11,58 aB	1,03 aB	11,24 aBC	5,43 aB	5,33 aC	6,20 aA
	CCC	12,79 aBA	1,10 aA	11,63 abB	8,27 aA	6,10 aB	6,20 aA
Bajo	SCC	15,10 aA	1,24 aA	12,18 aAB	24,67 aA	6,70 aB	5,87 aA
	CCC	15,76 aA	1,18 aAB	13,36 aA	31,43 aA	7,47 aB	5,80 aA
Medias Tratamientos	SCC	13,92 a	1,11 a	12,61 a	17,38 a	5,88 a	6,06 a
	CCC	14,12 a	1,13 a	12,54 a	18,51 a	6,60 a	6,00 a
Medias Ambientes	Loma	14,44 a	1,09 a	13,26 a	18,93 ab	5,92 a	6,05 a
	Media Loma	12,19 a	1,06 a	11,64 a	6,85 b	5,72 a	6,20 a
	Bajo	15,43 a	1,21 a	12,82 a	28,05 a	7,08 a	5,83 a

Ref.: COT: Carbono Orgánico Total; Nt: Nitrógeno total; C:N: Relación Carbono:Nitrógeno; Pe: Fósforo extractable; S-SO₄: Azufre de Sulfatos; SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura. Diferentes letras minúsculas en sentido vertical, indican diferencias significativas dentro de cada momento de muestreo, distintas letras mayúsculas en sentido vertical, indican diferencias significativas entre fechas, (test F p<0,05).

Tabla 6. Propiedades químicas edáficas en el estrato 20 a 40 centímetros, en los momentos de siembra de los cultivos de cobertura y siembra, floración y madurez fisiológica de soja

Ambiente	Tratamiento	COT (g.kg ⁻¹)	Nt (g.kg ⁻¹)	C:N	Pe (mg.kg ⁻¹)	S-SO ₄ (mg.kg ⁻¹)	pH
Siembra de CC							
Loma	SCC	15,06 aA	1,17 aA	12,87 abAB	18,83 bAB	7,40 bcA	5,93 aB
	CCC	14,87 bA	1,13 abA	13,16 aA	18,67 bA	7,33 cA	6,03 aBA
Media Loma	SCC	11,24 dA	0,87 dB	12,92 abA	8,70 cAB	8,77 aA	6,07 aB
	CCC	11,03 eA	0,97 cA	11,37 cdA	8,70 cA	8,77 aA	5,97 abB
Bajo	SCC	12,87 cA	1,07 bA	12,03 bcA	24,20 aA	7,73 bA	5,87 aA
	CCC	12,91 cA	1,17 aA	11,03 dA	24,30 aA	7,67 bcA	5,90 aBA
Medias Tratamientos	SCC	13,05 a	1,03 a	12,67 a	17,24 a	7,97 a	5,96 a
	CCC	12,93 a	1,09 a	11,88 a	17,22 a	7,92 a	5,97 a
Medias Ambientes	Loma	14,96 a	1,15 a	13,07 a	18,75 b	7,37 b	5,98 a
	Media Loma	11,13 c	0,92 b	12,19 b	8,70 c	8,77 a	6,02 a
	Bajo	12,89 b	1,12 a	11,57 b	24,25 a	7,70 b	5,88 a
Siembra de soja							
Loma	SCC	9,38 aB	1,03 aA	9,11 aC	29,37 aBA	6,63 aA	6,03 cB
	CCC	9,44 aB	1,00 aA	9,44 aB	16,57 aBA	6,37 aAB	6,17 aBA
Media Loma	SCC	7,52 aB	0,87 aB	8,64 aB	8,07 aAB	6,67 aB	6,13 bcB
	CCC	6,41 aB	0,83 aA	7,72 aB	5,93 aA	5,80 aB	6,30 aA
Bajo	SCC	10,72 aA	1,13 aA	9,49 aB	28,90 aBA	6,43 aB	6,00 bcA
	CCC	11,01 aA	1,13 aA	9,74 aA	32,23 aA	6,50 aA	6,00 bcA
Medias Tratamientos	SCC	9,20 a	1,01 a	9,03 a	22,11 a	6,58 a	6,06 b
	CCC	8,95 a	0,99 a	8,86 a	18,24 a	6,22 a	6,16 a
Medias Ambientes	Loma	9,41 a	1,02 a	9,12 a	22,97 a	6,50 a	6,10 a
	Media Loma	6,97 a	0,85 a	8,21 a	7,00 a	6,23 a	6,22 a
	Bajo	10,86 a	1,13 a	9,52 a	30,57 a	6,47 a	6,00 a
Floración de Soja							
Loma	SCC	12,25 aAB	1,13 acdA	10,84 aBC	22,60 aB	6,77 aA	6,03 aB
	CCC	11,78 aAB	1,03 beA	11,44 aAB	16,33 aBA	6,50 aAB	6,13 aA
Media Loma	SCC	12,62 aA	1,10 abdA	11,47 aA	12,10 aBA	6,20 aBC	6,07 aB
	CCC	9,44 aAB	0,93 ceA	10,15 aA	5,97 aA	5,50 aB	6,07 aB
Bajo	SCC	11,88 aA	1,07 deA	11,10 aAB	28,40 aBA	6,67 aAB	5,90 aA
	CCC	13,16 aA	1,13 abcA	11,65 aA	34,10 aA	6,30 aA	5,93 aA
Medias Tratamientos	SCC	12,25 a	1,10 a	11,03 a	21,03 a	6,54 a	6,00 a
	CCC	11,46 a	1,03 a	10,97 a	18,80 a	6,10 a	6,04 a
Medias Ambientes	Loma	12,02 a	1,08 a	10,91 a	19,47 a	6,63 a	6,08 a
	Media Loma	11,03 a	1,02 a	10,79 a	9,03 a	5,85 a	6,07 a
	Bajo	12,52 a	1,10 a	11,29 a	31,25 a	6,48 a	5,92 a

Madurez Fisiológica de soja							
Loma	SCC	13,01 aA	0,94 aA	13,84 aA	21,10 aB	4,93 bB	6,23 aBA
	CCC	10,58 aB	0,95 aA	11,14 aAB	14,90 aBA	5,40 abB	6,20 aBA
Media Loma	SCC	7,30 aB	0,81 aAB	9,01 aB	3,93 aB	4,73 bC	6,37 aA
	CCC	9,11 aAB	0,89 aA	10,24 aA	7,73 aBA	4,87 bB	6,37 aA
Bajo	SCC	11,59 aA	0,96 aA	12,07 aA	23,37 aBA	6,20 abB	6,03 aBA
	CCC	12,18 aA	1,04 aA	11,71 aA	32,10 aA	7,03 aA	5,93 bA
Medias Tratamientos	SCC	10,63 a	0,90 a	11,62 a	16,13 a	5,29 a	6,21 a
	CCC	10,62 a	0,96 a	11,02 a	18,24 a	5,77 a	6,17 a
Medias Ambientes	Loma	11,79 a	0,94 a	12,43 a	18,00 a	5,17 b	6,22 a
	Media Loma	8,20 a	0,85 a	9,79 a	5,83 a	4,80 b	6,37 a
	Bajo	11,89 a	1,00 a	11,74 a	27,73 a	6,62 a	5,98 a

Ref.: COT: Carbono Orgánico Total; Nt: Nitrógeno total; C:N: Relación Carbono:Nitrógeno; Pe: Fósforo extractable; S-SO₄: Azufre de Sulfatos; SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura. Diferentes letras minúsculas en sentido vertical, indican diferencias significativas dentro de cada momento de muestreo, distintas letras mayúsculas en sentido vertical, indican diferencias significativas entre fechas, (test F p<0,05).

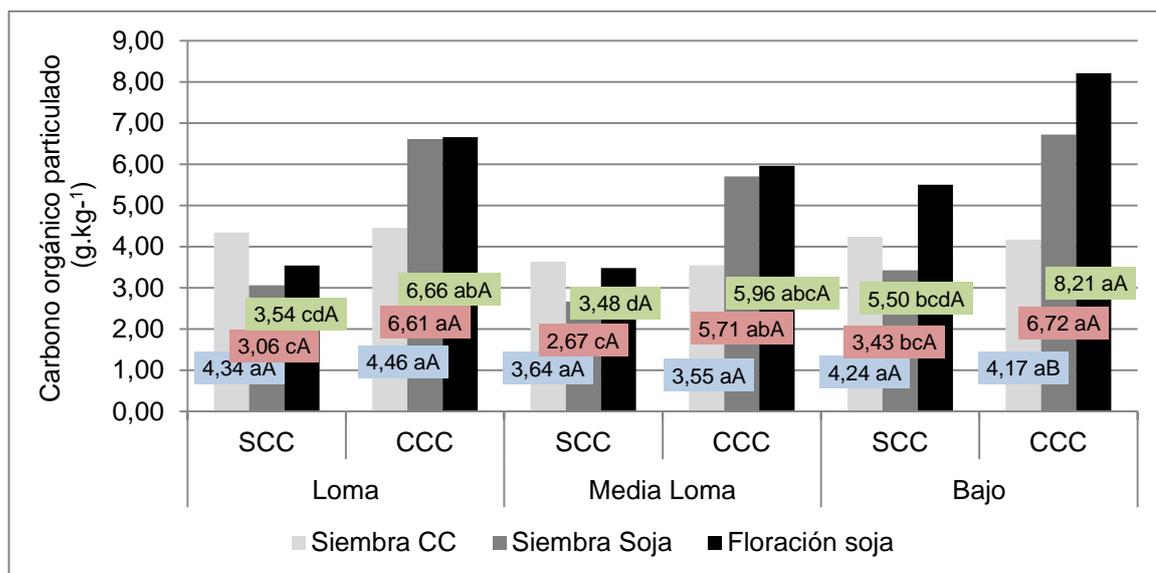


Figura 2. Contenido de COP > 53 micras a 0-5 centímetros, en los momentos de siembra de los cultivos de cobertura y siembra y floración de soja. Ref.: COP: Carbono Orgánico Particulado; SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura. Diferentes letras minúsculas en sentido horizontal, indican diferencias significativas dentro de cada momento de muestreo, distintas letras mayúsculas en cada TA indican diferencias significativas entre fechas, (test F p<0,05).

Tabla 7. Relación COP/COT en el estrato 0-5 centímetros en los momentos de siembra de los cultivos de cobertura y siembra y floración de soja

Ambiente	Tratamiento	Siembra CC	Siembra soja	Floración soja
Loma	SCC	0,180 aA	0,153 cA	0,169 ceA
	CCC	0,185 aA	0,269 abA	0,270 abdA
Media Loma	SCC	0,183 aA	0,150 cA	0,188 deA
	CCC	0,179 aA	0,272 abA	0,276 abcA
Bajo	SCC	0,193 aA	0,176 bcA	0,232 bcdA
	CCC	0,191 aB	0,278 aAB	0,330 aA
Medias Tratamientos	SCC	0,185 a	0,160 b	0,197 b
	CCC	0,185 a	0,273 a	0,292 a
Medias Ambientes	Loma	0,182 a	0,211 a	0,220 a
	Media Loma	0,181 a	0,211 a	0,232 a
	Bajo	0,192 a	0,227 a	0,281 a

Ref.: Relación COP/COT: Relación Carbono Orgánico Particulado/Carbono Orgánico Total (g.kg⁻¹/g.kg⁻¹); SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura. Diferentes letras minúsculas en sentido vertical, indican diferencias significativas dentro de cada momento de muestreo, distintas letras mayúsculas en sentido horizontal indican diferencias significativas entre fechas, (test F p<0,05).

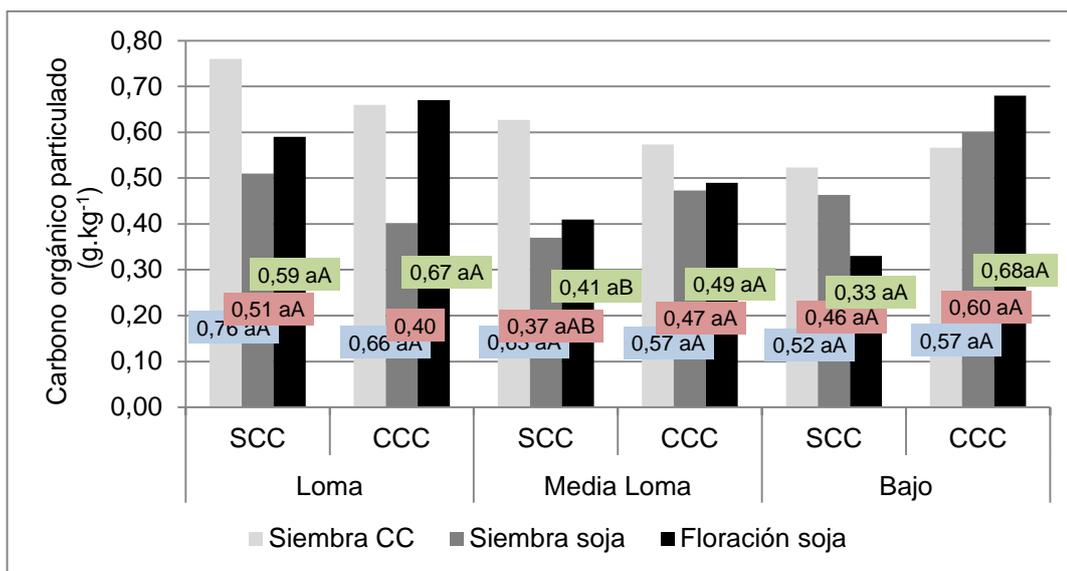


Figura 3. Contenido de COP > 53 micras a 5-10 centímetros, en los momentos de siembra de los cultivos de cobertura y siembra y floración de soja. Ref.: COP: Carbono Orgánico Particulado; SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura. Diferentes letras minúsculas en sentido horizontal, indican diferencias significativas dentro de cada momento de muestreo, distintas letras mayúsculas en cada TA indican diferencias significativas entre fechas, (test F p<0,05).

Tabla 8. Relación COP/COT en el estrato 5-10 centímetros, en los momentos de siembra de los cultivos de cobertura y siembra y floración de soja

Ambiente	Tratamiento	Siembra CC	Siembra soja	Floración soja
Loma	SCC	0,046 aA	0,035 aA	0,040 aA
	CCC	0,040 aA	0,028 aA	0,044 abA
Media Loma	SCC	0,043 aA	0,031 aB	0,061 aA
	CCC	0,040 aA	0,039 aA	0,031 bA
Bajo	SCC	0,034 aA	0,032 aA	0,023 bA
	CCC	0,037 aA	0,043 aA	0,045 abA
Medias Tratamientos	SCC	0,041 a	0,032 a	0,041 a
	CCC	0,039 a	0,037 a	0,040 a
Medias Ambientes	Loma	0,043 a	0,032 a	0,042 a
	Media Loma	0,042 a	0,035 a	0,046 a
	Bajo	0,036 a	0,037 a	0,034 a

Ref.: Relación COP/COT: Relación Carbono Orgánico Particulado/Carbono Orgánico Total (g.kg⁻¹/g.kg⁻¹); SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura. Diferentes letras minúsculas en sentido vertical, indican diferencias significativas dentro de cada momento de muestreo, distintas letras mayúsculas en sentido horizontal indican diferencias significativas entre fechas, (test F p<0,05).

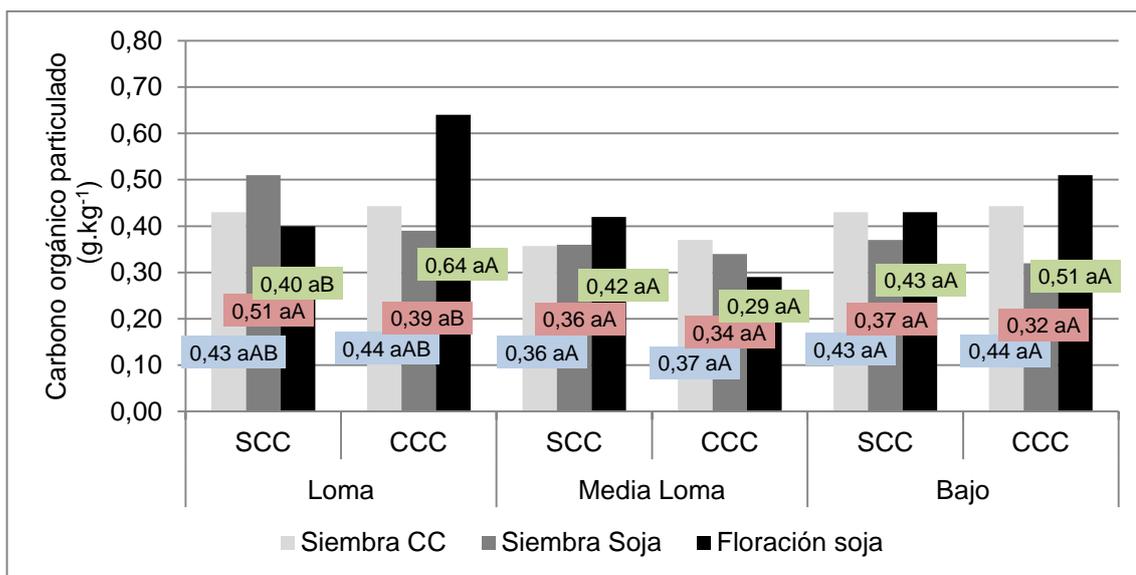


Figura 4. Contenido de COP > 53 micras a 10-20 centímetros, en los momentos de siembra de los cultivos de cobertura y siembra y floración de soja. Ref.: COP: Carbono Orgánico Particulado; SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura. Diferentes letras minúsculas en sentido horizontal, indican diferencias significativas dentro de cada momento de muestreo, distintas letras mayúsculas en cada TA indican diferencias significativas entre fechas, (test F $p < 0,05$).

Tabla 9. Relación COP/COT en el estrato 10-20 centímetros, en los momentos de siembra de los cultivos de cobertura y siembra y floración de soja

Ambiente	Tratamiento	Siembra CC	Siembra soja	Floración soja
Loma	SCC	0,025 aB	0,036 aA	0,022 bB
	CCC	0,027 aA	0,030 aA	0,036 aA
Media Loma	SCC	0,025 aA	0,032 aA	0,032 abA
	CCC	0,026 aA	0,032 aA	0,027 abA
Bajo	SCC	0,026 aA	0,029 aA	0,024 abA
	CCC	0,027 aA	0,023 aA	0,028 abA
Medias Tratamientos	SCC	0,025 a	0,032 a	0,026 a
	CCC	0,027 a	0,029 a	0,030 a
Medias Ambientes	Loma	0,026 a	0,033 a	0,029 a
	Media Loma	0,026 a	0,032 a	0,030 a
	Bajo	0,027 a	0,026 a	0,026 a

Ref.: Relación COP/COT: Relación Carbono Orgánico Particulado/Carbono Orgánico Total ($\text{g.kg}^{-1}/\text{g.kg}^{-1}$); SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura. Diferentes letras minúsculas en sentido vertical, indican diferencias significativas dentro de cada momento de muestreo, distintas letras mayúsculas en sentido horizontal indican diferencias significativas entre fechas, (test F $p < 0,05$).

5.2. Propiedades físicas sub-superficiales del suelo

En la Tabla 24 del Anexo I se detallan los niveles de probabilidad de los test F correspondientes a los análisis de las variables físicas evaluadas.

5.2.1. Textura

Los valores hallados en las determinaciones de textura, permitieron clasificarla como franco-limosa (FL) en los espesores 0-5 y 5-10 cm de profundidad en Loma, Media Loma y Bajo (Tabla 10). En el estrato más profundo evaluado, correspondiente a los 10 – 20 cm de profundidad del perfil, la textura se clasificó como franco-arcillo-limosa (FAL) en los tres ambientes. En cuanto a los componentes texturales, el Bajo presentó más limo – hasta 6 % - y menos arena – hasta 22 % - que los otros ambientes. Asimismo, la Media Loma mostró los mayores porcentajes de arcilla – hasta 8 % - en todas las profundidades evaluadas, aunque en este caso las diferencias resultaron no significativas.

Tabla 10. Textura en porcentaje, en 0 – 5, 5 – 10 y 10 – 20 centímetros, en los diferentes ambientes evaluados

Ambiente	Profundidad cm	Textura			Clasificación
		Arena	Limo	Arcilla	
			%		
Loma	0 - 5	7,80 a	67,40 a	24,80 a	FL
Media Loma		7,13 ab	65,97 a	26,90 a	FL
Bajo		6,43 b	69,37 a	24,20 a	FL
Loma	5 - 10	7,80 a	65,80 a	26,40 a	FL
Media Loma		7,57 a	65,44 a	26,99 a	FL
Bajo		5,50 b	67,97 a	26,53 a	FL
Loma	10 - 20	6,63 a	63,84 a	29,53 a	FAL
Media Loma		7,43 a	60,47 a	32,10 a	FAL
Bajo		5,33 a	65,90 a	28,77 a	FAL
Medias Profundidades	0 - 5	7,12 a	67,58 a	25,30 a	FL
	5- 10	6,96 a	66,40 a	26,64 a	FL
	10 -20	6,46 a	63,40 a	30,13 a	FAL
Medias Ambientes	Loma	7,41 a	65,68 ab	26,91 a	
	Media Loma	7,38 a	63,96 b	28,66 a	
	Bajo	5,75 b	67,75 a	26,50 a	

Ref.: FL: franco-limosa; FAL: franco-arcillo-limosa. Diferentes letras minúsculas en sentido vertical, indican diferencias significativas dentro de cada profundidad y fracción granulométrica (test F $p < 0,05$).

5.2.2. Densidad aparente

En las figuras 5, 6 y 7 - formadas por las subfiguras indicadas con las letras a hasta la h - se muestran los valores de Dap hallados cada 6 cm, desde la superficie y hasta los 48 cm de profundidad. Como complemento de las mismas, en la tabla 28 del Anexo I se detallan los valores de Dap registrados en las evaluaciones y sus respectivas medias de ambientes y tratamientos.

Se halló efecto del tratamiento sólo en el estrato 0- 6 cm de profundidad, en el momento de la siembra de soja y se detectó efecto del ambiente desde los 6 hasta los 24 cm, en diferentes profundidades y momentos del estudio. No se manifestaron interacciones de ambiente por tratamiento ni de TA por fecha.

En el momento de siembra del cultivo de soja, las parcelas CCC en 0-6 cm de profundidad, mostraron una Dap con diferencias significativas, 10 % menor respecto de las parcelas SCC. En los ambientes testeados, los menores valores de Dap se hallaron en el Bajo hasta los 18 cm de profundidad, con medias de 1,08, 1,23 y 1,31 g. g.cm⁻³ en 0-6, 6-12 y 12-18 cm, respectivamente, mientras que los mayores promedios de Dap se hallaron en la Media Loma hasta los 12 cm de profundidad, con 1,23 y 1,36 g.cm⁻³ en 0-6 y 6-12 cm, respectivamente.

Al contrastar los promedios de los distintos espesores evaluados, se observa que las menores densidades se registraron en superficie, con una media de 1,17 g.cm⁻³ en 0 – 6 cm, y las mayores densidades se hallaron en 12 - 18 cm de profundidad, con un promedio de 1,38 g.cm⁻³. Estos espesores se corresponden con el horizonte A del perfil del suelo. Desde los 24 cm y hasta los 48 cm, en coincidencia con los horizontes B1 y B21, las medias de Dap no superaron el valor de 1,32 g.cm⁻³.

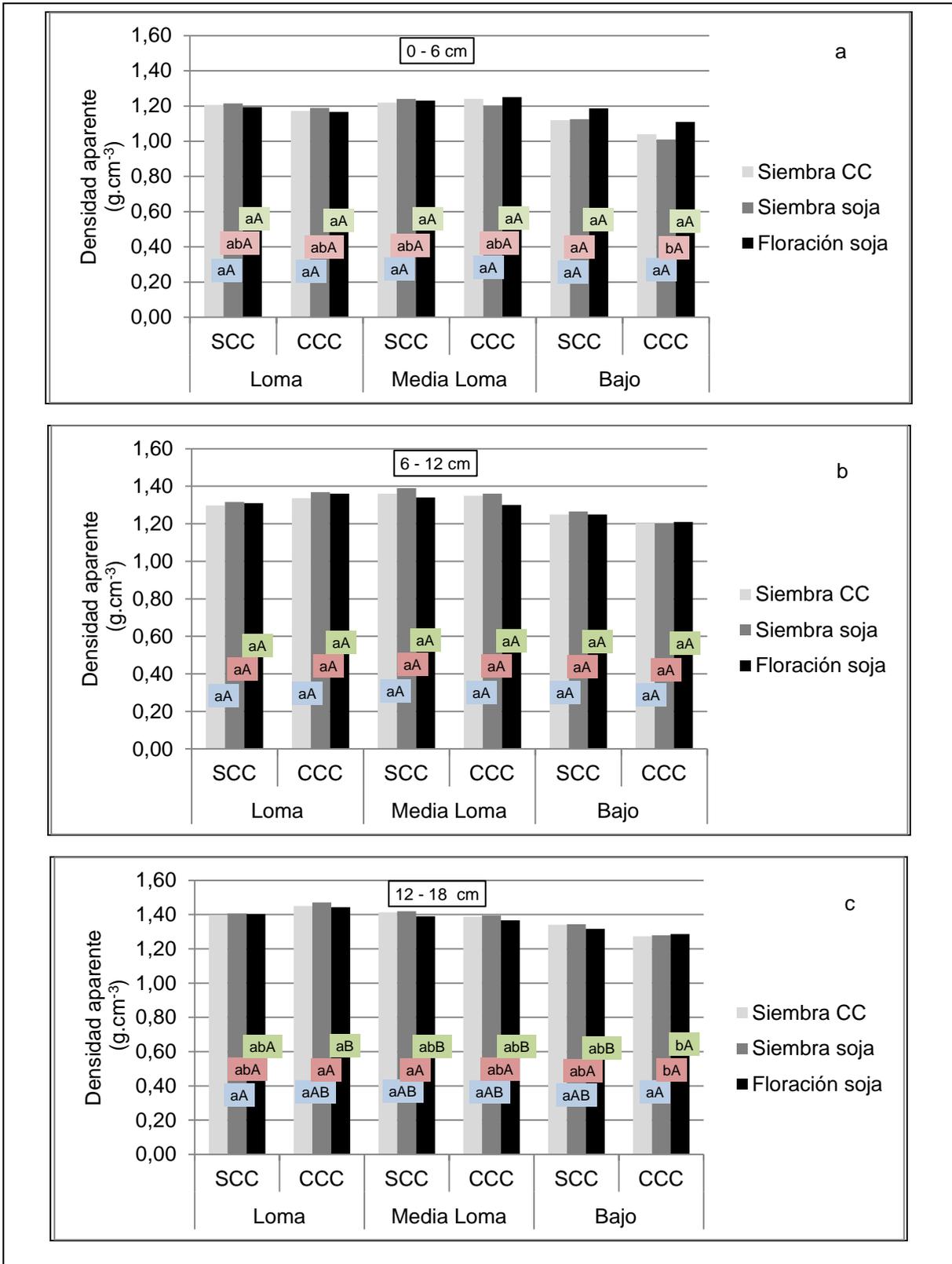


Figura 5. Valores medios de densidad aparente, en diferentes momentos de muestreo, Subfigura a: 0-6 cm, Subfigura b: 6 – 12 cm, Subfigura c: 12 – 18 cm. Ref: Dap: Densidad aparente; SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura. Diferentes letras minúsculas en sentido horizontal, indican diferencias significativas dentro de cada momento de muestreo, distintas letras mayúsculas en cada TA indican diferencias significativas entre fechas (test F p<0,05).

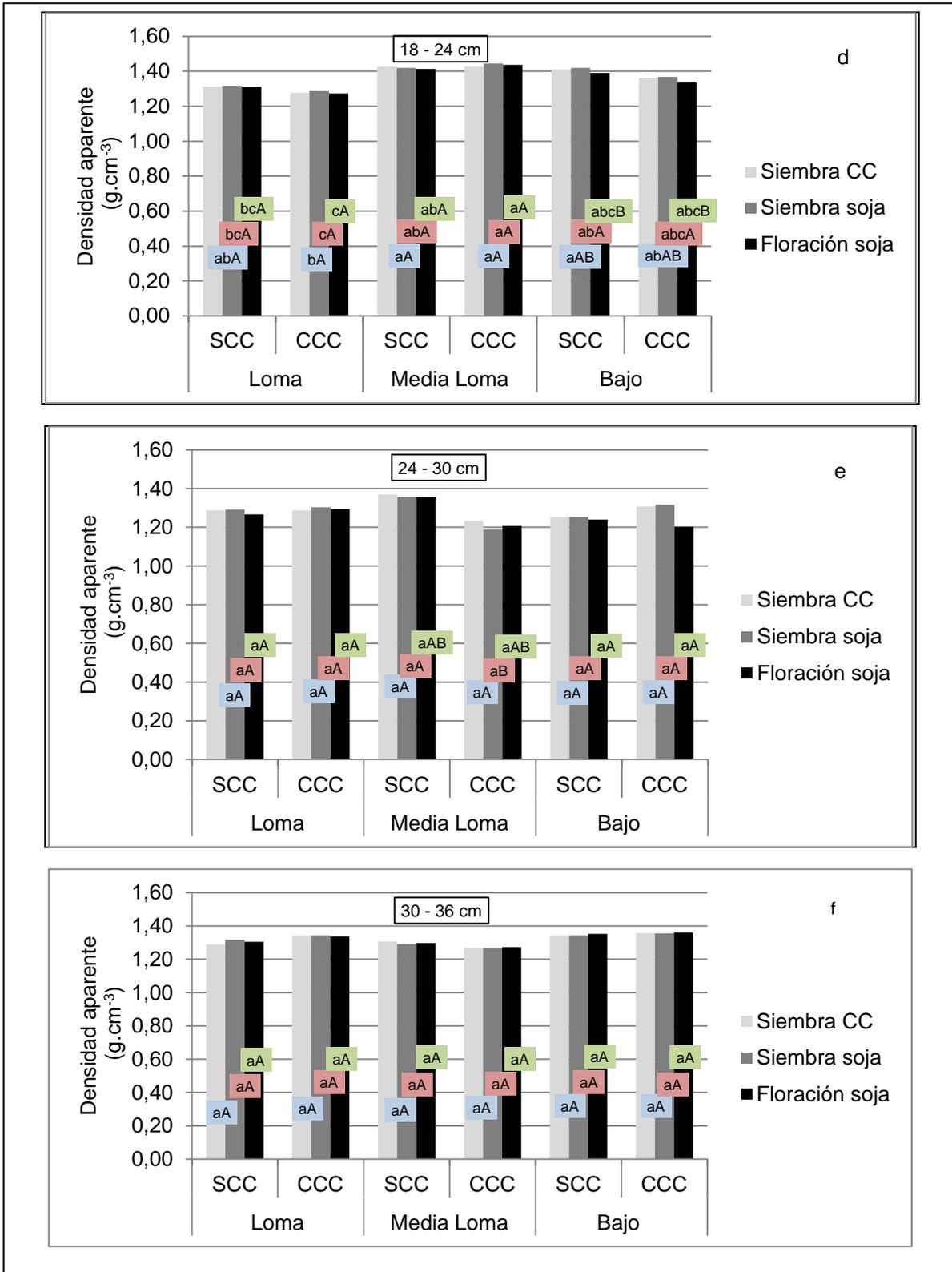


Figura 6. Valores medios de densidad aparente, en diferentes momentos de muestreo, Subfigura d: 18-24 cm, Subfigura e: 24 – 30 cm, Subfigura f: 30 – 36 cm. Ref: Dap: Densidad aparente; SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura. Diferentes Letras minúsculas en sentido horizontal, indican diferencias significativas dentro de cada momento de muestreo, distintas letras mayúsculas en cada TA indican diferencias significativas entre fechas (test F p<0,05).

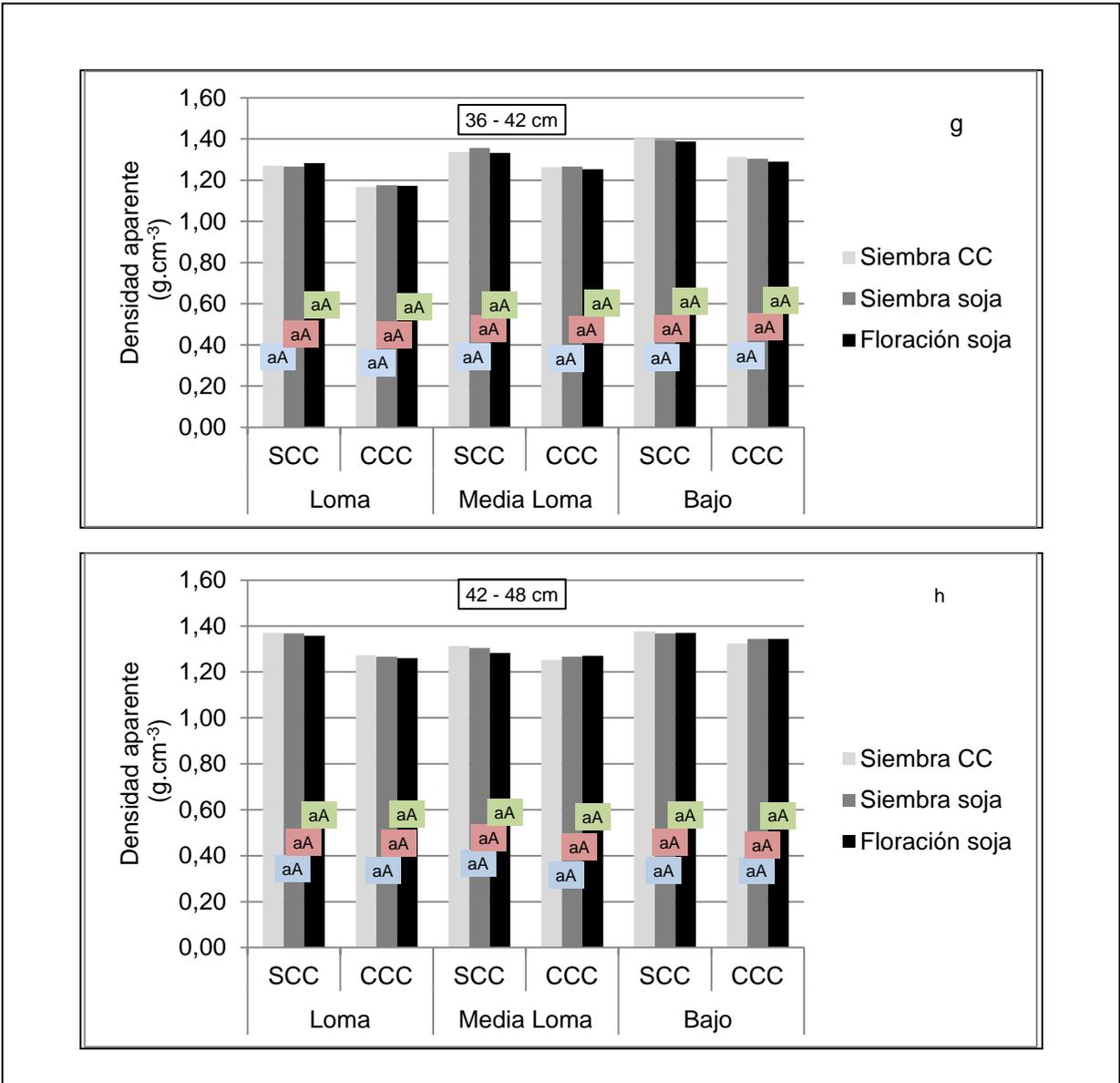


Figura 7. Valores medios de densidad aparente, en diferentes momentos de muestreo, Subfigura g: 36-42 cm, Subfigura h: 42 – 48 cm. Ref: Dap: Densidad aparente; SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura. Diferentes Letras minúsculas en sentido horizontal, indican diferencias significativas dentro de cada momento de muestreo, distintas letras mayúsculas en cada TA indican diferencias significativas entre fechas (test F $p < 0,05$).

5.2.3. Índice de estabilidad estructural

La estabilidad estructural, evaluada a través del IEA mostró efecto del ambiente y del tratamiento, sin interacción entre ambos, en el momento de siembra del cultivo de soja. En el muestreo posterior, efectuado en floración del cultivo, se halló interacción entre ambos efectos. Por otra parte, la interacción TA por fecha fue altamente significativa.

El IEA (Tabla 11) mostró un efecto significativo del tratamiento luego de la supresión del crecimiento de los CC, con un aumento del 72 % en las parcelas CCC respecto de las parcelas SCC. Como resultado de este efecto, los últimos registros en todas las parcelas CCC presentaron valores de IEA superiores a los iniciales, mientras que en las parcelas SCC fueron inferiores a los del comienzo. En floración de soja, la estabilidad estructural en Loma CCC y Bajo CCC mostró incrementos significativos de 57 y 65 %, respecto de Loma SCC y Bajo SCC, respectivamente. En tanto, en Media Loma CCC el aumento, si bien no significativo, fue del 22 % respecto de Media Loma SCC.

Tabla 11. Índice de estabilidad de agregados en porcentaje, en 0 – 10 centímetros, en los momentos de siembra de los cultivos de cobertura, siembra y floración de soja.

Ambiente	Tratamiento	Siembra de CC	Siembra de soja	Floración de soja
Loma	SCC	16,57 aA	12,37 bB	13,53 bB
	CCC	15,47 bB	20,01 aA	21,27 aA
Media Loma	SCC	12,37 dA	7,83 cB	12,00 bA
	CCC	12,10 dB	13,57 bAB	14,63 bA
Bajo	SCC	13,93 cA	10,87 bcB	13,17 bAB
	CCC	13,90 cB	19,73 aA	21,70 aA
Medias Tratamientos	SCC	14,29 a	10,36 b	12,90 b
	CCC	13,82 b	17,77 a	19,20 a
Medias Ambientes	Loma	16,02 a	16,19 a	17,40 a
	Media Loma	12,23 c	10,70 b	13,32 a
	Bajo	13,92 b	15,30 a	17,44 a

Ref: SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura. Diferentes letras minúsculas en sentido vertical, indican diferencias significativas dentro de cada momento de muestreo, distintas letras mayúsculas en sentido horizontal indican diferencias significativas entre fechas (test F $p < 0,05$).

Con respecto a los ambientes, en el momento de siembra del cultivo de soja, en Loma y Bajo se midieron valores de IEA que superaron en 51 y 43 %, respectivamente, al ambiente Media Loma. No obstante, la mayoría de los valores de IEA hallados en este estudio se califican como inestables (<20 %). Sólo en la Loma CCC, en siembra y floración de soja y en el Bajo CCC en floración de soja, se alcanzaron valores de IEA considerados como moderadamente estables (20-40 %).

Las muestras no disturbadas del sector aledaño al estudio, mostraron un valor de IEA de 54,2 %. Este registro se califica como estable, y representa aproximadamente siete veces el valor más bajo hallado, ubicado en Media Loma SCC en el momento de siembra del cultivo de soja.

5.3. Evaluación de la producción de materia seca del cultivo de cobertura y del cultivo de soja y su efecto en el agua útil disponible

En la Tabla 25 del Anexo I se detallan los niveles de probabilidad de los tests F, correspondientes a los análisis de las variables incluídas en este apartado.

5.3.1. Producción de materia seca aérea y contenidos de carbono del cultivo de cobertura y del cultivo de soja

La producción de MS aérea de los CC y su contenido de C (Tabla 12), no mostraron efecto significativo del ambiente, a pesar de que el Bajo presentó una cantidad de biomasa hasta 22 % superior a los otros ambientes. Ambas variables presentaron igual tendencia de incremento, desde la Loma hacia el Bajo.

Tabla 12. Producción de materia seca aérea y contenido de carbono, en megagramos por hectárea, de cultivos de cobertura y de soja en madurez fisiológica

Ambiente	Tratamiento	MS (Mg.ha ⁻¹)			Carbono (Mg.ha ⁻¹)		
		CC	Soja1	Soja 2	CC	Soja 1	Soja2
Loma	SCC	-	3,238 bc	5,086 bc	-	1,336 bc	2,200 b
	CCC	5,517 a	4,061 a	5,645 a	2,156 a	1,686 a	2,462 a
Media Loma	SCC	-	3,667 abc	4,717 cd	-	1,526 abc	2,060 bc
	CCC	5,602 a	4,116 ab	5,575 ab	2,226 a	1,717 a	2,478 a
Bajo	SCC	-	3,004 c	4,508 d	-	1,257 c	1,958 c
	CCC	6,734 a	3,722 ab	5,600 a	2,634 a	1,561 ab	2,412 a
Medias Tratamientos	SCC	-	3,303 b	4,770 b	-	1,373 b	2,073 b
	CCC	5,951	3,966 a	5,607 a	2,399	1,655 a	2,451 a
Medias Ambientes	Loma	5,517 a	3,650 a	5,366 a	2,156 a	1,511 a	2,331 a
	Media Loma	5,602 a	3,892 a	5,146 a	2,226 a	1,622 a	2,269 a
	Bajo	6,734 a	3,363 a	5,054 a	2,634 a	1,409 a	2,185 a

Ref.: MS: Materia Seca; Soja 1: hojas y tallos en R6; Soja 2: vainas con granos en R6; SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura. Para MS y C de CC: letras distintas en sentido vertical, indican diferencias significativas entre ambientes. Para MS y C de Soja 1 y Soja 2: letras distintas en sentido vertical, indican diferencias significativas entre TA ($p < 0,05$).

En el cultivo de soja en R6, la MS y el C de hojas y tallos (Tabla 12, Soja 1) y de vainas con granos (Tabla 12, Soja 2), mostraron efecto del tratamiento altamente significativo. En ningún caso se halló interacción de ambiente por tratamiento. Con incrementos de 20 y 21 % respectivamente, la MS y el C de Soja 1 en las parcelas CCC, superaron a los registrados en las parcelas SCC. En soja 2, ese aumento fue del 18 % para ambas variables.

Al considerar la sumatoria de la MS aérea producida por los CC y por el cultivo de soja, las parcelas CCC expresaron incrementos del 82% en Loma y Media Loma y del 114 % en el Bajo, respecto de las parcelas SCC. Similar tendencia mostraron los contenidos de C totales de la MS de los CC y la soja implantada a continuación, siendo 78, 79 y 106 % superiores en Loma, Media Loma y Bajo en las parcelas CCC, respecto de las parcelas SCC.

5.3.2. Impacto del cultivo de cobertura sobre el agua útil disponible

El AUD hasta 200 cm de profundidad, no mostró interacción de ambiente por tratamiento, en ninguna de las cinco fechas evaluadas. Se detectó una interacción de TA por fecha altamente significativa. El análisis entre fechas mostró que, los tratamientos CCC en todos los ambientes, presentaron niveles significativamente superiores de AUD en siembra y floración de soja. En los tratamientos SCC, se dio esta diferencia en siembra de soja, mientras que, en el momento de floración del cultivo, las reservas de AUD habían disminuido significativamente. Además, estos últimos - a excepción de la Loma – tuvieron significativamente más agua en el muestreo que coincidió con el secado en las parcelas CCC.

Al inicio del estudio (Figura 8) se halló efecto del ambiente. Con una media de 282 mm, el Bajo tuvo una disponibilidad de agua útil significativamente superior a Loma y Media Loma, que mostraron valores de 185 y 202 mm cada uno.

En el momento de secado de la cobertura vegetal (Figura 9), luego de 155 días de crecimiento, se encontró un efecto altamente significativo del tratamiento y significativo del ambiente. Las parcelas SCC y CCC mostraron una diferencia promedio de AUD de 25 mm en el perfil del suelo, a favor de las primeras.

Por su parte, Bajo, Loma y Media Loma mostraron promedios de 294, 258 y 245 mm respectivamente. La diferencia a favor del Bajo, fue estadísticamente significativa y representó un 14 y 20 % más de AUD que en Loma y Media Loma, respectivamente. En ningún caso, los perfiles estudiados estuvieron por debajo del 78 % del AUM en este momento del estudio.

En la siembra del cultivo de soja (Figura 10), luego de 28 días de barbecho, las parcelas SCC y CCC no mostraron diferencias significativas en el AUD. En ese momento, se encontró efecto significativo del ambiente y el AUD registrada fue de 298, 274 y 260 mm para Bajo, Loma y Media Loma, favorable significativamente al primero. Todas las parcelas en estudio, mostraron reservas superiores al 85 % del AUM.

En floración de soja (Figura 11), las parcelas SCC y CCC no presentaron diferencias significativas en el AUD y, al igual que en los muestreos anteriores, se halló efecto del ambiente, con una provisión significativamente superior de AUD en el Bajo. Las medias obtenidas fueron de 295, 256 y 244 mm en Bajo, Loma y Media Loma, respectivamente.

Si bien no se halló efecto del tratamiento, las parcelas CCC presentaron reservas de AUD superiores a las SCC en todos los ambientes, con un máximo de 20 mm más en Media Loma.

En R5 de la soja (Figura 12), no se hallaron efectos de tratamiento ni ambiente. Todas las parcelas disminuyeron significativamente sus niveles de AUD – a excepción del Bajo CCC- respecto del momento de floración del cultivo de soja. Las parcelas CCC mostraron mayores

reservas de AUD que las parcelas SCC, con 22 mm más de agua en el perfil evaluado, en promedio para los tres ambientes. Los contenidos de AUD oscilaron entre el 68 y el 94 % del AUM.

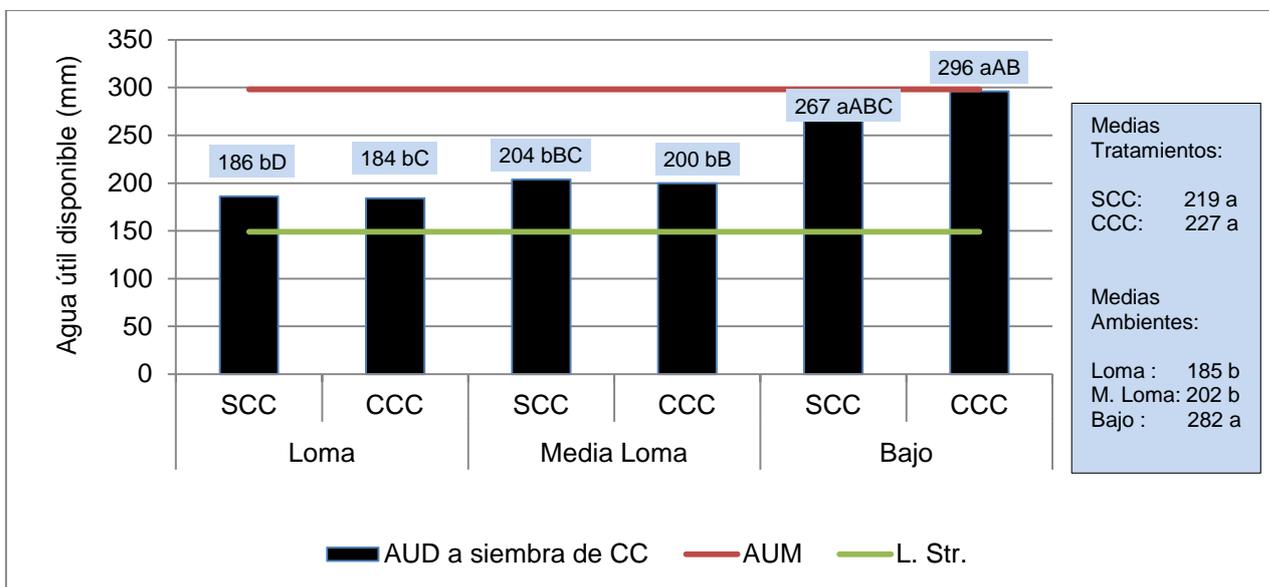


Figura 8. Lámina de agua útil disponible en milímetros, acumulada hasta 200 centímetros de profundidad a siembra de los cultivos de cobertura. Ref.: AUD: Agua Útil Disponible; AUM: Capacidad Máxima de Agua Útil del Suelo; L.Str.: 50% del Agua Útil Máxima; SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura. Diferentes letras minúsculas entre barras indican diferencias significativas en cada momento de muestreo, distintas letras mayúsculas entre gráficos para cada TA, indican diferencias significativas entre fechas (test F p<0,05).

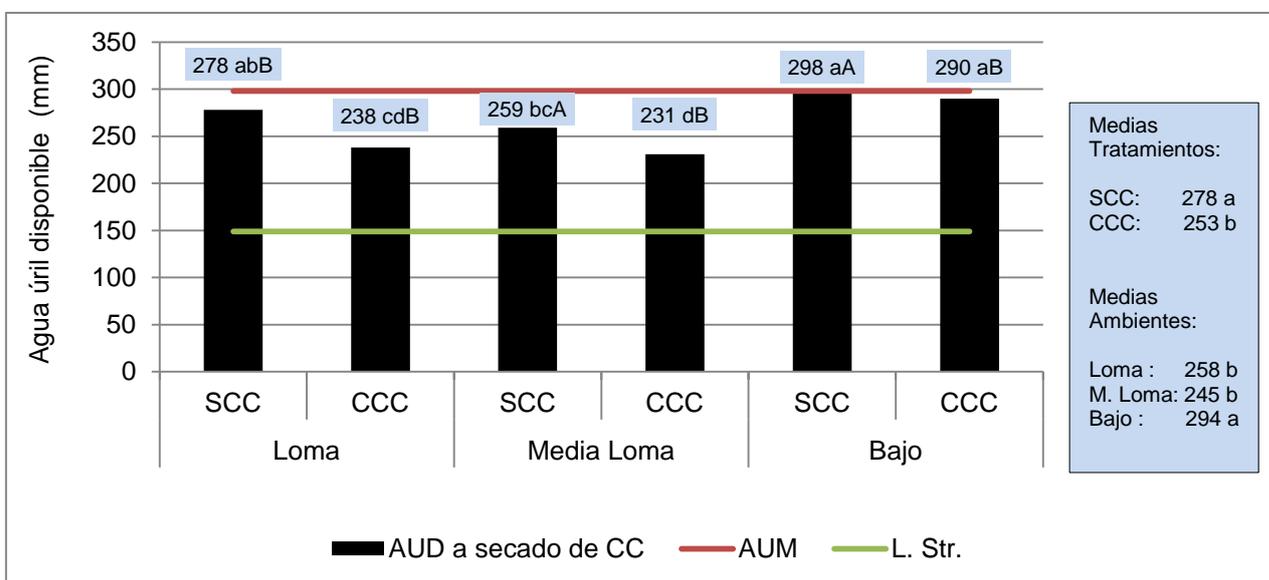


Figura 9. Lámina de agua útil disponible en milímetros, acumulada hasta 200 centímetros de profundidad a secado de los cultivos de cobertura. Ref.: AUD: Agua Útil Disponible; AUM: Capacidad Máxima de Agua Útil del Suelo; L.Str.: 50% del Agua Útil Máxima; SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura. Diferentes letras minúsculas entre barras indican diferencias significativas en cada momento de muestreo, distintas letras mayúsculas entre gráficos para cada TA, indican diferencias significativas entre fechas (test F p<0,05).

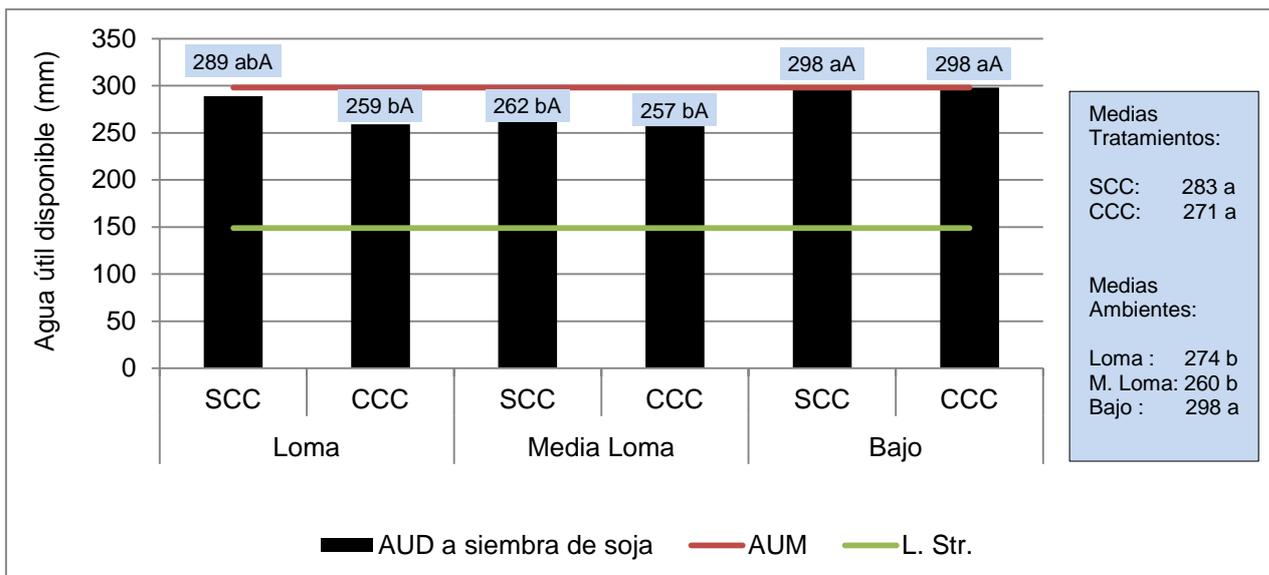


Figura 10. Lámina de agua útil disponible en milímetros, acumulada hasta 200 centímetros de profundidad a siembra del cultivo de soja. Ref.: AUD: Agua Útil Disponible; AUM: Capacidad Máxima de Agua Útil del Suelo; L.Str.: 50% del Agua Útil Máxima; SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura. Diferentes letras minúsculas entre barras indican diferencias significativas en cada momento de muestreo, distintas letras mayúsculas entre gráficos para cada TA, indican diferencias significativas entre fechas (test F $p < 0,05$).

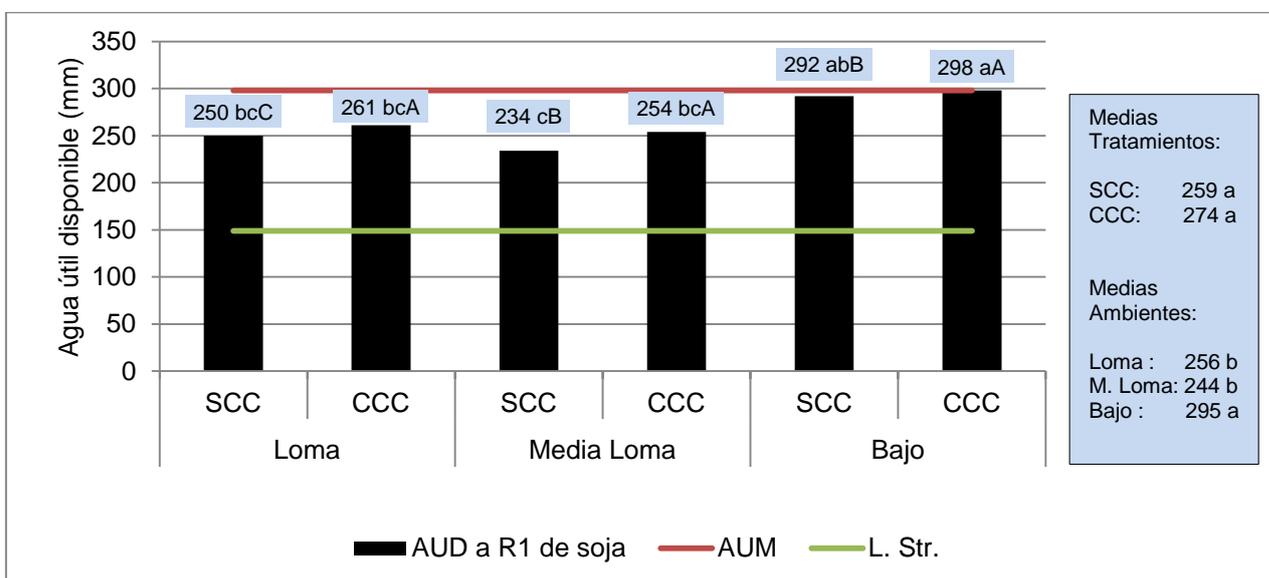


Figura 11. Lámina de agua útil disponible en milímetros, acumulada hasta 200 centímetros de profundidad a floración del cultivo de soja. Ref.: AUD: Agua Útil Disponible; AUM: Capacidad Máxima de Agua Útil del Suelo; L.Str.: 50% del Agua Útil Máxima; SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura. Diferentes letras minúsculas entre barras indican diferencias significativas en cada momento de muestreo, distintas letras mayúsculas entre gráficos para cada TA, indican diferencias significativas entre fechas (test F $p < 0,05$).

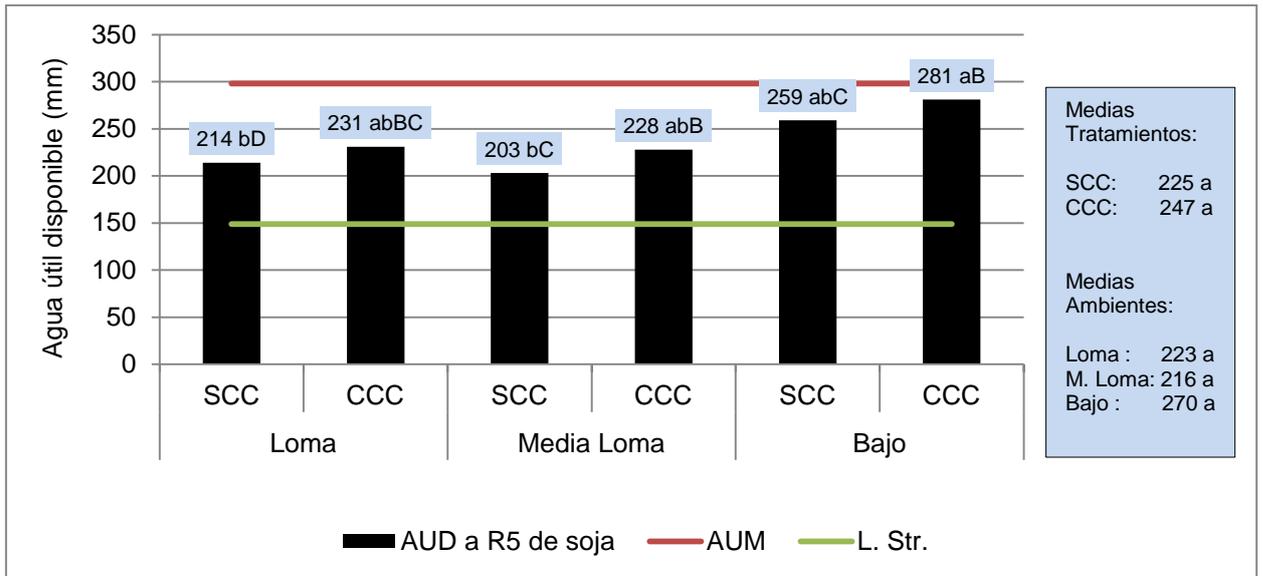


Figura 12. Lámina de agua útil disponible en milímetros, acumulada hasta 200 centímetros de profundidad, a inicio de llenado de granos del cultivo de soja. Ref.: AUD: Agua Útil Disponible; AUM: Capacidad Máxima de Agua Útil del Suelo; L.Str.: 50% de Agua Útil Máxima; SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura. Diferentes letras minúsculas entre barras indican diferencias significativas en cada momento de muestreo, distintas letras mayúsculas entre gráficos para cada TA, indican diferencias significativas entre fechas (test F $p < 0,05$).

5.3.3. Costo hídrico, uso consuntivo y eficiencia de uso del agua del cultivo de cobertura

El CH de los CC (Tabla 13) no mostró efecto del ambiente, si bien fue disminuyendo gradualmente desde la Loma hacia el Bajo. En la Media Loma y el Bajo, el CH representó el 70 y el 30 % respectivamente del registrado en la Loma.

Por su parte, los resultados obtenidos del UC mostraron un efecto significativo del tratamiento, sin interacción con el ambiente. Las parcelas CCC tuvieron 33 mm más de UC respecto de las parcelas SCC. También se evidenció una tendencia creciente del UC desde la Loma hacia el Bajo.

La EUA no mostró efecto del ambiente. No obstante, presentó los mayores valores en el ambiente Bajo y los menores en Media Loma, con un 9 % de diferencia entre ambos.

Tabla 13. Costo hídrico, uso consuntivo y eficiencia de uso del agua de los cultivos de cobertura

Ambiente	Tratamiento	CH mm	UC	EUA Kg MS.mm ⁻¹	PP mm
Loma	SCC		299 b		391
	CCC	- 40 a	337 ab	16,35 a	
Media Loma	SCC		336 ab		
	CCC	- 28 a	360 ab	15,59 a	
Bajo	SCC		360 ab		
	CCC	- 12 a	397 a	17,00 a	
Medias Tratamientos	SCC	-	332 b	-	
	CCC	- 25	365 a	16,31	
Medias Ambientes	Loma	- 40 a	319 a	16,35 a	
	Media Loma	- 28 a	348 a	15,59 a	
	Bajo	- 12a	376 a	17,00 a	

Ref.: CH: Costo Hídrico; UC: Uso Consuntivo; EUA: Eficiencia de Uso de Agua; PP: Precipitaciones; SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura. Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

5.4. Evaluación del efecto del cultivo de cobertura sobre la erosión hídrica

En la Tabla 26 del Anexo I, se detallan los niveles de probabilidad de los tests F correspondientes a los análisis de las variables relacionadas al proceso de erosión hídrica.

5.4.1. Condiciones superficiales del suelo

5.4.1.1. Cobertura superficial

El análisis de los resultados de la cobertura lograda por la biomasa aérea de los CC, luego de su secado y hacia inicios de floración del cultivo de soja, detectó efecto de ambiente, tratamiento e interacción de tratamiento por ambiente. Los valores obtenidos antes de la aplicación de las lluvias simuladas, mostraron que la cobertura superficial (Tabla 14) fue significativamente superior – 1,45; 2,37 y 0,94 veces más - en Loma CCC, Media Loma CCC y Bajo CCC, en comparación con Loma SCC, Media Loma SCC y Bajo SCC, respectivamente.

Tabla 14. Cobertura superficial del suelo en porcentaje, en siembra de los cultivos de cobertura y en inicios de floración del cultivo de soja

Ambiente	Tratamiento	Cobertura %	
		Siembra de CC	Inicio de Floración de soja
Loma	SCC	70 aA	38 cB
	CCC	72 aB	93 aA
Media Loma	SCC	59 aA	27dB
	CCC	60 aB	91 aA
Bajo	SCC	77 aA	50 bB
	CCC	79 aB	97 aA
Medias Tratamientos	SCC	69 a	38 b
	CCC	70 a	94 a
Medias Ambientes	Loma	71 a	66 ab
	Media Loma	60 a	59 b
	Bajo	78 a	74 a

Ref.: SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura. Diferentes letras minúsculas en sentido vertical, indican diferencias significativas dentro de cada momento de muestreo, distintas letras mayúsculas en sentido horizontal indican diferencias significativas entre fechas, (test F $p < 0,05$).

Se detectó interacción TA por fecha altamente significativa. La cobertura superficial aumentó significativamente entre la siembra de los CC e inicios de floración del cultivo de soja, un 29, 52 y 23 % en Loma CCC, Media Loma CCC y Bajo CCC respectivamente, y disminuyó el 46, 54 y 35 % en Loma SCC, Media Loma SCC y Bajo SCC, respectivamente.

5.4.1.2. Rugosidad superficial

La rugosidad superficial generada por los CC, luego de la supresión de su crecimiento, mostró efecto del tratamiento e interacción de tratamiento por ambiente, altamente significativos. En floración del cultivo de soja (Tabla 15), la RR tuvo valores en Loma CCC, Media Loma CCC y Bajo CCC que representaron 2,65; 6,79 y 2,10 veces los valores hallados en Loma SCC, Media Loma SCC y Bajo SCC, respectivamente.

Tabla 15. Rugosidad superficial en milímetros, a la siembra de los cultivos de cobertura e inicios de floración del cultivo de soja

Ambiente	Tratamiento	RR (mm)	
		Siembra de CC	Inicio de Floración de soja
Loma	SCC	7,2 aA	6,5 cA
	CCC	7,6 aB	17,2 bA
Media Loma	SCC	7,9 aA	2,9 dB
	CCC	7,3 aB	19,7 aA
Bajo	SCC	8,7 aA	7,8 cA
	CCC	7,6 aB	16,4 bA
Medias Tratamientos	SCC	7,9 a	5,7 b
	CCC	7,5 a	17,8 a
Medias Ambientes	Loma	7,4 a	11,9 a
	Media Loma	7,6 a	11,3 a
	Bajo	8,2 a	12,1 a

Ref.: RR: Rugosidad Superficial; SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura. Diferentes letras minúsculas en sentido vertical, indican diferencias significativas dentro de cada momento de muestreo, distintas letras mayúsculas en sentido horizontal indican diferencias significativas entre fechas, (test F p<0,05).

La interacción TA por fecha fue altamente significativa. La RR aumentó 126, 170 y 113 % en Loma CCC, Media Loma CCC y Bajo CCC respectivamente, en el lapso de tiempo entre siembra de los CC y floración de la soja. En ese tiempo, la RR de Loma SCC, Media Loma SCC y Bajo SCC disminuyó al 90, 37 y 90 % de sus valores iniciales, respectivamente.

5.4.2. Agua útil disponible antecedente en el espesor 0-20 centímetros

En la Figura 13 se muestran los contenidos de AUD en el espesor 0-20 cm, evaluados en forma previa a la aplicación de cada lluvia simulada. Se detectó efecto altamente significativo del tratamiento, sin interacción con el ambiente. Las parcelas CCC presentaron un 21 % más de agua que las parcelas SCC, en esta profundidad.

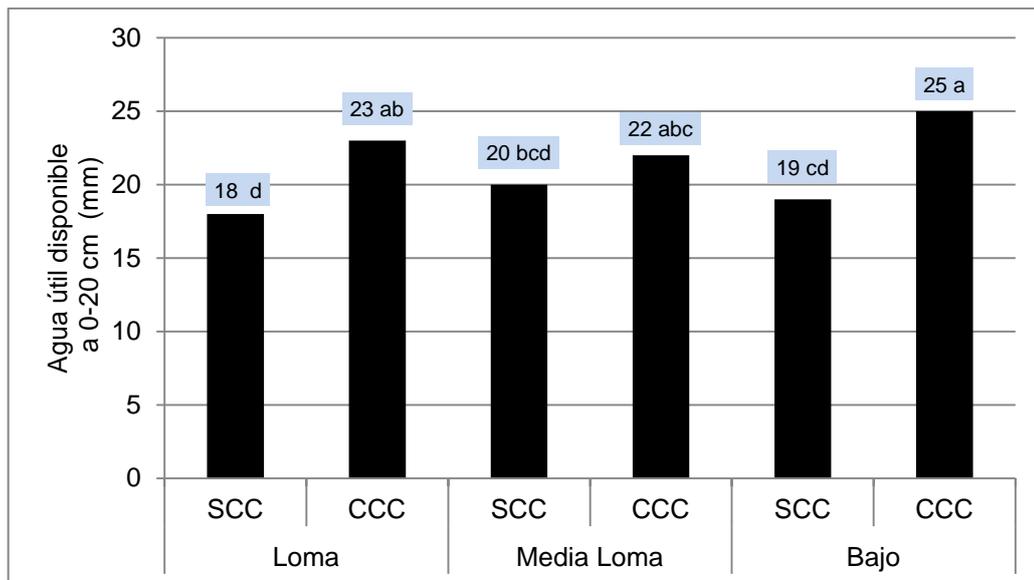


Figura 13. Agua útil disponible en milímetros, a 0-20 centímetros de profundidad, anterior a la aplicación de los tests de lluvias simuladas. Ref.: AUD: Agua Útil Disponible; SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

5.4.3. Tiempo de inicio del escurrimiento superficial

El análisis de los valores de T_i (Figura 14), detectó efecto del tratamiento e interacción de tratamiento por ambiente, altamente significativos. La cubierta vegetal generada por los CC, demoró el tiempo en que comenzaron a colectarse los escurrimientos de las lluvias simuladas.

En Loma CCC y Media Loma CCC, el T_i mostró un significativo retraso de 7 y 27 min, en comparación con Loma SCC y Media Loma SCC. En el Bajo CCC, en cambio, la demora del T_i fue de 5 minutos y no significativa respecto del Bajo SCC.

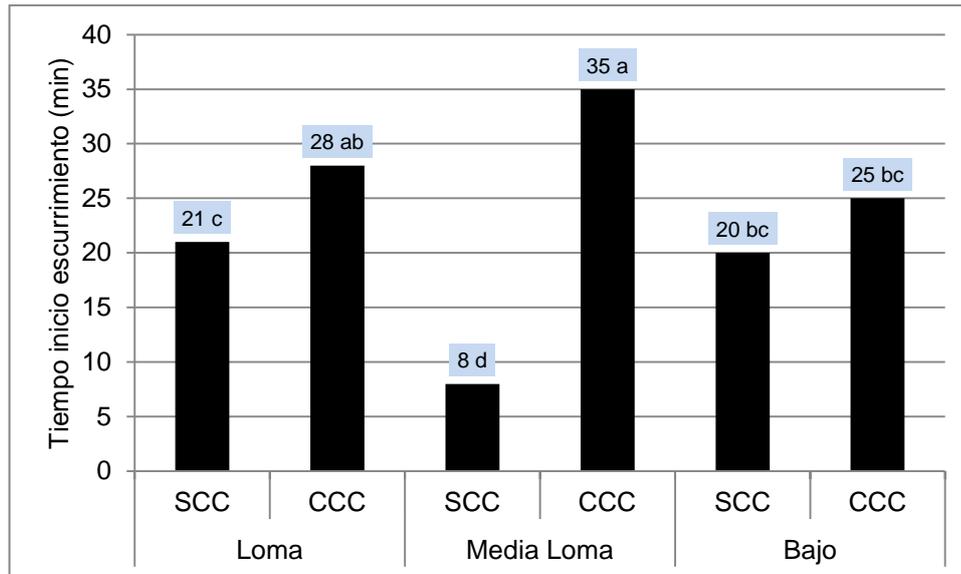


Figura 14. Tiempo de inicio del escurrimiento superficial en minutos.
 Ref.: SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura. Letras distintas Indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

5.4.4. Hidrogramas de escurrimiento superficial

En los hidrogramas presentados en las Figuras 15, 16 y 17 y las subfiguras que los componen - indicadas con la letra a hasta la letra f - se muestra la variación del escurrimiento superficial en función del tiempo, en cada test de lluvia simulada. También se detalla la pérdida total de agua registrada en cada uno de los mismos. De esta forma, se visualiza el proceso de escurrimiento superficial desde su inicio.

Los hidrogramas de cada lluvia simulada, presentaron diferentes variaciones del escurrimiento. El pico de escurrimiento fue de menor magnitud y se alcanzó más tarde, en las parcelas CCC respecto de las parcelas SCC. En Loma CCC, Media Loma CCC y Bajo CCC, el pico de escurrimiento - considerando el máximo individual registrado - fue de 43, 51 y 31 $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ y se alcanzó a los 53, 58 y 45 min, respectivamente. Por su parte, en las parcelas SCC, el pico de escurrimiento fue de 44, 55 y 43 $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ y se alcanzó a los 48, 33 y 43 min en Loma SCC, Media Loma SCC y Bajo SCC, respectivamente.

Las diferencias más importantes en el registro del pico de escurrimiento se dieron en el Bajo, ambiente en el cual el tratamiento CCC presentó una tasa máxima 28 % inferior a la del tratamiento SCC; y la mayor demora en alcanzarlo se logró en Media Loma CCC, respecto de Media Loma SCC y fue de 20 minutos.

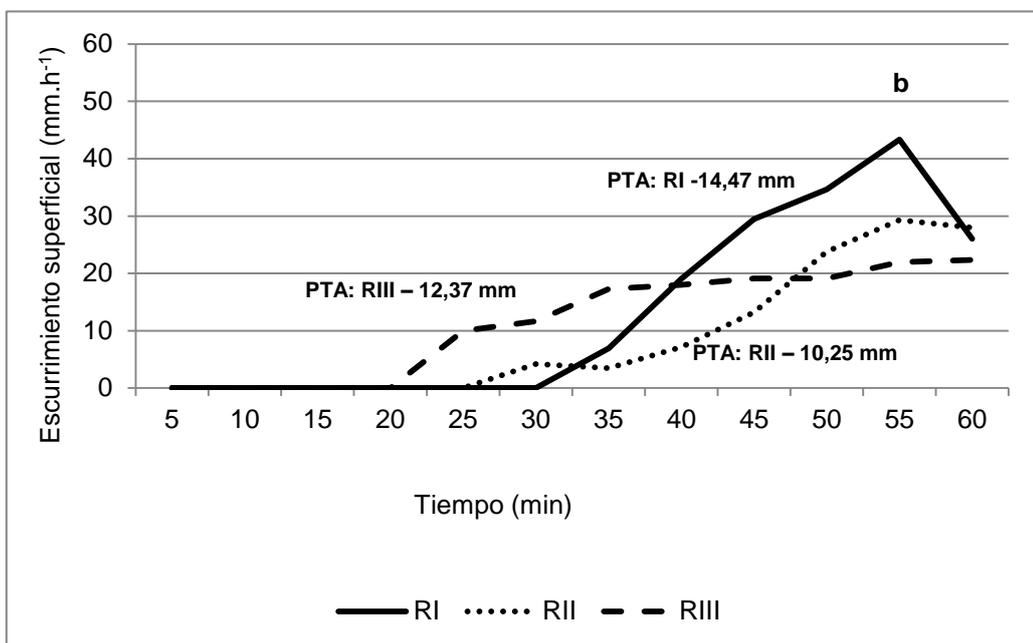
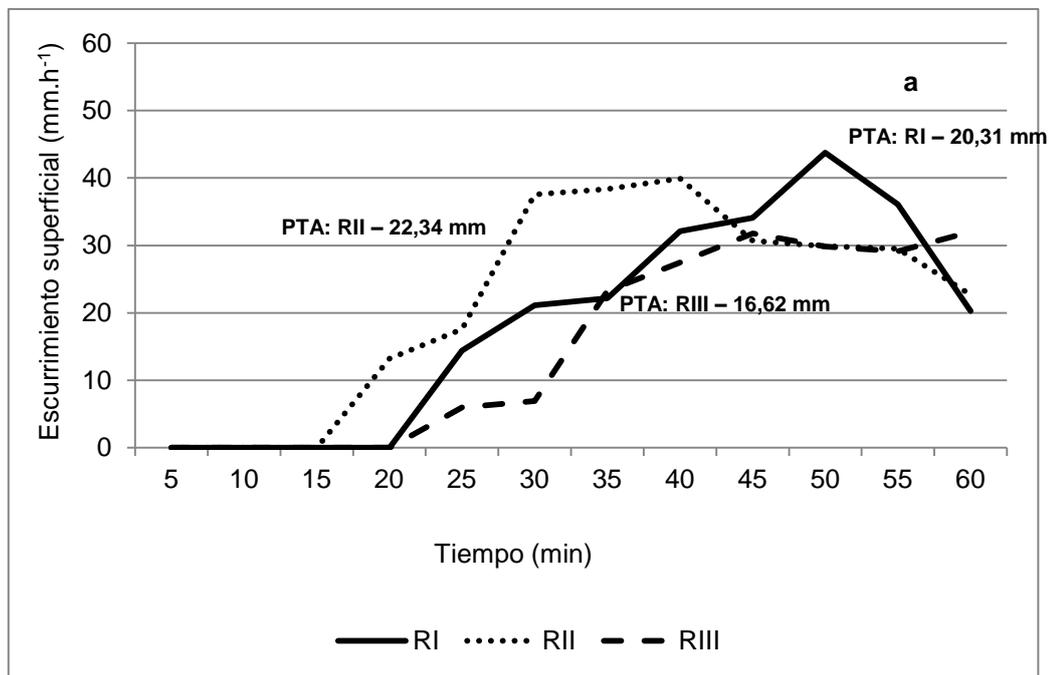


Figura 15. Escorrimento superficial, en milímetros por hora, en a: Loma SCC y b: Loma CCC, y en cada repetición de lluvia simulada. Pérdida total de agua por repetición en milímetros. Ref: PTA: pérdida total de agua; RI: repetición I; RII: repetición II; RIII: repetición III; SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura

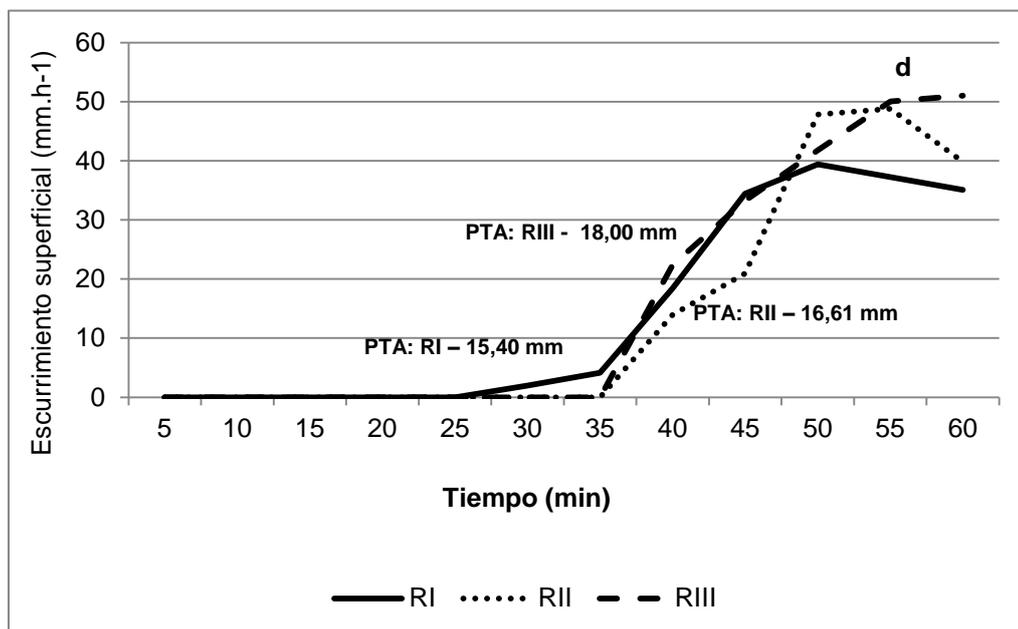
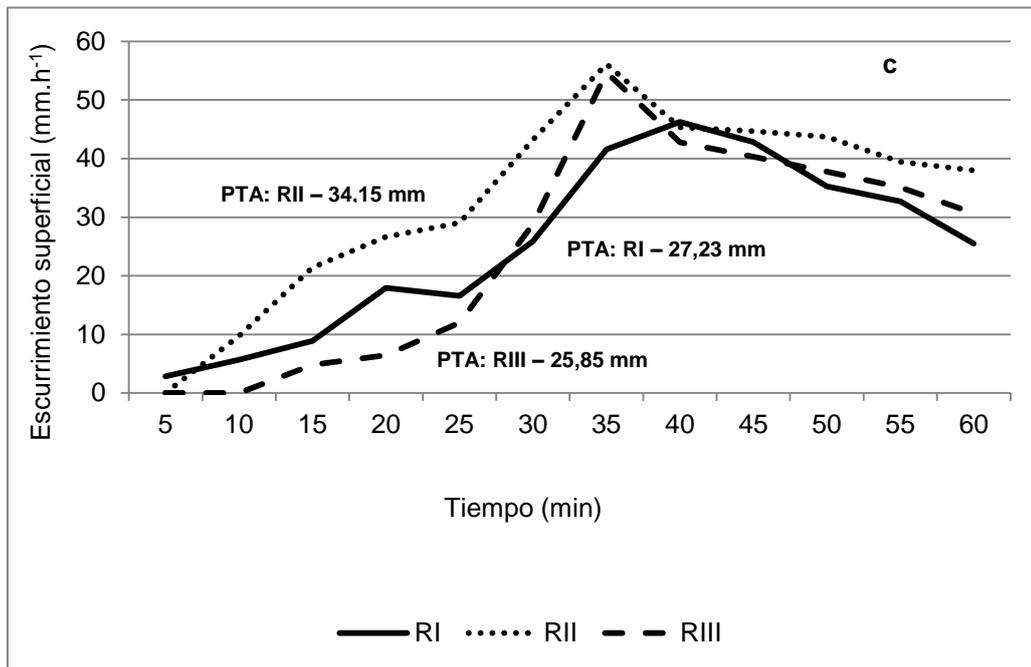


Figura 16. Esguerrimieuto superficial, eñ millímetros por hora, eñ c: Media Loma SCC y d: Media Loma CCC, y eñ cada repetición de lluvia simulada. Pérdida total de agua por repetición eñ millímetros. Ref: PTA: pérdida total de agua; RI: repetición I; RII: repetición II; RIII: repetición III; SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura

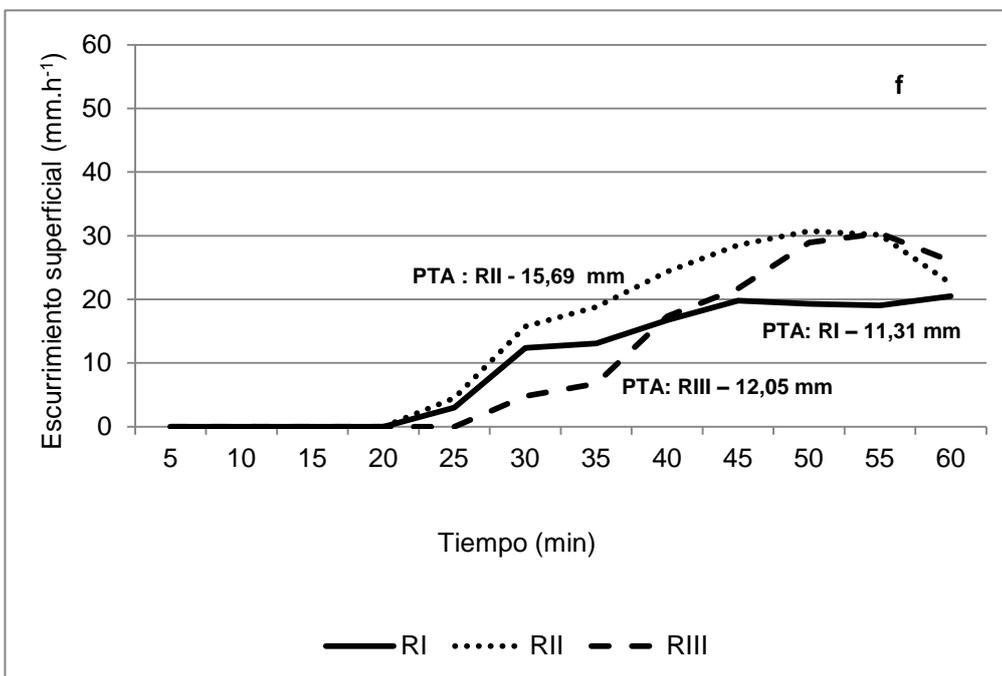
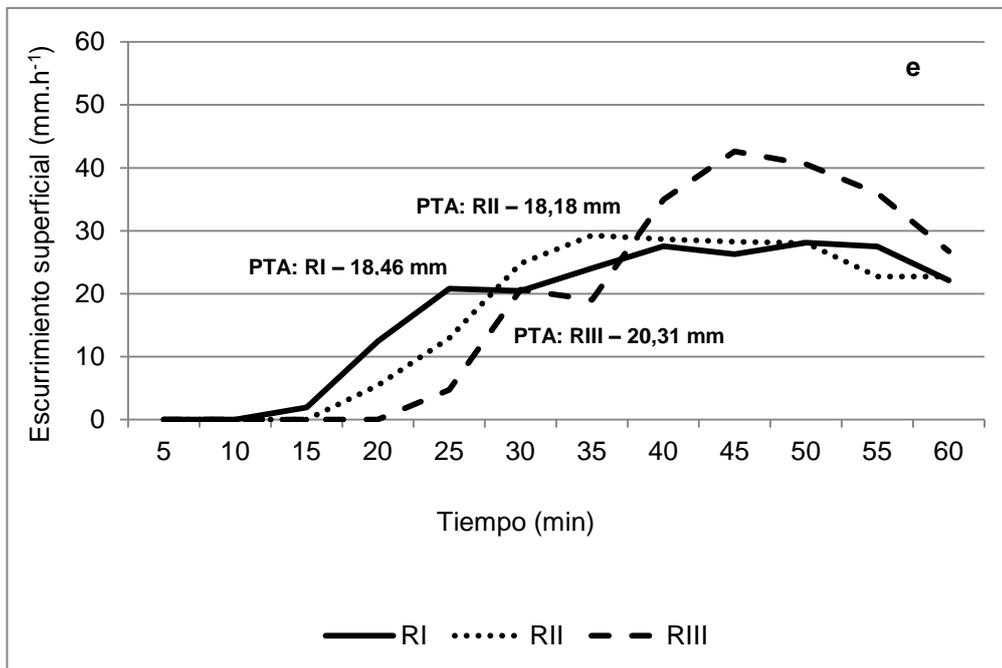


Figura 17. Esguerrimieuto superficial, en milímetros por hora, en e: Bajo SCC y f: Bajo CCC, y en cada repetición de lluvia simulada. Pérdida total de agua por repetición en milímetros.

Ref: PTA: pérdida total de agua; RI: repetición I; RII: repetición II; RIII: repetición III; SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura

5.4.5. Pérdida total de agua por escurrimiento superficial

Las pérdidas totales de agua por escurrimiento superficial (Figura 18), mostraron efecto de tratamiento y ambiente altamente significativos, sin interacción entre ambos. Los registros fueron superiores en las parcelas SCC con una media de 38 % de agua total perdida, mientras que en las parcelas CCC los valores fueron de 24 % en promedio. En los distintos ambientes, las pérdidas medias fueron de 27, 38 y 27 % respectivamente en Loma, Media Loma y Bajo.

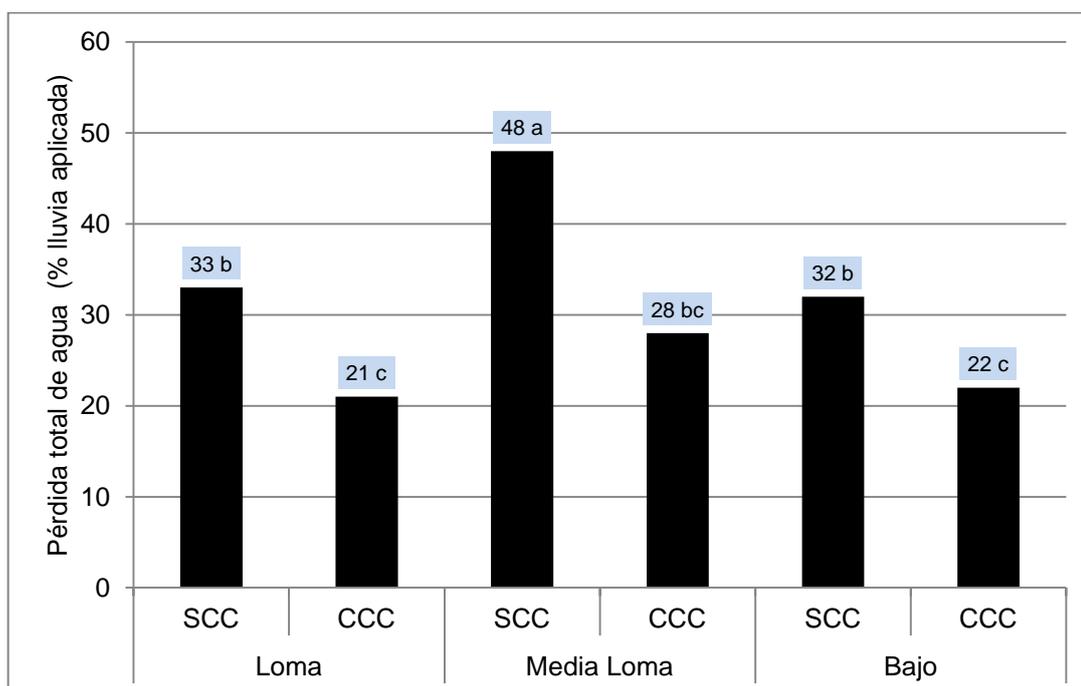


Figura 18. Pérdida total de agua por escurrimiento superficial, en porcentaje sobre la lluvia aplicada. Ref: SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

5.4.6. Coeficiente de escurrimiento

El CE mostró efecto significativo del ambiente y altamente significativo del tratamiento, así como interacción de tratamiento por ambiente. Al relacionar la cantidad total de agua escurrida y la cantidad total de agua aplicada durante la lluvia simulada, se observó que los CE (Figura 19) de Loma CCC, Media Loma CCC y Bajo CCC fueron significativamente inferiores – en 36, 43 y 31 %, respectivamente – a los obtenidos en Loma SCC, Media Loma SCC y Bajo SCC.

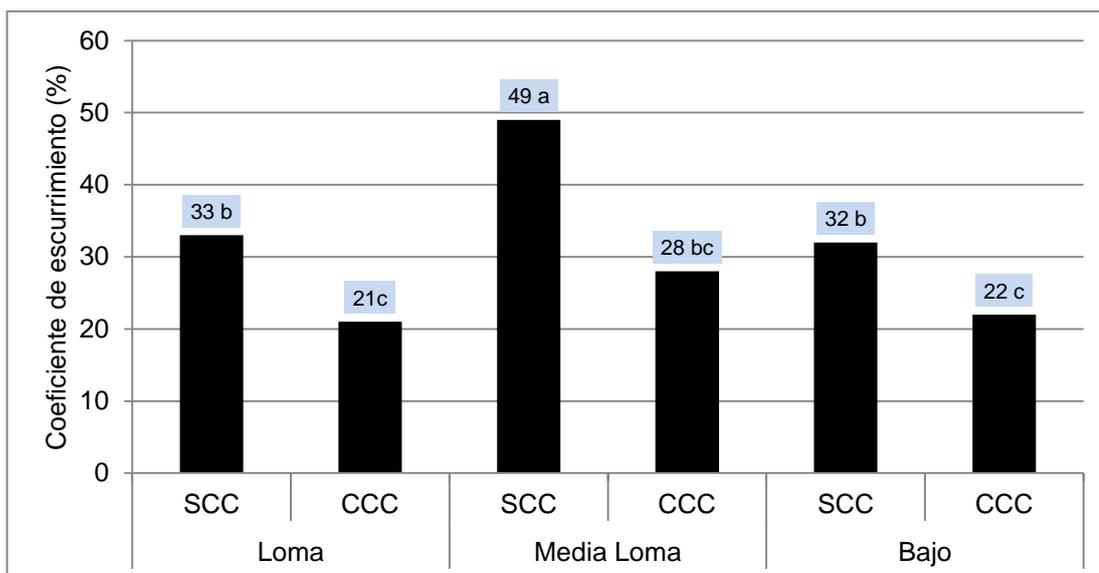


Figura 19. Coeficiente de escurrimiento en porcentaje. Ref: CE: Coeficiente de Escurrimiento; SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

5.4.7. Infiltración acumulada

En la Figura 20 se observa la IA, a lo largo de la lluvia simulada en los distintos TA. En el transcurso del estudio, se observó que la significación de los efectos simples – ambiente y tratamiento - fue mayor según avanzó el tiempo y la interacción entre ambos tendió a desaparecer en las sucesivas observaciones.

Hasta los 10 minutos del inicio de la lluvia, no hubo diferencias en los valores de IA entre las distintas parcelas. En el pulso de 10-15 minutos, Loma SCC comenzó a infiltrar significativamente menos agua que el resto de las parcelas y en el pulso de 20-25 minutos, todas las parcelas SCC habían infiltrado menos agua que las parcelas CCC, con promedios de 22,5 y 24,8 mm, respectivamente.

A los 50-55 minutos de iniciada la lluvia, la IA difirió significativamente, con promedios de 35,9 y 44,7 mm en las parcelas SCC y CCC respectivamente; y también mostró diferencias entre Loma y Bajo, respecto de Media Loma, con medias de 42,1; 42,0 y 36,8 mm respectivamente.

Al final de los tests de erosión, las parcelas SCC y CCC se diferenciaron estadísticamente, con promedios de 38,7 y 47,8 mm respectivamente, mientras que entre los ambientes, Loma y Bajo se diferenciaron significativamente de Media Loma con 45,0; 45,0 y 38,7 mm de IA, respectivamente.

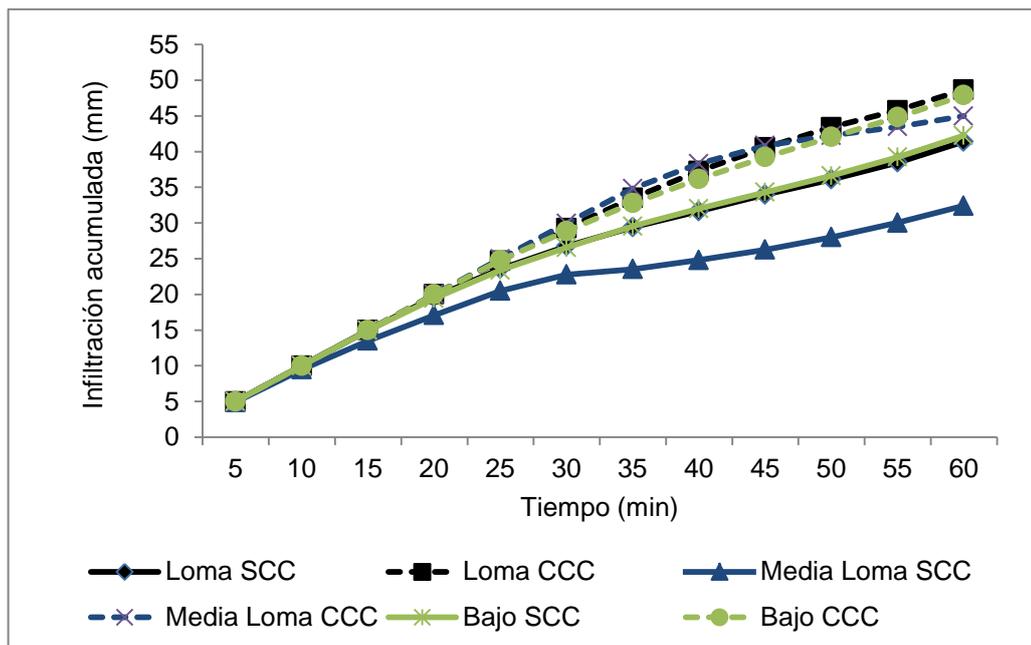


Figura 20. Infiltración total acumulada en milímetros.

Ref: IA: Infiltración total acumulada; SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura.

5.4.8. Pérdida total de suelo por erosión hídrica

El análisis de los valores registrados de pérdidas de suelo permitió detectar efectos altamente significativos de tratamiento y ambiente, sin interacción entre ambos. Las parcelas SCC (Figura 21) tuvieron pérdidas de suelo significativamente superiores a las parcelas CCC, con una media de 524 kg.ha⁻¹ en contraste con 131 kg.ha⁻¹ de promedio en las últimas. A su vez, el ambiente Media Loma mostró pérdidas de suelo significativamente superiores a los ambientes Loma y Bajo, con medias de 603, 244 y 136 kg.ha⁻¹ respectivamente.

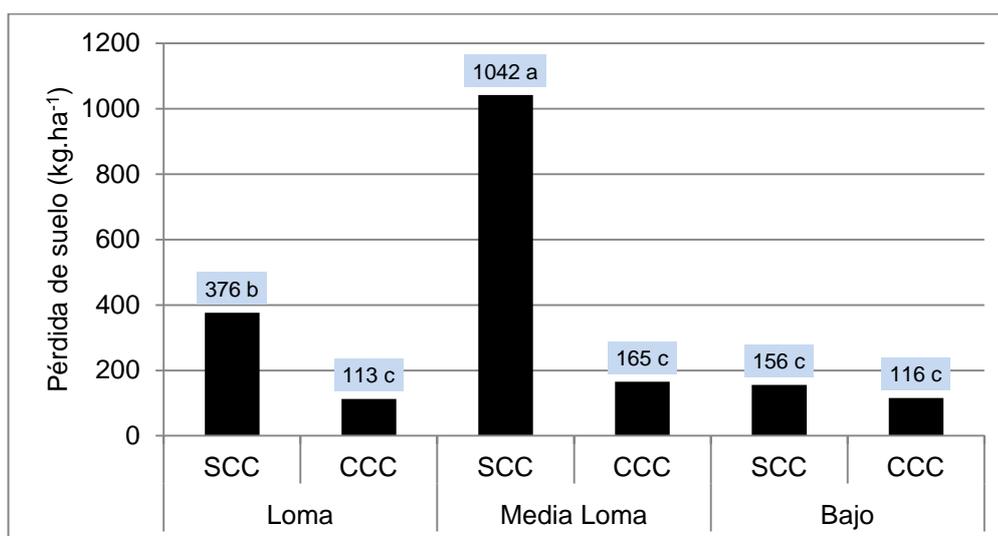


Figura 21. Pérdida total de suelo en kilos por hectárea, por erosión hídrica.

Ref: SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura Letras distintas indican diferencias significativas(p < 0,05).

5.4.9. Concentración de materia orgánica, carbono orgánico y nutrientes, pH y textura de los sedimentos erosionados

La concentración de MO en los sedimentos erosionados (Tabla 16) no mostró efectos de tratamiento, ambiente o interacción entre ambos. No obstante sus valores en las parcelas CCC fueron superiores a las parcelas SCC en todos los ambientes, con las mayores diferencias en el ambiente Media Loma.

En el CO de los sedimentos (Tabla 16) se manifestó efecto significativo de tratamiento y ambiente, sin interacción entre ambos. Como resultado de esto, las parcelas SCC y CCC tuvieron medias de 45 y 56 g.kg⁻¹ respectivamente, y los ambientes Loma, Media Loma y Bajo mostraron correspondientemente promedios de 59, 52 y 40 g.kg⁻¹.

Tabla 16. Concentración de materia orgánica, carbono orgánico y nutrientes, pH y textura de los sedimentos erosionados

Ambiente	Tratamiento	MO	CO	Nt	Pe	pH	Arena	Limo	Arcilla
		g.kg ⁻¹		mg.kg ⁻¹		(*)	(*)	(*)	(*)
Loma	SCC	91,7 a	53,50 ab	4,85 a	91 b	9,8	55	558	387
	CCC	107,9 a	65,07 a	4,72 a	216 a	9,6	72	397	531
Media Loma	SCC	68,3 a	43,43 b	4,38 a	84 b	9,9	83	615	302
	CCC	100,6 a	61,20 a	5,01 a	220 a	9,8	72	485	443
Bajo	SCC	94,7 a	39,20 b	3,90 a	247 a	9,8	83	553	364
	CCC	98,9 a	41,63 b	4,60 a	274 a	9,7	31	575	394
Medias Tratamientos	SCC	84,9 a	45,38 b	4,38 a	102 b	9,8	74	575	351
	CCC	102,5 a	55,97 a	4,78 a	195 a	9,7	58	486	456
Medias Ambientes	Loma	99,8 a	59,28 a	4,79 a	154 a	9,7	64	478	459
	Media Loma	84,5 a	52,32 ab	4,70 a	152 a	9,9	78	550	373
	Bajo	98,8 a	40,42 b	4,25 a	140 a	9,8	57	564	379

Ref: SCC: sin cultivos de cobertura; CCC: con cultivos de cobertura; MO: materia orgánica; CO: carbono orgánico; Nt: nitrógeno total; Pe: fósforo extractable. Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas ($p < 0,05$). (*) se realizaron los análisis sobre muestras únicas, por no disponerse de la cantidad requerida de sedimentos. No se realizó, por lo tanto, análisis estadístico.

Los resultados del Nt en los sedimentos (Tabla 16) no presentaron efectos de tratamiento, ambiente o interacción de ambos. No obstante, en Media Loma y Bajo las parcelas CCC mostraron 14 y 18 % más Nt respectivamente, que las parcelas SCC. Por su parte, en la concentración de Pe de los sedimentos erosionados (Tabla 16), no se detectó efecto de ambiente, pero sí efecto de tratamiento e interacción tratamiento por ambiente, altamente significativos. En Loma CCC y Media Loma CCC los valores de Pe fueron significativamente superiores, con incrementos de 137 y 162 % respecto de Loma SCC y Media Loma SCC. En Bajo CCC se halló un 11 % más de concentración de Pe que en Bajo SCC, diferencia que no fue significativa.

Las determinaciones de pH y textura de los sedimentos erosionados, sólo se pudieron realizar sobre muestras únicas en cada parcela, por no disponerse de la cantidad de suelo requerida para el análisis. Los valores de pH encontrados en los sedimentos no presentaron diferencias de importancia entre tratamientos. No obstante, sus registros fueron superiores a los del estrato 0-5 cm, en porcentajes que fueron del 62 al 67 %.

La textura hallada en los sedimentos varió según el tratamiento y ambiente considerado. Mientras la concentración de arena y limo de los sedimentos provenientes de las parcelas CCC fue más baja en la mayoría de los ambientes – a excepción de arena en Loma y limo en Bajo - la concentración de arcilla fue superior en todas las parcelas CCC.

5.4.10. Tasa de enriquecimiento de materia orgánica, carbono orgánico y nutrientes y variación de pH y textura en los sedimentos erosionados

La tasa de enriquecimiento de MO (Tabla 17) no mostró efecto de tratamiento, ambiente o interacción de ambos. Los sedimentos erosionados tuvieron en promedio 2,42 veces la cantidad de MO del suelo en superficie. El CO tuvo sólo efecto del ambiente, con tasas de enriquecimiento promedio de 2,56 y 2,62 en Loma y Media Loma, significativamente mayores que en Bajo, que tuvo una tasa calculada de 1,62.

En Nt no se detectaron efectos de tratamiento, ambiente ó interacción de éstos. Los valores de la tasa de enriquecimiento del nutriente oscilaron entre 2,21 y 3,07. Por el contrario, el análisis de la tasa de enriquecimiento del Pe detectó efectos significativos de tratamiento y ambiente, sin interacción entre ellos. Las medias fueron de 9,30 para las parcelas CCC y de 3,58 para las parcelas SCC. Los ambientes presentaron tasas de enriquecimiento en Pe promedio de 5,37; 10,50 y 3,46 en Loma, Media Loma y Bajo, respectivamente.

Tabla 17. Tasa de enriquecimiento de materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total y fósforo, y variación de pH y textura en los sedimentos erosionados, respecto del espesor 0-5 centímetros del suelo

Ambiente	Tratamiento	MO	CO	Nt	Pe	pH (*)	Arena (*)	Limo (*)	Arcilla (*)
Loma	SCC	2,54 a	2,47 ab	2,83 a	2,78 b	1,62	0,77	0,85	1,45
	CCC	2,57 a	2,65 a	2,43 a	7,89 b	1,59	1,01	0,60	1,98
Media Loma	SCC	2,14 a	2,35 ab	2,72 a	4,78 b	1,65	1,07	0,91	1,22
	CCC	2,71 a	2,89 a	3,07 a	16,19a	1,65	0,93	0,72	1,79
Bajo	SCC	2,27 a	1,70 b	2,21 a	6,01 b	1,67	1,30	0,80	1,51
	CCC	2,31 a	1,67 b	2,52 a	7,35 b	1,63	0,48	0,83	1,63
Medias Tratamientos	SCC	2,32 a	2,18 a	2,59 a	3,58 b	1,65	1,05	0,85	1,39
	CCC	2,53 a	2,41 a	2,67 a	9,30 a	1,62	0,81	1,60	1,8
Medias Ambientes	Loma	2,56 a	2,56 a	2,63 a	5,37 b	1,61	0,89	0,73	1,72
	Media Loma	2,43 a	2,62 a	2,89 a	10,50a	1,65	1,00	0,82	1,51
	Bajo	2,29 a	1,69 b	2,36 a	3,46 b	1,65	0,89	0,82	1,57

Ref: SCC: sin cultivos de cobertura; CCC: con cultivos de cobertura; MO: materia orgánica; CO: carbono orgánico; Nt: nitrógeno total; Pe: fósforo extractable. Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas entre TA ($p < 0,05$). (*) se realizaron los análisis sobre muestras únicas, por no disponerse de la cantidad requerida de sedimentos. No se realizó, por lo tanto, análisis estadístico.

A su vez, el pH de los sedimentos erosionados tuvo tasas de enriquecimiento de 1,59 a 1,67 respecto del suelo original, mientras que en las distintas fracciones granulométricas, las tasas variaron en función de su tamaño. De este modo, la arena mostró tasas que fueron desde 0,48 a 1,30 y en su mayoría más bajas en las parcelas CCC; el limo siempre tuvo tasas menores a la unidad y la arcilla fue la partícula que mostró tasas más altas, desde 1,22 hasta 1,98 y siempre mayores en las parcelas CCC.

5.4.11. Pérdidas totales de materia orgánica, carbono orgánico y nutrientes por erosión hídrica

Las pérdidas totales de MO (Tabla 16) en los sedimentos erosionados mostraron efecto altamente significativo del tratamiento e interacción significativa de tratamiento por ambiente. En Media Loma SCC las pérdidas de MO fueron significativamente superiores a Media Loma CCC, con un valor 3,3 veces superior. En Loma SCC y Bajo SCC las diferencias no fueron significativas con respecto a las parcelas con cobertura, si bien fueron 1,8 y 0,3 veces superiores a Loma CCC y Bajo CCC, respectivamente.

El CO tuvo pérdidas totales (Tabla 16) cuyos resultados expresaron efecto significativo del ambiente, altamente significativo del tratamiento y una significativa interacción de ambiente por tratamiento. Al igual que en MO, en Media Loma SCC las pérdidas de CO fueron significativamente superiores a Media Loma CCC, con un registro medio 3,5 veces superior. En los otros ambientes, las diferencias fueron no significativas, aunque 1,7 y 0,3 veces superiores en Loma y Bajo SCC respecto de Loma y Bajo CCC.

Las cantidades de Nt perdidas (Tabla 18) en los sedimentos erosionados expresaron efecto de ambiente, tratamiento e interacción ambiente por tratamiento altamente significativos. Loma SCC y Media Loma SCC perdieron 3,4 y 5,5 veces la cantidad perdida en Loma CCC y Media Loma CCC respectivamente. En el Bajo las diferencias fueron no significativas y las pérdidas de Nt en las parcelas sin cobertura significaron 1,15 veces las pérdidas de las parcelas con cobertura.

En las pérdidas de Pe (Tabla 18), al igual que en la variable anterior, se hallaron efectos de ambiente, tratamiento e interacción de ambiente por tratamiento altamente significativos. Sólo en Media Loma SCC las pérdidas fueron significativamente superiores a las registradas en las parcelas con cobertura, con un valor que representó 2,38 veces el valor de Media Loma CCC. En Loma SCC y Bajo SCC, las pérdidas significaron 1,38 y 1,22 veces las registradas en las parcelas con cobertura.

Tabla 18. Cantidades totales de materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total y fósforo, perdidas por hectárea durante las lluvias simuladas

Ambiente	Tratamiento	MO	CO	Nt	Pe
		-----	kg.ha ⁻¹	-----	g.ha ⁻¹
Loma	SCC	34,48 b	20,12 b	1,82 b	33,40 b
	CCC	12,20 b	7,35 bc	0,53 c	24,27 b
Media Loma	SCC	71,17 a	45,26 a	4,56 a	87,33 a
	CCC	16,60 b	10,10 bc	0,83 bc	36,67 b
Bajo	SCC	14,78 b	6,11 c	0,61 bc	38,10 b
	CCC	11,47 b	4,83 c	0,53 c	31,33 b
Medias Tratamientos	SCC	40,14 a	23,83 a	2,33 a	47,50 a
	CCC	13,42 b	7,43 b	0,63 b	26,00 b
Medias Ambientes	Loma	23,34 ab	13,74 b	1,18 b	29,27 b
	Media Loma	43,89 a	27,68 a	2,70 a	62,12 a
	Bajo	13,13 b	5,47 b	0,57 b	18,87 b

Ref: SCC: sin cultivos de cobertura; CCC: con cultivos de cobertura; MO: materia orgánica; CO: carbono orgánico; Nt: nitrógeno total; Pe: fósforo extractable. Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

5.5. Rendimiento del cultivo de soja

Los rendimientos de soja (Figura 22) sobre el CC mostraron efecto altamente significativo del tratamiento, así como efecto del ambiente e interacción ambiente por tratamiento significativos. Los rindes del cultivo presentaron incrementos significativos en Media Loma CCC y Bajo CCC, con valores 19 y 10 % mayores a Media Loma SCC y Bajo SCC, respectivamente. En Loma CCC, también hubo mayores rendimientos, pero no llegaron a ser significativos, respecto de los obtenidos en Loma SCC.

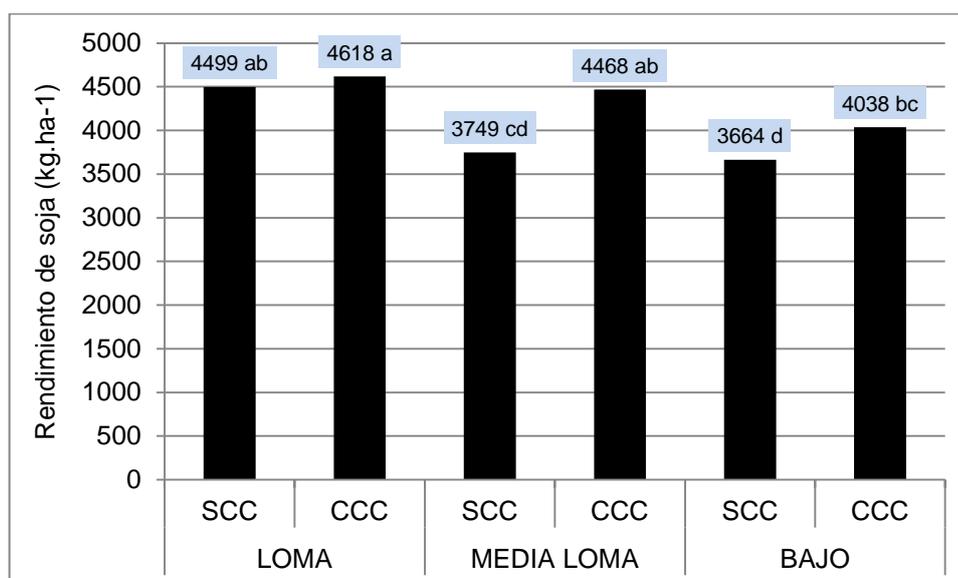


Figura 22. Rendimientos de soja en kilos por hectárea.

Ref.: SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura. Diferentes letras minúsculas, indican diferencias significativas (test F $p < 0,05$).

En cuanto al peso de mil granos (Tabla 19), el análisis de sus resultados mostró efectos altamente significativos de ambiente y tratamiento, sin interacción entre ambos. Las parcelas CCC tuvieron un P_{1000} promedio de 171 g, significativamente superior al P_{1000} de 167 g obtenido en las parcelas SCC. Por su parte, los ambientes Loma, Bajo y Media Loma presentaron P_{1000} medios de 175, 168 y 163 g respectivamente, todos con diferencias significativas entre sí.

El análisis del número de granos por metro cuadrado (Tabla 19), detectó efecto del tratamiento e interacción de ambiente por tratamiento, altamente significativos. La Media Loma CCC tuvo valores de NG significativamente superiores a Media Loma SCC. Por otra parte, Loma CCC y Bajo CCC también mostraron valores superiores a Loma SCC y Bajo SCC, pero las diferencias fueron no significativas.

Tabla 19. Peso de mil granos en gramos y número de granos por metro cuadrado del cultivo de soja

Ambiente	Tratamiento	P ₁₀₀₀	NG
		g	granos.m ⁻²
Loma	SCC	173 b	2598 ab
	CCC	178 a	2600 ab
Media Loma	SCC	162 c	2308 c
	CCC	164 c	2723 a
Bajo	SCC	164 c	2231 c
	CCC	173 b	2341 bc

Ref: SCC: sin cultivos de cobertura; CCC: con cultivos de cobertura. **P₁₀₀₀**: peso de mil granos; NG: número de granos por metro cuadrado. Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas (p < 0,05).

6. DISCUSIÓN

6.1. Propiedades químicas del suelo

6.1.1. Carbono orgánico total

El aporte de la materia seca de los CC pudo ser la causa del incremento del COT en 0 - 5 cm de profundidad, medido luego del secado de éstos. Esta tendencia positiva resultó en una mejora de la variable al final del estudio, en los distintos ambientes testeados.

Con resultados similares, Rillo et al. (2013) registraron sobre un Hapludol éntico, las mayores concentraciones de COT a 0-5 cm de profundidad con trigo como CC y las menores a 15-20 cm de profundidad en el testigo sin CC. También, en un ensayo de larga duración, Eiza et al. (2005) hallaron diferencias significativas de COT a 0-5 cm, a favor de los tratamientos que incluían pasturas. Por su parte, Alvarez et al. (2016) determinaron en un meta-análisis sobre 89 comparaciones de stocks de C, con y sin la incorporación de CC invernales, un aumento promedio del 7 % a 0-20 cm, si bien estos aumentos decrecían con el tiempo hasta valores muy bajos a los 5-6 años.

A diferencia de estos resultados, Queiroz Cunha et al. (2011) no observaron diferencias significativas en cuanto al tenor de COT a 0-10 cm y 10-20 cm, luego de 4 años de trabajo con leguminosas, gramíneas y vegetación espontánea como CC. Almeida et al. (2008), citados por Queiroz et al. (2011) tampoco hallaron diferencias significativas en los tenores de COT a 0-10 cm, 10-20 cm y 20-40 cm de profundidad en latosoles, luego de 3 años de evaluación de distintos CC. De acuerdo con Paustian et al. (1997), citados por Duval et al. (2016), los efectos a corto plazo de las prácticas de manejo del suelo sobre la evolución de su calidad son complejos y dependen también de otras condiciones, tales como la textura del suelo, el clima, sistema de cultivo y el tipo de residuo, así como del manejo actual.

En este estudio, la tendencia decreciente del COT en las parcelas SCC, durante el invierno y a todas las profundidades medidas, se debió posiblemente a una diferenciación temporal de esta variable, causada por el incremento de las temperaturas hacia la primavera. Esta condición aceleraría la tasa de descomposición de los rastrojos y de mineralización del CO, provocando el descenso del COT, cuando no hay un aporte de biomasa vegetal a partir de cultivos invernales.

Coincidentemente con estos resultados, Carabaca et al. (2010) midieron COT y sus fracciones en cinco momentos de muestreo, desde el otoño hasta la primavera, y registraron un efecto significativo de los mismos en todas las profundidades analizadas, con los menores valores a mitad de los meses de julio y octubre. En este sentido, Duval et al. (2016) al evaluar el efecto de buenas y malas prácticas agrícolas sobre el COT, consideraron que la primavera podría ser el mejor momento para el muestreo del suelo. Relacionando los resultados anteriores, se puede considerar que el aporte de MS en las parcelas CCC, no

sólo compensó la depresión estacional del COT, sino que además produjo incrementos del mismo en el estrato superior.

Luego de la siembra del cultivo de soja y a todas las profundidades estudiadas, el crecimiento del COT en las parcelas SCC, pudo probablemente mostrar el efecto del crecimiento de las raíces del cultivo. Baigorri (1997), evaluó que bajo condiciones favorables, la raíz principal de la soja y sus raíces laterales crecen rápidamente en estadios vegetativos y esta tasa de crecimiento radical se incrementa a floración de modo pronunciado, manteniéndose hasta el llenado de los granos. Las tendencias descriptas permitirían inferir que, las concentraciones de COT halladas en las parcelas CCC, incorporan los aportes del cultivo de soja en la secuencia estudiada.

En relación a los ambientes, los valores significativamente menores del COT en Media Loma respecto de Loma y Bajo, en todas las profundidades al inicio del trabajo y en el estrato superior más adelante, pudieron estar relacionados a los procesos erosivos que se dan en este ambiente. En este sentido, la evolución positiva de los valores de COT en el Bajo SCC, podría estar marcando los aportes de COT desde los ambientes superiores del relieve.

Con el objetivo de cuantificar procesos de degradación en sitios sometidos a monocultivo de algodón en el centro-este de Santiago del Estero, Albanesi et al. (2003) encontraron para planicie, ladera y depresión, concentraciones de 23,36; 24,40 y 25,94 g.kg⁻¹ de COT en los horizontes superficiales – 0 a 14 cm – y de 14,37; 12,99 y 16,04 g.kg⁻¹ en los horizontes subsuperficiales – 14 a 35 cm – respectivamente. Los autores concluyen que, el incremento significativo del COT en la depresión se dio posiblemente por arrastre lateral de materia orgánica desde la ladera y consideraron significativo el flujo de C hacia los horizontes subsuperficiales, los que constituyen una fuente y destino importante de nutrientes, no supuestos habitualmente.

También con origen en la erosión laminar, Becker et al. (2014) encontraron una disminución del 80 % del CO, respecto del suelo tomado como referencia, a 0-10 cm de profundidad en ecosistemas del centro-sur de la provincia de Córdoba. Estos autores analizaron mediante un set mínimo de indicadores, el impacto producido por la agriculturización, coincidiendo en sus resultados con otros trabajos sobre el tema (Becker, 2006; Becker et al., 2008; 2010; Ronco et al., 2012, citados por Becker, 2014).

6.1.2. Carbono orgánico particulado

Las diferencias de COP a 0-5 cm, en las parcelas CCC respecto de las SCC, a partir de la siembra del cultivo de soja, mostraron claramente el efecto de la inclusión de los CC en superficie. Duval et al. (2015) evaluaron el efecto de la rotación de cultivos sobre las fracciones orgánicas del suelo y midieron en promedio un 35 % más de COP a 0-20 cm en los sitios que implementaban buenas prácticas agrícolas. Asimismo, estos autores concluyeron que el aumento de la frecuencia de soja en la rotación disminuye el aporte de carbono por parte de los residuos, afectando tanto al COT como sus fracciones. Con resultados igualmente positivos, Salvagiotti et al. (2013) informaron que la inclusión de CC dentro de un monocultivo de soja, produjo incrementos del 21 % de las fracciones más

gruesas del C a 3,5 cm de profundidad del suelo, luego de 3 años de utilización de los mismos.

En forma similar al COT, la tendencia decreciente de los valores de COP en las parcelas SCC, desde el otoño hasta la siembra de soja, podría estar relacionada a la mineralización del CO hacia la primavera. En este sentido, Sttudert et al. (2014) evaluaron la variación estacional de COP bajo diferentes manejos y observaron efectos del año, labranza utilizada y nivel de fertilización. Los autores sugirieron que otros factores, como precipitaciones y temperatura, afectan la dinámica del proceso de la descomposición de los residuos (Gregorich et al., 2006; Casado-Murillo y Abril, 2013, citados por Studdert et al., 2014).

El incremento de los valores de COP en las parcelas SCC desde siembra a floración de soja, sólo mostró valores significativos en el Bajo. No obstante, esta tendencia positiva de los valores en todos los ambientes, de manera semejante al COT, pudo deberse al aporte de las raíces del cultivo de renta. Carabaca et al. (2010) evaluando raíces de maíz, registraron incrementos de COP entre octubre y diciembre y los atribuyeron al crecimiento radical del cultivo, favorecido por altas temperaturas y buena provisión de agua.

En referencia a los ambientes, si bien no significativas, las menores concentraciones de COP - al inicio del estudio y en superficie del ambiente Media Loma - pudieron tener origen, al igual que en COT, en las pérdidas por erosión hídrica según las prácticas de manejo previas al estudio. Del mismo modo, es posible considerar que las mayores concentraciones de COP en el Bajo, a siembra y floración de la soja, incluyeran aportes por arrastre desde la Media Loma. Esto coincide con lo antes mencionado por Albanesi et al. (2003).

6.1.3. Relación carbono orgánico particulado/carbono orgánico total

La relación COP/COT expresó claramente el efecto del aporte de los CC a siembra y floración de soja, en las parcelas CCC respecto de las SCC, a 0-5 cm de profundidad en todos los ambientes evaluados.

Esta tendencia también fue observada por Rillo (2012), cuando determinó relaciones COP/COT en el espesor 0-5 cm de profundidad, de 0,105; 0,173 y 0,148 para testigo, raigrás y avena respectivamente, utilizados como CC. Por su parte, Duval et al. (2014) registraron niveles de la relación COP/COT de 0,28; 0,22 y 0,20 en ambiente natural y suelo manejado con buenas y malas prácticas agrícolas, respectivamente, con valores mayores en suelos arenosos que en suelos de textura fina.

6.1.4. Nitrógeno total

La diferencia del Nt a 0-5 cm de profundidad entre las parcelas CCC y las SCC en el momento de la siembra de soja, estuvo dada posiblemente por una mayor provisión del nutriente a partir de los tejidos aéreos y radicales del CC, luego de la supresión de su crecimiento.

Con resultados similares, Boccolini et al. (2013) reportaron mayor cantidad de N en presiembra de soja, con respecto a floración del cultivo, cuando utilizaron vicia como CC antecesor de soja. Estos autores consideraron que los incrementos del nutriente pudieron deberse al aporte por parte de las raíces del CC. En estudios afines, Scianca et al. (2011) probaron vicia y centeno como CC y encontraron niveles variables de nitrógeno mineral, desde 4,3 hasta 60 kg ha⁻¹ en los primeros 60 cm de profundidad del suelo, hallando siempre los mayores aportes desde vicia.

Los resultados de Rivero et al. (2012) sobre Ultisoles y Oxisoles, mostraron diferencias significativas en las concentraciones de Nt y Nm (Nitrógeno mineral: N-NH₄⁺ y N-NO₃⁻) a favor de los tratamientos que incluyeron CC en base a leguminosas inoculadas con micorrizas y fertilización fosfatada. Sin embargo, Sainju et al. (2006), citados por Rivero et al. (2012) indican que el tiempo en el cual es posible observar estos efectos es, en buena medida, una función de la cantidad de biomasa que puedan producir los cultivos.

La disminución del Nt en 0-5 cm de profundidad, en floración y madurez fisiológica de soja, que en general se observó en todas las parcelas, posiblemente mostró el consumo del cultivo de renta en activo desarrollo. Dado que la depresión en los niveles de Nt fue más marcada en las parcelas CCC que en las SCC, es probable la ocurrencia de un consumo diferenciado en las primeras favorecido por mayores niveles de agua útil, situación que posibilitó una mayor producción final de MS de la soja.

Ernst (2004) evaluó trébol alejandrino (*Trifolium alexandrinum*) como CC y diferentes niveles de aportes de N en maíz, y comprobó que hasta V6 de este cultivo, el tratamiento con CC presentó una menor concentración de N mineral en suelo, lo que estaría determinado por la mayor extracción por parte del cultivo. El maíz creció un 14% más y absorbió un 23 % más de N por hectárea que sobre el tratamiento sin CC.

A diferencia de estos resultados, Rillo et al. (2013) midieron el Nm en el espesor 0-20 cm de suelo, a floración de maíz sobre vicia como CC y encontraron tenores hasta 54 % superiores, respecto del testigo sin CC.

6.1.5. Relación carbono/nitrógeno

Los menores valores de la relación C/N, medidos a siembra de soja mostraron posiblemente, el mayor grado de mineralización de la MO durante la época de temperaturas medias más elevadas del año y no reflejaron el impacto de la inclusión de los CC. De esta forma, esta variable de cálculo probablemente reflejó la evolución temporal causada por las variaciones climáticas estacionales, citadas en la discusión del COT.

A fin de evaluar el impacto del uso de la tierra en la relación C/N, Nieto et al. (2015) compararon vegetación natural con agricultura y observaron una reducción de la variable en las zonas cultivadas. En este sentido, Garay (2015) midió el impacto del cambio de uso de la tierra en Hapludoles y Argiudoles a través de la inclusión de forestales, en un período

prolongado de años, y registró significativos incrementos en las relaciones C/N respecto de las originales del pastizal.

Los menores valores de C/N a mayor profundidad, se condicen con la paulatina disminución del COT al avanzar hacia estratos inferiores. A diferencia de estos resultados, Carvajal Vanegas (2008), encontró en Arjudoles típicos e Inceptisoles los valores más altos de la relación C/N en el estrato de 20-30 cm de profundidad. También comprobó que los suelos ubicados a mayores altitudes, mostraban los mayores valores de la relación C/N.

6.1.6. Fósforo extractable

La disminución del P en las parcelas CCC respecto de las SCC en superficie, pudo deberse al consumo de este nutriente por parte de los CC – en especial de la vicia – y de las plantas de soja implantadas sobre ellos, que lograron una mayor producción de MS. La mayor cantidad de biomasa producida por el cultivo de renta en las parcelas CCC, pudo generarse posiblemente a través del consumo del mineral del suelo y del P reciclado desde los residuos de los CC.

Según Suñer et al. (2005) las disminuciones significativas de P en las rotaciones que incluyen leguminosas en siembra directa, podrían deberse a los altos requerimientos del mineral por parte de estas especies, y a la menor frecuencia de labranzas, que disminuye la descomposición del P asociado a la materia orgánica. De esta manera, según la autora, las leguminosas en siembra directa alteran las proporciones de P orgánico e inorgánico, haciendo que los valores detectados por el método de Bray-Kurtz sean más bajos. Cabe aclarar que esto es válido cuando las rotaciones se comparan con otras conducidas con sistemas de mayor remoción del suelo.

La estratificación superficial del P, encontrada en este estudio, ya fue citada en trabajos anteriores. Otros autores (Shear y Moschler, 1969; Griffith et al., 1977; Ketchenson, 1980; Randall 1980; Moncrief y Schulte, 1982; Timmons, 1982; Cruse et al., 1983; Mackay et al., 1987; Karathanasis y Wells, 1990; Karlen et al., 1991; Rehm et al., 1995, citados por Bordoli, 2001) explican que la falta de incorporación de los residuos de cultivos y de los fertilizantes fosfatados, junto con el ciclaje de nutrientes de los cultivos desde capas más profundas del suelo, produce estratificación de los nutrientes inmóviles como P, en la superficie del mismo. También Kiessling (2012) evaluó el contenido y la distribución de las diferentes formas de P edáfico y destacó que el efecto más notorio del P en el suelo, entre distintos sistemas de labranza, fue la estratificación que se produjo en siembra directa y que todas las formas de P fueron mayores en superficie que en profundidad.

En cuanto a los ambientes evaluados, las diferencias iniciales de P entre ambientes, ponen de manifiesto el efecto acumulado del proceso erosivo, a través de la pérdida del mineral en la Media Loma y el incremento del P en el Bajo. En trabajos similares al presente, Besteiro y Descalzo (2016) determinaron que los contenidos de P disponible se vieron afectados de forma significativa por la condición topográfica y los cambios de cobertura del suelo, de

modo tal que los mayores contenidos de este nutriente se encontraron en situaciones de relieve bajo y en su caso, con presencia de cobertura forestal.

6.1.7. Azufre de sulfatos

Los mayores niveles de S-SO₄ de las parcelas CCC, registrados al final del estudio en los dos estratos superiores, mostrarían los aportes del nutriente desde la biomasa de la cobertura generada. Galantini et al. (2000) explican que la incorporación de material vegetal contribuye a mantener los niveles de S en la MO del suelo. No obstante, según Fox y Bandel (1986) y Linn y Doran (1984), citados por Reussi Calvo et al. (2006), considerando que la MO es la principal fuente de S de los suelos, la implementación de la siembra directa disminuye la disponibilidad de este nutriente, producto de las menores tasas de mineralización respecto al sistema de labranza convencional.

6.1.8. pH

La estabilidad de los valores de pH registrados, mostró que este parámetro no fue sensible a los tratamientos evaluados. En este sentido, Carrasco et al. (2013) evaluaron la calidad química de suelos, en función de un manejo mixto o de un manejo netamente agrícola y el pH no resultó ser un indicador sensible a los cambios de uso de suelo, ni a las series de suelo analizadas.

Igualmente, Scianca et al. (2013) evaluaron el impacto de distintas gramíneas como CC y el pH no presentó diferencias entre tratamientos; si bien se observó una tendencia hacia la acidificación en los estratos más superficiales, probablemente debido al incremento de la actividad biológica, por la descomposición de los residuos de los CC.

6.2. Propiedades físicas sub-superficiales del suelo

6.2.1. Textura

Al comparar los porcentajes de las diferentes fracciones granulométricas hallados en este estudio con los valores de la carta de suelos de la región, se observan menores valores de limo y mayores valores de arcilla en el estrato superior de todos los ambientes, así como menores contenidos de la fracción arena en el ambiente Bajo. Estas variaciones posiblemente tienen origen en la acción de los agentes atmosféricos de la región y del manejo productivo de esos ambientes. En este sentido, Colazo y Buschiazzo (2015) evaluaron los cambios texturales inducidos por la erosión eólica, en suelos cultivados de diferentes texturas y encontraron que el contenido de limo más arcilla fue menor en suelos cultivados que en suelos sin cultivar en la mayoría de los sitios.

En un trabajo anterior, Buschiazzo y Taylor (1993), plantearon que la textura del material parental del suelo es uno de los parámetros que rige la magnitud del proceso erosivo y estudiaron suelos franco-arenosos y arenoso-francos. Los autores confirmaron un efecto más pronunciado de la erosión eólica sobre el suelo con textura más gruesa.

6.2.2. Densidad aparente.

En este estudio, salvo en un par de comparaciones, no se encontró relación entre esta propiedad del suelo y los tratamientos de cobertura, con cambios permanentes en ninguno de los ambientes estudiados. Los valores de Dap hallados tuvieron posiblemente más relación con la textura, la posición en el relieve de cada ambiente y la historia de manejo del lote.

La falta de respuesta de la Dap en situaciones similares a las de este trabajo, ha sido citada por otros autores. Sasal y Andriulo (2005) no observaron efectos en la Dap usando nabo forrajero (*Raphanus sativus*) como CC. Tampoco Alvarez et al. (2016) registraron cambios significativos en los valores de Dap, entre tratamientos CCC y SCC, en cinco ensayos conducidos en las regiones subhúmeda pampeana y semiárida argentinas. En trabajos previos, Alessandria et al. (2013), con ensayos de larga duración conducidos en la región central de Córdoba, encontraron que la Dap se mantuvo estable un cierto número de años, al incluirse CC ó maíz en una secuencia agrícola, mientras que tuvo un paulatino y significativo aumento en el monocultivo de soja.

A diferencia de estos resultados, Gudelj et al. (2016) hallaron el menor valor de Dap en 5 – 10 cm de profundidad, en el tratamiento que incluyó CC en su secuencia, cuando contrastó fertilización y CC en secuencias de cultivos en siembra directa continua. En el centro-oeste de Entre Ríos, Caviglia et al. (2013) observaron una menor Dap en vertisoles, en las secuencias que presentaron mayor nivel de intensificación, por la inclusión de un cultivo para grano o un CC durante el invierno.

6.2.3. Índice de estabilidad estructural

Las diferencias halladas en las parcelas CCC con respecto a las SCC, mostraron el impacto de la mezcla de avena y vicia en la mejora de la estabilidad estructural. Con resultados igualmente positivos, Restovich et al. (2011) registraron incrementos de hasta el 60 % en esta variable, como respuesta a la inclusión de distintos CC. También Sasal y Andriulo (2005) encontraron mejoras en la estabilidad estructural, con nabo forrajero (*Raphanus sativus*) como CC, si bien al cabo de algunos meses, los valores volvieron a los registros iniciales. De acuerdo a Abiven et al. (2009), citados por Restovich et al. (2011) el incremento en la estabilidad de agregados, está relacionado con la descomposición de los residuos que ingresan al suelo.

Al comparar los valores de estabilidad estructural hallados en este trabajo, con los obtenidos en el suelo de referencia no disturbado, se pone de manifiesto el deterioro de la calidad del suelo por el prolongado uso agrícola, característico de la región en estudio. En este sentido, Osinaga et al. (2016) en la región del Chaco subhúmedo argentino, encontraron en lotes agrícolas valores de estabilidad estructural 54 % menores que en la situación prístina y en una pastura.

Con resultados similares, Echeverría et al. (2015) hallaron valores de estabilidad estructural significativamente superiores en la situación de referencia, respecto de distintas rotaciones agrícola-ganaderas. También en la región sur de la provincia de Buenos Aires, otros autores encontraron resultados semejantes entre la situación no disturbada y las secuencias agrícolas en siembra directa (Eiza et al., 2006; Aparicio y Costa, 2007, citados por Echeverría et al., 2015). Según estos especialistas, la situación prístina, proporcionó la mejor estabilidad estructural, debido a la acumulación superficial de residuos, a la no remoción y a una mayor actividad biológica.

6.3. Evaluación de la producción de materia seca y del contenido de carbono del cultivo de cobertura y del cultivo de soja y su efecto en el agua útil disponible

6.3.1. Producción de materia seca aérea y contenido de carbono del cultivo de cobertura y del cultivo de soja

Las diferencias entre ambientes de la producción de MS de los CC, si bien no significativas, estuvieron posiblemente asociadas en este trabajo, a un mayor UC y a una más alta EUA en el ambiente Bajo. En cuanto a la soja sembrada a continuación, las diferencias positivas en MS y C del cultivo implantado sobre las parcelas CCC, respecto de la soja producida sobre las parcelas SCC, pudieron originarse en – datos presentados en Resultados - su mayor reserva de agua útil durante las etapas críticas del cultivo, así como en los contenidos superiores de algunos nutrientes del suelo.

Al contrastar los totales de MS y C de las parcelas SCC con las parcelas CCC, se destaca el efecto de estos en los distintos ambientes productivos, ya que el tratamiento con cobertura vegetal, concentró en promedio para todos los ambientes, un 93 % más de MS y un 88 % más de C que el tratamiento sin cubierta vegetal.

En este sentido, Duval et al. (2015) comprobaron que los aportes de carbono variaban significativamente al comparar buenas y malas prácticas agrícolas. Así determinaron que el monocultivo de soja sólo aportó un 54% del carbono por hectárea y por año, respecto del que aportaron las prácticas agrícolas que utilizaron cultivos de cobertura, rotación de cultivos y fertilización. Igualmente, Caviglia et al. (2013), en base a una serie de experiencias con CC realizadas en el centro oeste de Entre Ríos, concluyeron que los aportes de residuos de los CC y el cultivo de renta siguiente, en todos los casos fueron mayores que los de las alternativas que permanecieron en barbecho durante el invierno.

6.3.2. Efecto del cultivo de cobertura sobre el agua útil disponible

Los niveles de AUD que se hallaron al inicio del estudio, mostraron el impacto del consumo de agua del cultivo de cosecha anterior, y señalaron por otra parte, la ganancia de agua en el sector deprimido del relieve, tendencia que se mantuvo durante todo el período de estudio.

En la última etapa de crecimiento de los CC, parte del agua consumida por estos se repuso en virtud de la ocurrencia de abundantes precipitaciones. A pesar del consumo de agua de la cobertura vegetal, que generó disminuciones significativas en Loma CCC y Media Loma CCC respecto de Loma SCC y Media Loma SCC, todas las parcelas con cobertura tuvieron altos niveles de agua útil en el momento del secado.

Se desprende de los resultados hallados que, luego del secado de los CC, las parcelas CCC mostraron una importante mejora en la capacidad de almacenar el agua de las precipitaciones, respecto de las parcelas SCC. Esto se evidenció a través de incrementos

mayores en sus reservas de AU en el momento de siembra de la soja, de un mantenimiento de los niveles de AU en floración de soja y de disminuciones menores de AU en R5 del cultivo. Asimismo, las reservas más bajas de AUD de la Media Loma SCC en el estado R5 de la soja, pusieron de manifiesto las pérdidas por escurrimiento del agua de lluvia, en esta situación de relieve sin cobertura vegetal, situación que se abordará más adelante.

Al inicio del llenado de granos de la soja, luego de un período aproximado de 20 días sin precipitaciones y en un momento de elevadas temperaturas medias, las parcelas CCC aún conservaban en todas las situaciones, reservas por encima del 76 % del AUM. Esta condición permite dimensionar el efecto de la cobertura en la conservación del agua del suelo.

Ernst (2004) obtuvo una respuesta similar a la de este estudio, cuando las lluvias ocurridas durante el barbecho previo a la siembra del cultivo de verano, igualaron las reservas de agua de los tratamientos con y sin cubierta vegetal. Si bien en años de baja oferta hídrica, Carfagno et al. (2013b) observaron una tendencia hacia la conservación del agua en el suelo, luego de terminado el ciclo de los CC, y similar AU de éstos respecto al testigo sin CC.

No obstante, Restovich y Andriulo (2013) analizaron las probables diferencias climáticas entre campañas y concluyeron que, considerando un escenario de lluvias primaverales por debajo del promedio histórico, el consumo de los CC registrado en los horizontes superficiales, podría afectar la producción del cultivo siguiente.

6.3.3. Costo hídrico, uso consuntivo y eficiencia de uso del agua del cultivo de cobertura

Al analizar el costo hídrico de los CC en los diferentes ambientes, es preciso destacar que en la segunda mitad de su ciclo de crecimiento - en un período de aproximadamente 75 días - se registraron precipitaciones que sumaron 343 mm y que significaron el 88 % del total caído durante el ciclo de los CC. Esta característica climática del estudio disminuyó el CH en todos los ambientes, pero especialmente en Bajo y Media Loma. Las diferencias entre ambientes determinaron que en el Bajo la producción de MS de los CC tuviera un costo hídrico reducido, mientras Loma presentó el CH más alto, para una producción de MS menor, aunque no significativamente.

También Baigorria et al. (2013) encontraron variaciones en los valores de CH, los que aumentaron de 40 a 100 mm según el ambiente y la especie de CC considerados. Por su parte, Sáenz y Colazo (2013) midieron CH de CC que fluctuaron entre 15 y 35 mm, según los aportes de agua, por napas o por riego, recibidos durante la evaluación de los CC.

El Uso Consuntivo fue semejante al informado por otros autores en condiciones similares. Baigorria et al. (2016) reportaron valores de 308 mm de UC en CC, con un registro de 394 mm de lluvia, en suelos Argiudoles típicos del sureste de la provincia de Córdoba. Es importante señalar que en este estudio durante el período de crecimiento de los CC, las

lluvias superaron en un 61 % a la media histórica, razón por la cual es probable que se registraran UC mayores a los normales para la región.

Menores valores se registraron en la región semiárida pampeana. Fernández et al. (2013) midieron 153 y 158 mm de UC para centeno (*Secale cereale*) como CC, mientras que Scianca et al. (2008) obtuvieron valores de 112 a 204 mm de UC con el mismo cereal.

La más alta EUA se halló en el Bajo, que también presentó la mayor producción de MS, si bien sin diferencias significativas. Cabe aclarar que los aportes de agua por escurrimiento desde los sectores más elevados del lote, habrían ocasionado que la lluvia recibida en este ambiente fuera superior a la utilizada para el cálculo de esta variable. No obstante, la mayor cobertura superficial lograda en este ambiente disminuyó probablemente la insolación directa sobre el suelo, y en consecuencia las pérdidas de agua por evaporación. De esta forma, pudo haber crecido el agua útil disponible para la transpiración del CC, definiendo mayores valores de MS y EUA.

Son varios los factores que afectan este parámetro. Bertolla et al. (2013) evaluaron la EUA de distintas especies utilizadas como CC y concluyeron que este factor es el que mejor explica diferencias entre las distintas producciones de biomasa halladas. Por su parte, Ridley (2013) encontró valores de EUA que oscilaron entre 8 y 15 kg MS.mm⁻¹ de lluvia caída según la duración del ciclo del CC y el nivel de nutrientes aplicados. Asimismo, Scianca et al. (2008) midieron EUA que oscilaron entre 14 y 54 kg MS.mm⁻¹, según la especie de gramínea usada como CC y el año considerado.

6.4. Evaluación del efecto del cultivo de cobertura sobre la erosión hídrica

6.4.1. Condiciones superficiales del suelo

6.4.1.1. Cobertura superficial

La cobertura producida por el material vegetal en todos los ambientes, generó una intercepción frente al impacto de las gotas de lluvia que fue, posiblemente, una de las causas más importantes del comportamiento diferencial de las parcelas CCC, durante los tests de erosión. Según Steichen (1984), citado por Peleretegui et al. (2003) la cobertura superficial puede absorber mucha de la energía de la lluvia, condición que contribuiría a mantener el potencial para una alta infiltración del agua en el suelo.

El porcentaje de cobertura de las parcelas CCC, estuvo condicionado por el ambiente edafo-climático que determinó el volumen de biomasa producido. En esta investigación se registraron coberturas máximas de 91 a 97 %. Navarro Garza et al. (2007) determinaron que las mismas especies evaluadas en este trabajo, fueron las que mostraron el mejor porcentaje de cobertura entre cinco especies distintas de CC.

Por otra parte, en las parcelas SCC, las coberturas halladas en los distintos ambientes, fueron producto de la relación entre la descomposición de los residuos de soja de la cosecha anterior y la movilización superficial de esos residuos, en ocasión de eventos climáticos anteriores a los tests de erosión. De esta forma, en Media Loma SCC, el desplazamiento de los residuos, probablemente fue la causa del más bajo nivel de cobertura, respecto del resto de los ambientes. En la Loma SCC, el relieve plano marcó un nivel de cobertura intermedio, y en el Bajo SCC, la recepción de rastrojos por transporte desde los ambientes superiores, definió el mayor nivel de cobertura de los tres ambientes.

Según Capurro et al. (2010) la problemática de la falta de cobertura en las secuencias de soja continua se agrava en áreas onduladas, donde gran parte de las lluvias de primavera escurre hacia las zonas más bajas de los lotes, llevándose el escaso rastrojo remanente. De esta forma, la soja sembrada a continuación, emerge en suelos casi descubiertos.

6.4.1.2. Rugosidad superficial

En las determinaciones de RR, los CC mostraron su eficacia en el aumento del microrrelieve de la superficie del suelo, con incrementos importantes en todas las parcelas CCC. Este aumento de la RR, podría relacionarse según distintos autores (Dexter, 1977; Helming et al., 1993, citados por Paz González y Taboada Castro, 1996), con un aumento del agua acumulada en las depresiones superficiales, contribuyendo a una mayor infiltración y en consecuencia a un menor escurrimiento superficial. La rugosidad superficial, según Portela et al. (2011) es importante tanto para la retención superficial del agua de lluvia, como para la

retención superficial, o aprisionamiento in situ, de las partículas erosionadas del suelo; por lo tanto, tiene influencia también en los hidrogramas obtenidos de los estudios con lluvias simuladas.

Por otra parte, y al igual que el porcentaje de cobertura discutido previamente, la significativa disminución en este estudio del microrrelieve de la Media Loma SCC, en comparación con Loma SCC y Bajo SCC, mostró presumiblemente el efecto del impacto de las gotas de lluvia asociado al fenómeno de escorrentía superficial, dada la pendiente del relieve en ese ambiente. Coincidentemente con estos resultados, Vidal Vazquez y Taboada Castro (2003) evaluaron sucesivos estadios de degradación de la superficie del suelo por efecto de la precipitación, y encontraron que el rango de oscilación de la RR varió desde 38,55 mm hasta 7,42 mm, luego de 9 meses de estudio.

En este sentido, Panachuki et al. (2010) estudiaron la influencia sobre la rugosidad superficial del suelo, de diferentes sistemas de manejo por la aplicación de lluvias artificiales. Las lluvias aplicadas sobre diferentes niveles de cobertura del suelo, permitieron concluir que en siembra directa con cobertura de suelo, la acción de la lluvia no promueve el decaimiento del microrelieve del mismo.

Otros autores, Peleretegui et al. (2003) también monitorearon la dinámica de la rugosidad durante los eventos de lluvia en parcelas cubiertas y descubiertas y encontraron valores superiores de esta variable en las parcelas cubiertas.

6.4.2. Agua útil disponible antecedente en el espesor 0-20 centímetros

El AU en el espesor 0-20 cm mostró que los tratamientos con cobertura generaron aumentos del contenido de humedad en el horizonte superficial. Si bien la humedad antecedente a la aplicación de las lluvias fue superior en las parcelas CCC, lo que podría haber adelantado el tiempo de inicio de la formación de escurrimientos, estos fueron más cortos - como se verá en el punto siguiente - en las parcelas SCC. De esta forma, el agua antecedente en el estrato superior, no fue una causa de variación en los resultados de erosión hídrica obtenidos en este estudio.

6.4.3. Tiempo de inicio del escurrimiento superficial

La MS producida por los CC en los distintos ambientes, y el efecto que se obtuvo en los porcentajes de cobertura y rugosidad superficiales, determinaron probablemente que todas las parcelas CCC funcionaran con un retardo del Ti, en referencia a las parcelas SCC. Esto es explicado por Alberts y Neibling (1994), citados por Sanzano et al. (2008), cuando expresan que la cobertura vegetal disminuye la energía del impacto de la gota de lluvia y el escurrimiento, por retardo del tiempo de inicio del mismo.

No obstante, no todos los ambientes funcionaron de la misma manera y en las parcelas SCC, la diferencia más marcada se dio en la Media Loma, donde en pocos minutos se

generaron escurrimientos superficiales. En esa situación, la pendiente del relieve posiblemente aceleró la iniciación de los escurrimientos, cuando las gotas de lluvia impactaron en el suelo desnudo, provocando una ruptura de agregados. La consecuente dispersión de las partículas finas y el sellado de poros que éstas provocan, probablemente redujeron la infiltración del agua en el suelo, dando inicio tempranamente al proceso erosivo.

Vieira Luciano et al. (2009) verificaron también Ti muy cortos, y similares a los encontrados en este trabajo, simulando lluvias sobre *Vicia sativa* y *Avena strigosa*, sembradas en siembra directa en forma paralela al declive. Por el contrario, Bagatini et al. (2011) hallaron Ti relativamente elevados, de 30 a 60 minutos, al aplicar lluvias simuladas sobre diferentes manejos de cultivos.

6.4.4. Hidrogramas de escurrimiento superficial.

Las diferencias entre los hidrogramas de las parcelas CCC respecto de las SCC, se debieron probablemente – como se citó en el punto anterior - a las condiciones físicas externas del suelo, creadas a partir de la biomasa vegetal de los CC. Es por ello que el tiempo de inicio del escurrimiento y el tiempo en que se llega al pico de escurrimiento, como se observa en las figuras, fueron similares entre los primeros y se retrasaron respecto de los segundos.

Si bien, todas las parcelas SCC adelantaron estos parámetros hidrológicos en referencia a las parcelas CCC, en Media Loma fue donde se marcaron los contrastes más importantes. De esta forma, Media Loma SCC mostró las mayores diferencias en el inicio del escurrimiento y en el tiempo hasta alcanzar el pico de escurrimiento, respecto de Media Loma CCC.

6.4.5. Pérdida total de agua por escurrimiento superficial

La significativa disminución de los escurrimientos superficiales, en las parcelas CCC respecto de las SCC en cada ambiente, se generó como se explicó en los puntos anteriores, por el efecto de la cobertura que, como mínimo, duplicó a la de las parcelas sin cubierta vegetal, asociado al efecto de una más alta rugosidad, que fue hasta 6 veces superior en las parcelas CCC. Estas condiciones, posiblemente, aumentaron la capacidad del suelo de resistir la acción erosiva de la lluvia - al impedir el contacto directo de las gotas con la superficie - e incrementaron la retención superficial del agua, mejorando su infiltración en el suelo.

Crespo et al. (2010) aplicaron lluvias simuladas en 34 sitios del centro de la provincia de Buenos Aires y determinaron que, independientemente del sistema de labranza utilizado, el escurrimiento dependió en gran parte de la cobertura vegetal de los mismos.

Las mayores diferencias establecidas entre los tratamientos en la Media Loma, pudieron deberse a que la pendiente de ese relieve - en un suelo alisado por lluvias anteriores y

densificado superficialmente en oportunidad de la siembra de soja después de un largo período de años en siembra directa, ayudó a la formación de una mayor masa de agua escurrida en un breve período de tiempo, lo que provocó una pérdida equivalente a la mitad de la lluvia aplicada en las parcelas SCC.

Diversos autores (Bertol, 1986; Levien, 1999; Volk, 2002; Streck y Cogo, 2003; Cogo y Streck, 2003; Volk et al., 2004 y Castro et al., 2006, citados por Gilles et al., 2009) han observado que el bajo grado de movilización del suelo en la siembra directa - dado por la profundidad de preparación, la extensión de superficie de terreno trabajado y el nivel de fragmentación del volumen de suelo movilizado - es el que presenta el menor valor de rugosidad superficial y ningún incremento adicional de porosidad total del horizonte superficial, además de resultar en una superficie de suelo generalmente consolidada. Esta condición, según estos autores, favorece con el tiempo la conservación del suelo, pero en muchos casos, desfavorece la conservación del agua, por el aumento del escurrimiento superficial.

En este trabajo, el relieve del terreno en Loma y Bajo, probablemente no favoreció en la misma proporción que en Media Loma los movimientos de agua, por lo que las condiciones de cobertura y rugosidad no fueron afectadas en la misma medida, no obstante lo cual alrededor de un tercio del agua aplicada se perdió por escurrimientos superficiales.

En este sentido, Bertol y Miquelluti (1993) evaluaron pérdidas por erosión hídrica con distintos manejos de suelo y observaron que las pérdidas de agua fueron mucho menos influenciadas por los sistemas de manejo del suelo que las pérdidas de suelo, lo que condice, según estos autores, con la mayoría de los trabajos conducidos en ese área.

También con lluvias simuladas, Gilles et al. (2009) encontraron pérdidas de agua por escurrimientos superficiales, de hasta 71 y 46 % de la lluvia aplicada en los momentos de siembra y floración, respectivamente, del cultivo de maíz (*Zea mays*) en siembra directa sobre suelos Ultisoles. Con resultados diferentes y sobre una situación productiva contrastante, Bagatini et al. (2011) hallaron pérdidas totales de agua de menos del 20 % de la lluvia aplicada, en un suelo con pocos años de agricultura y en base a un manejo conservacionista de labranzas y fertilización.

6.4.6. Coeficiente de escurrimiento

La densidad de la vegetación lograda por los CC y la contribución de sus raíces como vías de ingreso del agua hacia estratos más profundos, posiblemente impidió la formación de costras y aumentó la posibilidad de infiltración del agua aplicada en las lluvias simuladas. De esta forma, se lograron disminuciones significativas de los CE en todos los ambientes con CC.

En ausencia de la cobertura vegetal, es probable que la intensidad de la lluvia superara a la velocidad de infiltración, alcanzándose el nivel de saturación del suelo y cubriéndose la

capacidad de almacenamiento de las escasas depresiones del terreno, originando los incrementos de los CE. No obstante cabe destacar que en Media Loma SCC, el incremento significativo del CE también estuvo relacionado, a la pendiente de ese ambiente. Este resultado implica que altos volúmenes de agua fueron exportados fuera del ambiente.

Sanzano et al. (2008), trabajando con lluvias simuladas, hallaron que el aumento del grado de cobertura en siembra directa de soja, mostró CE progresivamente menores. En trabajos similares, Echeverría et al. (2016) también con lluvias simuladas, encontraron valores de CE de 30 a 50 % en suelos con diferentes manejos, en el sur de la provincia de Buenos Aires.

Por su parte, Ares et al. (2014) con la misma metodología, evaluaron lotes de soja de primera y segunda fecha de siembra y registraron CE de 2,8 a 4,6 % en suelos con cobertura de residuos, y valores que alcanzaron hasta 38 % en suelos desnudos.

6.4.7. Infiltración acumulada

En correspondencia con los menores escurrimientos de las parcelas CCC - descritos en los puntos anteriores – sus valores de infiltración crecieron significativamente en el transcurso de la lluvia aplicada. Es probable que la cobertura vegetal haya dificultado el movimiento del agua y de esta forma se incrementó su ingreso al suelo por infiltración, disminuyendo la pérdida por escurrimiento superficial. Alvarez et al. (2009), al evaluar gramíneas invernales como CC en sistemas de SD, encontraron que la infiltración acumulada fue la propiedad edáfica que más se modificó en todos los sitios experimentales.

En las parcelas SCC de este estudio, especialmente en el ambiente Media Loma, debido a su relieve inclinado se dio el proceso inverso, con mayor escurrimiento y consecuentemente menor infiltración del agua de lluvia. La celeridad del inicio del escurrimiento, mostró la dificultad del agua para ingresar al suelo en esa situación.

En condiciones semejantes, Betancourt-Yáñez et al. (2000) encontraron menores tasas de infiltración en suelos desnudos que en pasturas de gramíneas y leguminosas, al aplicar distintas intensidades de lluvias simuladas. Asimismo, De la Vega et al. (2004) determinaron sobre un Argiudol vértico en siembra directa, que la tasa de infiltración en un suelo descubierto fue la mitad que en un suelo cubierto.

6.4.8. Pérdida total de suelo por escurrimiento superficial

El efecto de los CC fue de gran magnitud en la reducción de las pérdidas de suelo en Loma y Media Loma, probablemente debido a la protección frente al efecto erosivo de la lluvia aplicada, así como a la acción cohesiva de las raíces, con diferencias entre ambientes en función de su posición en el relieve.

Las gotas pueden llegar a ser muy erosivas cuando golpean un suelo sin vegetación, de acuerdo a Morgan (1997) citado por De la Cruz (2010), proporcionando además de la fuerza

disgregadora, una fuerza de consolidación que lo compacta. El impacto es el agente más importante para el desprendimiento y disgregación de las partículas (De la Cruz, 2010) y la mayor parte de la energía que llevan las gotas precipitadas se va a consumir en dicho proceso.

Según Portela et al. (2011), el proceso de transporte de las partículas de suelo erosionadas por el agua generalmente es más alterado que el escurrimiento superficial, en lo que se refiere a las condiciones externas de la superficie del suelo. Weir (2002), trabajando con parcelas de escurrimiento con 1 % de pendiente, determinó que el escurrimiento fue 5 veces mayor y la pérdida de suelo 12 veces superior en las parcelas con suelo descubierto, que el promedio de las parcelas cultivadas y con pasturas. A su vez, Bertol y Miquelluti (1993) citados por Torres et al. (2005) encontraron que las pérdidas de suelo y agua se reducían en un 85 % y 29 % respectivamente cuando usaron cultivos de cobertura.

La falta de diferencias significativas entre tratamientos en el Bajo se debió posiblemente a que, si bien las parcelas CCC mostraron los valores más altos de cobertura, también las SCC presentaron elevados registros de la variable. Esto podría deberse a la acumulación de rastrojos de soja provenientes de los ambientes superiores, desplazados por los movimientos de agua en superficie, y pudo influir en su respuesta ante la lluvia aplicada, disminuyendo las pérdidas de suelo, en las parcelas sin CC de este ambiente.

Barcelonna y Rienzi (2003) encontraron disminuciones de 70 % de la pérdida total de suelo al aplicar cobertura sobre un suelo con labranza convencional y 25 % al aplicarla sobre un suelo proveniente de pradera. No obstante, los autores no encontraron en estos suelos con distinto nivel de estabilidad, el mismo efecto de la cobertura sobre la selectividad de la salpicadura y el escurrimiento y sobre la relación de enriquecimiento del sedimento.

6.4.9. Concentración de materia orgánica, carbono orgánico y nutrientes, pH y textura de los sedimentos erosionados

Las más altas concentraciones de MO, CO y Nt en los sedimentos provenientes de las parcelas CCC, respecto de las SCC - si bien sólo en forma significativa para CO - estuvieron probablemente asociadas a las mayores concentraciones de estos elementos, encontrados en el suelo superficial, a partir de la supresión del crecimiento de los CC. Cabe aclarar que a través del método Walkley y Black - utilizado para la evaluación de la MO - el porcentaje de oxidación promedio del C es de 76 %, mientras que a través del Leco - utilizado para la evaluación del CO - la oxidación del C es del 100 %. De esta forma, al comparar ambos métodos, los valores de CO determinados por el Leco, siempre arrojan resultados superiores. Ello podría haber motivado que no se detecten diferencias significativas en los resultados de MO.

A diferencia de estos elementos, el incremento en la concentración del Pe en los sedimentos de Loma CCC y Media Loma CCC, no guardó relación con los valores hallados en el estrato superior, empobrecido en este mineral respecto de Loma SCC y Media Loma SCC. No

obstante, pudo estar asociado con el enriquecimiento en MO y arcilla y la adsorción del Pe a estos coloides del suelo, en los sedimentos erosionados de las parcelas CCC.

De acuerdo con Adema et al. (2003), las formas orgánicas pueden constituir más de la mitad del P total en el horizonte superficial y están adsorbidas en su mayoría por los coloides orgánicos e inorgánicos del suelo, por lo cual es muy susceptible de moverse cuando hay erosión de MO y arcilla. Maass et al. (1988), citados por Serrano Altamirano y Cano García (2007), reportaron pérdidas de fósforo que variaron de 1 a 11 miligramos por metro cuadrado (mg.m^{-2}), después de una lluvia en suelos sin cobertura. No obstante, las pérdidas potenciales en cada evento erosivo, fueron calculadas en 25 a 49 mg.m^{-2} de fósforo por Le Bayon y Binet (1999), citados por los mismos autores. En el Bajo CCC, la ausencia de diferencias significativas de Pe en los sedimentos removidos, respecto del Bajo SCC, pudo deberse a la escasa variación de concentración de MO y arcilla – y en consecuencia al Pe adsorbido a ellas - en los sedimentos de ambos tratamientos.

El pH de los sedimentos en todas las parcelas - CCC y SCC – mostró fuertes incrementos respecto del suelo de origen de los mismos. Marelli et al. (2008) analizaron muestras provenientes de 12 series de suelos, con la finalidad de conocer el comportamiento de algunas variables químicas del suelo y las correspondientes del sedimento provocado por el proceso de erosión hídrica. En forma coincidente con los resultados de este trabajo, los autores encontraron que los valores del pH en el sedimento fueron significativamente mayores que los del suelo de origen. Asimismo, destacaron que el pH no mostró relación entre los valores del suelo y del sedimento.

En el caso de la arcilla, es posible que las condiciones físicas de superficie -cobertura y rugosidad- generadas por la MS de los CC, hayan limitado los desplazamientos de las fracciones granulométricas mayores. Según Becker et al. (2004), las fracciones más finas como materia orgánica, limo y arcilla de los sedimentos producidos por erosión hídrica laminar, se movilizarían en forma conjunta probablemente como agregados pequeños y como partículas individuales. Por otra parte, López Carratalá (2014) demostró que las partículas de limo grueso y arenas no son arrastradas en la escorrentía y por lo tanto no llegan a alcanzar el sedimento, así como, en los usos forestal y agrícola las partículas de arcillas y limos finos son los que más se transportan por erosión hídrica.

Da Silva Volk y Cogo (2009) - trabajando sobre suelos franco-arcillo-arenosos - concluyeron que la cobertura del suelo con residuos culturales fue la principal responsable del menor tamaño en los sedimentos erosionados, así como en la disminución de la velocidad del escurrimiento superficial. Por su parte, Santiago et al. (2003) encontraron que la degradación de la cubierta vegetal provocó un enriquecimiento de material fino en el sedimento erosionado, y que la recuperación de aquella generó el efecto opuesto, al aplicar lluvias simuladas en áreas deforestadas en recuperación.

6.4.10. Tasa de enriquecimiento de materia orgánica, carbono orgánico y nutrientes y variación de pH y textura en los sedimentos erosionados

Los resultados de esta variable de cálculo en MO, CO, Nt, Pe y arcilla, obtenidos en este trabajo, fueron coincidentes con los reportados por otros autores en estudios con lluvias simuladas o naturales. Siqueira Leite et al. (2009) evaluaron pérdidas de suelo y nutrientes con lluvias naturales, y comprobaron que el CO fue el constituyente encontrado en mayor cantidad en el sedimento perdido por erosión.

En este sentido, de acuerdo a lo expresado por Do Prado Wildner y Da Veiga (2017), la erosión es un proceso que actúa de manera selectiva, arrastrando las partículas más finas y más reactivas del suelo - arcilla y materia orgánica - y dejando las partículas más gruesas, pesadas y menos reactivas. Según Stocking (1984) citado por Weir (2002), el suelo removido es más rico en elementos químicos, en la casi totalidad de los casos.

Las tasas medias de enriquecimiento de MO, CO y Nt - sólo con diferencias significativas para CO con efecto ambiente- presentaron valores similares entre sí, que duplicaron y/o triplicaron las concentraciones de éstos en el suelo más superficial estudiado. Adema et al. (2003) manifestaron, en referencia a trabajos conducidos en el Caldenal pampeano, que el paralelismo en la erosión de estos elementos, es consecuencia de que el CO, como la mayoría del N, están asociados con la MO del suelo.

El Pe mostró valores aún superiores, muy altos en Media Loma y en las parcelas CCC, que pusieron de manifiesto las elevadas pérdidas de este mineral durante el proceso de erosión hídrica. Las tasas mayores de Pe en las parcelas CCC halladas en este trabajo, son equivalentes a las encontradas por otros autores. Bienes et al. (2010) estudiaron la erosión y la contaminación difusa en parcelas con herbáceas espontáneas como control y las compararon con parcelas con herbáceas revegetadas con arbustos, y encontraron en éstas últimas, tasas de enriquecimiento de hasta 1,60 en MO y 1,29 en fósforo. Por su parte, al comparar las tasas de distintas labranzas, Becker et al. (2008) encontraron en la labranza reducida las mayores tasas de enriquecimiento de CO (1,79) y Pe (4,10), las menores en labranza conservacionista e intermedias en SD, en suelos Hapludoles del SO de la provincia de Córdoba.

Las elevadas tasas de enriquecimiento del pH que presentaron los sedimentos erosionados en este trabajo, mostraron resultados semejantes a otros estudios. Marelli et al. (2008) encontraron tasas que variaron desde 1,05 hasta 1,18 en sedimentos perdidos por erosión hídrica de distintos suelos de la provincia de Córdoba. También en esa región del país, Weir (2002) encontró tasas de enriquecimiento del pH de 1,00 en suelos descubiertos y de 1,02 en suelos bajo rotación trigo-soja en labranza convencional y en siembra directa.

El enriquecimiento en arcilla de los sedimentos erosionados - superiores en las parcelas CCC - mostraron posiblemente el efecto de filtro selectivo de la cubierta vegetal, sobre las partículas minerales de mayor tamaño, discutido en el apartado anterior. Los resultados de Adema et al. (2003) mostraron un enriquecimiento de la fracción arcilla en los sedimentos erosionados, si bien a diferencia del presente estudio, principalmente bajo la condición de suelo

desnudo. Asimismo, estos autores encontraron que las pérdidas de arenas y limos, no fueron significativamente diferentes de los contenidos iniciales de los suelos de origen.

6.4.11. Pérdidas totales de materia orgánica, carbono orgánico y nutrientes por erosión hídrica

La cobertura fue efectiva para disminuir las pérdidas totales de MO, CO, Nt y Pe, en forma altamente significativa en Media Loma CCC, el ambiente más expuesto a los procesos erosivos. Esto permite inferir que la cubierta vegetal, además de proteger a la superficie del suelo del impacto de las gotas de lluvia, actuó como un tamiz frenando el movimiento de arrastre de las partículas de suelo.

Las pérdidas de todos los componentes estudiados fueron muy altas ante la ausencia de cobertura vegetal, en especial en Media Loma SCC. Esto muestra el deterioro de la fertilidad y en consecuencia de la productividad de los suelos, en ausencia de prácticas que frenen los procesos erosivos.

Adema et al. (2001) consideraron que la pérdida de nutrientes está inversamente relacionada al porcentaje de cobertura del suelo y el CO es el principal constituyente afectado por erosión hídrica, hecho de fundamental importancia por su difícil recuperación.

Con resultados similares a este estudio, Torres et al. (2005) hallaron las menores pérdidas de suelo y nitrógeno en los tratamientos con mayor cobertura superficial y las mayores en el tratamiento sin residuos en superficie, comparando distintas prácticas de manejo en suelos Ultisoles. En igual sentido, Pérez y López (2000) establecieron que las pérdidas de MO y nutrientes por arrastre en los sedimentos, dependen marcadamente del grado de protección ofrecido por la cobertura vegetal. En presencia de cubierta vegetal, según estos autores, se atenúa el efecto de la lluvia; que tiene mayor impacto cuando cae sobre un suelo desnudo.

6.5. Rendimiento del cultivo de soja

Posiblemente, la respuesta positiva en rendimiento de soja a los CC en todos los ambientes evaluados, haya sido producto de la mejora del balance de agua útil y de algunas propiedades del suelo, lo que Ruffo y Parsons (2004) citados por Vanzolini et al. (2013) llaman "efecto rotación" en el cultivo de maíz y que posibilita el incremento de las diferencias entre tratamientos, ante aumentos de la fertilidad del suelo.

Rimski-Korsakov et al. (2015) evaluaron un gran conjunto de experiencias con CC, separando soja de maíz, en ambientes húmedos y semiáridos. Estos autores encontraron que ninguno de estos cultivos ve afectado significativamente su rendimiento en zonas húmedas, por la inclusión de un CC como antecesor. Tampoco la soja en zonas semiáridas muestra diferencias significativas, pero sí el maíz presenta en esta región rendimientos

superiores por la inclusión de una leguminosa como CC antecesor. Por su parte, Restovich y Andriulo (2013) no encontraron diferencias en rendimiento de soja entre tratamientos con y sin CC en el año más húmedo y sí en el año más seco, lo que según estos autores estuvo posiblemente asociado al consumo de agua de estos antecesores y a la falta de precipitaciones que no recargaron el perfil del suelo.

En las parcelas CCC, los incrementos de rendimiento de soja hallados en este estudio, se explicaron por el aumento del P_{1000} y del NG del cultivo. Es probable que la mejora en el balance de AUD en ellas, haya incidido en la definición de estos componentes del rendimiento.

Esto podría considerarse viable, si se analizan la frecuencia y distribución de las lluvias registradas (datos no presentados) durante los estadios fenológicos R4 a R6.5 (Fehr y Caviness, 1977), desde mediados del mes de febrero a mediados del mes de marzo del año de estudio. Así se observa que las precipitaciones se concentraron en la primera década de febrero, con una óptima distribución de los eventos de lluvia, para luego entrar en un período de lluvias escasas durante la tercera década de febrero y primera década de marzo.

El menor nivel de AUD en las parcelas SCC, pudo incidir en la abscisión – efecto no evaluado - de órganos reproductivos. Según explica Toledo (2017), el período entre R4.5 y R5.5 es el más crítico, ya que ha finalizado la floración y las vainas y semillas más jóvenes son más propensas a abortar en condiciones de stress. La reducción del rendimiento se debe principalmente a la caída en el número de vainas por planta; y si bien bajo condiciones favorables para el cultivo luego de R5.5, el peso de los granos puede compensar en parte la caída del rendimiento ocurrida durante el período crítico, esta compensación está limitada genéticamente.

En las parcelas CCC, la mayor cantidad de AUD, posiblemente favoreció la producción de soja en una etapa considerada crítica para la determinación del rendimiento del cultivo por los autores Andrade et al. (2002), citados por Martínez et al. (2011). En contraste con estos resultados, Scianca et al. (2008) no encontraron diferencias significativas de rendimiento en soja evaluada sobre diferentes CC como antecesores, si bien registraron hasta $574 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de diferencia sobre el testigo de soja SCC.

7. CONCLUSIONES

- El CC produjo un aumento en el corto plazo – un ciclo de cultivo –en los niveles de COT y COP (fracción > 53 μm) desde la supresión de su crecimiento y hasta el fin del estudio; en los niveles de Nt hacia la siembra de soja y en los niveles de S-SO₄ hacia madurez fisiológica del cultivo de renta.
- El CC generó un descenso de los niveles de pH hacia la siembra de soja, que no se mantuvo en el tiempo y una depresión en los niveles de Pe que, aunque no significativa, se dio en todos los ambientes y no se recuperó durante el período de estudio.
- El efecto mencionado del CC se observó especialmente en el estrato superior. Estas propiedades químicas evidenciaron una marcada estratificación, que los CC incrementaron.
- Entre las propiedades físicas sub-superficiales evaluadas, la Dap mostró una disminución de sus valores por la inclusión del CC, sólo en el estrato superior y hacia la siembra del cultivo de soja. El IEA expresó un importante incremento de sus valores, luego de la supresión del crecimiento del CC.
- Las condiciones superficiales analizadas, RR y cobertura superficial, expresaron un elevado aumento como efecto de la presencia de los CC.
- Los CC produjeron MS y captaron C a expensas del AUD y nutrientes disponibles, que no fueron aprovechados sin CC.
- En el momento de secado de la cubierta vegetal, las parcelas CCC tuvieron niveles menores de AUD, pero durante el período de barbecho las precipitaciones recompusieron las reservas del suelo y a la siembra de soja las diferencias entre parcelas CCC y SCC se redujeron sustancialmente.
- Durante el crecimiento de la soja, las parcelas CCC mostraron una mayor capacidad de captación del agua de las precipitaciones caídas y en floración y madurez fisiológica del cultivo, las parcelas CCC mostraron mayores niveles de AUD que las parcelas SCC.
- El UC fue superior en las parcelas CCC, mientras el CH y la EUA de los CC no mostraron diferencias entre ambientes
- Los procesos de erosión hídrica fueron mitigados en todos los ambientes por la cubierta vegetal. El Ti fue más tardío en las parcelas CCC, especialmente en la Media Loma, que es el ambiente más expuesto a este proceso.

- Las pérdidas de agua por erosión hídrica, fueron menores en las parcelas CCC y lo mismo sucedió con las pérdidas de suelo, a través de diferencias de gran magnitud. En el ambiente Media Loma, por sus características de relieve, las diferencias en estos parámetros fueron de mayor magnitud.
- Las concentraciones de MO, CO, nutrientes y arcilla, como así también los valores de pH, en los sedimentos erosionados presentaron niveles más elevados que en el estrato superior del suelo de origen.
- La tasa de enriquecimiento de MO, CO y Nt en los sedimentos erosionados no mostró diferencias por la inclusión de los CC, a diferencia de la tasa de enriquecimiento de Pe, que fue mayor en los sedimentos erosionados desde las parcelas CCC.
- Las pérdidas totales de MO, CO, Nt y Pe tuvieron importantes incrementos en las parcelas SCC, en especial en el ambiente Loma.
- La soja tuvo rendimientos significativamente superiores en las parcelas CCC en los ambientes Media Loma y Bajo, a través de un mayor NG y/o un superior P_{1000} .

De acuerdo a estas conclusiones, se acepta parcialmente la hipótesis respecto de la mejora de las propiedades edáficas que producen los CC, ya que se visualizaron efectos sobre algunas de ellas y sólo en el estrato superior, mientras que otras permanecieron inalteradas.

Por su parte, se acepta la hipótesis del aprovechamiento de los recursos ambientales no utilizados, a través de la transformación en MS, del agua y nutrientes disponibles.

También queda validada la hipótesis referida a la mitigación de los efectos de la erosión hídrica, debido a que todos los parámetros evaluados mejoraron en las parcelas CCC.

Por último, se acepta parcialmente la hipótesis respecto del incremento de la productividad del cultivo de soja, debido a que éste no se registró significativamente en todos los ambientes probados.

8. POSIBLES LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN QUE PODRÍAN DERIVARSE DE ESTA TESIS Y ORIENTARSE A NUEVAS PREGUNTAS HIPOTÉTICAS

A continuación, se enuncian posibles ejes de investigación, que surgen de preguntas hipotéticas formuladas a partir del desarrollo de la tesis:

1. Comparación de diferentes CC -mezclas o puros; cultivos de diferentes familias botánicas- en ambientes erosionados.
2. Inclusión de CC en secuencias agrícolas en rotación con diferentes niveles de intensificación.
3. Incorporación de variables edáficas biológicas, principalmente, evaluación de macro y mesofauna y microbiología.
4. Efecto de diferentes estrategias de gestión de los CC sobre las propiedades edáficas y el agua en ambientes con distintos grados de erosión.
5. Estudio del efecto de CC en sistemas integrados de producción.
6. Modelización físico-económica del impacto de CC sobre cultivos de renta y el suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- ABIVEN, S.; MENASSERI, S. Y C. CHENU. 2009. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability – a literature analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(1):1-12.
- ADEMA, E.O.; BABINEC, F.J.; BUSCHIAZZO, D.E.; MARTÍN, M.J. Y N. PEINEMANN. 2003. Erosión hídrica en suelos del Caldenal. EEA Anguil “Ing.Agr. Guillermo Covas” INTA. 35 p.
- ADEMA, E.O.; BABINEC, F.J. Y N PEINEMANN. 2001. Pérdida de nutrientes por erosión hídrica en dos suelos del Caldenal Pampeano. *Ciencia del Suelo* 19 (2): 144-154.
- ALBANESI, A.; ANRIQUEZ, A. Y A. POLO SÁNCHEZ. 2003. Efectos de la agricultura convencional sobre algunas formas del C en una toposecuencia de la Región Chaqueña, Argentina. *AGRISCIENTIA*, VOL. XX : 9 – 17.
- ALBERTS, E.E. Y W.H. NEIBLING. 1994. Influence of crop residues on water erosion. In: Unger, P.W. (Ed.). *Managing agricultural residues*. Flórida: Lewis Publi, 1994. cap.3, p.19-36.
- ALESSANDRIA, E.; ARBORNO, M.; LEGUÍA, H.; PIETRARELLI, L.; SANCHEZ, J.V. Y J.L. ZAMAR. 2013. Introducción de cultivos de cobertura en agroecosistemas extensivos de la región central de Córdoba. *Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción*. Cap.16: 128-137. Ediciones INTA.
- ALMEIDA, V.P.; ALVES, M.C.; SILVA, E.C. Y S.A. OLIVEIRA. 2008. Rotação de culturas e propriedades físicas e químicas em Latossolo Vermelho de cerrado sob preparo convencional e semeadura direta em adoção. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1227- 1237.
- ALTIERI M. 2001. *Agroecología: Principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables*. Ediciones Científicas Americanas. Capítulo 2. Pgs.27-34.
- ALVAREZ, C.; BARRACO, M.; CAZORLA, C.; COLAZO, C.; HERRERO, J.D.D.; LARDONE, A.; GIRON, P.; RESTOVICH, S. Y S.RILLO. 2016. Mejora de propiedades edáficas con inclusión de cultivos de cobertura en agroecosistemas pampeanos. XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. “Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo”. Comisión 4: Manejo, Conservación y Ordenamiento de Suelos y Aguas. Riego y Drenaje. Río Cuarto, Córdoba. Rep.Argentina.
- ALVAREZ, C.; SCIANCA, C.; BARRACO, M. Y M.DIAZ-ZORITA. 2009. Cambios en suelos bajo siembra directa con cereales de invierno de cobertura. *Memoria Técnica 2009 – 2010*. EEA INTA General Villegas.
- ANDRADE, F.H.; AGUIRREZÁBAL, L. Y RIZZALLI, L.H. 2002. En: ANDRADE, F. Y V. SADRAS. Ed. *Crecimiento y rendimiento comparados. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja*. INTA Balcarce. FCA. UNMP. 57-96.
- APARICIO, V. Y J.L. COSTA. 2007. Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean Pampas. *Soil Till. Res.*96: 155-165.

ARES, M.G. 2014. Lluvia, escurrimiento y producción de sedimentos en una microcuenca agrícola del sistema de Tandilia. Tesis Doctoral. Facultad de Cs Agrarias y Forestales. Universidad Nac.de La Plata.

BAGATINI, T.; COGO, N.P.; GILLES, L.; PORTELA, J.C.; PORTZ, P. & H.T. QUEIROZ. 2011. Perdas de solo e água por erosão hídrica após mudança no tipo de uso da terra, em dois métodos de preparo do solo e dois tipos de adubação. R. Bras. Ci. Solo, 35:999-1011.

BAIGORRI, H. 1997. Ecofisiología del cultivo. El cultivo de la soja en Argentina. Cap.2: 29-50. INTA Centro Regional Córdoba. EEA Marcos Juárez – EEA Manfredi. Coordinación Subprograma Soja.

BAIGORRIA, T.; ÁLVAREZ, C.; CAZORLA, C.; BELLUCCINI, P.; AIMETTA, B.; PEGORARO, V. Y M. BOCCOLINI. 2016. Análisis temporal de métodos de secado en cultivos de cobertura: dinámica del agua y malezas. XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO. "Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo". Río Cuarto, Cba. Rep.Argentina.

BAIGORRIA, T.; GÓMEZ, D.; CAZORLA, C.; LARDONE, A.; BOJANICH, M.; AIMETTA, B.; BERTOLLA, A.; CAGLIERO, M.; VILCHES, D.; RINAUDO, D. Y A. CANALE. 2013. Bases para el manejo de vicia como antecesor del cultivo de maíz. Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción. Cap.19: 158-164. Ediciones INTA.

BAKER, J.L. Y J.M. LAFLEN. 1983. Water quality consequences of conservation tillage. Journal of Soil & Water Conservation, Ankeny, 38(3):186-93.

BARCELONNA, C. Y E.A. RIENZI. 2003. Cambios producidos por la cobertura sobre la relación de enriquecimiento del sedimento erosionado en un Argiudol típico. Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos, Facultad de Agronomía UBA. Rev. Facultad de Agronomía, 23 (2-3): 141-145.

BECKER, A. 2006. Evaluación del proceso de Degradación de Suelos por erosión Hídrica en una subcuenca representativa del Suroeste de la Provincia de Córdoba, Argentina. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Río Cuarto. 800 páginas.

BECKER, A.; BEDANO, J.; SCHIAVO, H.; DOMINGUEZ, A.; GRUMELLI, M.; PARRA, B.; CABRERA, F.; RODRIGUEZ, M.J.; AROLFO, R. Y F.VAQUERO. 2014. Impacto de la agriculturización en agroecosistemas del centro-sur de Córdoba. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. II Reunión Nacional "Materia Orgánica y Sustancias Húmicas", Producción sustentable en ambientes frágiles.

BECKER, A. R.; BOSCHETTI, G.; CANTÚ, M. P.; PARRA, B.YQUINTERO, C.E. 2008. Perdida de carbono organico y fosforo por erosion hidrica bajo diferentes sistemas de manejo de suelos. XXI Cong. Arg. Ciencia del Suelo. CD 5pp.

BECKER, A.; BOSCHETTI, N.; PARRA, B.; QUINTERO, C.; BEDANO, J. Y M. CANTÚ. 2010. Cuantificación del fósforo en sedimentos producidos por erosión hídrica en diferentes

manejos de siembra directa. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Argentina. CD 4pp.

BECKER, A.; CANTÚ, M.; MUSSO, T. B. Y M. GRUMELLI. 2004. E valuación de los sedimentos producidos por erosión hídrica en el suroeste de Córdoba, Argentina. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.

BERTOL, I. 1986. Relações da erosão hídrica com métodos de preparo do solo, na ausência e na presença de cobertura vegetal por resíduos culturais de trigo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 148p. (Tese de Mestrado).

BERTOL, I. Y MIQUELLUTI, D.J. 1993. Perdas de solo, agua e nutrientes reduzidas pela cultura do milho. Pesq. agropec.bras., Brasília, v.28, n.10, p.1205-1213.

BERTOLLA, A.; BAIGORRIA, T.; GÓMEZ, D.; CAZORLA, C.; CAGLIERO, M.; LARDONE, A.; BOJANICH, M. Y AIMETTA, B. 2013. Efecto de la fertilización sobre la eficiencia del uso del agua de especies invernales utilizadas comocultivos de cobertura. Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción. Cap.17: 137-147. Ediciones INTA.

BESTEIRO, S. Y A.I.B.DESCALZO. 2016. Contenidos de nitrógeno y fósforo del suelo ante un cambio de cobertura y condición topográfica. XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. "Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo". Río Cuarto, Córdoba Rep.Arg.

BETANCOURT-YÁNEZ, P.; OROPEZA-MOTA, J.L.; FIGUEROA-SANDOVAL, B.; ORDAZ-CHAPARRO, V.; ORTIZ-SOLORIO, C. Y A. HERNÁNDEZ GARAY. 2000. Pérdida de suelo y potencial hidrológico en parcelas con coberturas vegetativas de especies forrajeras. Terra Volúmen 18, Número 3: 263-275. Revista Terra Latinoamericana. ISSN Electrónico 2395-8030. Sistema de Información Científica Redalyc. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal.

BIENES, R.; RUIZ, M. & M. J. MARQUES. 2010. Pérdida de suelo, fósforo y materia orgánica por erosión hídrica en parcelas revegetadas con matorral autóctono bajo clima semiárido. Revista de Ciencias Agrarias 33(1):58-69. Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Rural, Agrario y Alimentario y Universidad Autónoma de Madrid. España.

BLAKE, G.R. & K.H. HARTGE. 1986. Bulk Density, in A. Klute, ed., Methods of Soil Analysis, Part I. Physical and Mineralogical Methods: Agronomy Monograph N°9 (2nd.ed.), pp. 363-375.

BOCCOLINI, M.; AIMETTA, B.; CAZORLA, C. Y B. CONDE. 2013. Efecto del residuo de vicia (*Vicia sativa* L.) sobre el potencial de nitrificación del suelo. Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción. Cap.11: 83-87. Ediciones INTA.

BOLÍVAR, H. 2011. Metodologías e indicadores de evaluación de sistemas agrícolas hacia el desarrollo sostenible. Centro de Investigación de Ciencias Administrativas y Gerenciales.

BORDOLI, J. 2001. Dinámica de nutrientes y fertilización en siembra directa. Siembra Directa en el Cono Sur. Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. IICA, pp. 289-297.

CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E.A.; WILDNER, L.P.; COSTA, M.B.B.; ALCANTARA, P.B.; MIYASAKA, S. Y T.J.S. AMADO. 1993. Abudacao verde no sul do Brasil. Río de Janeiro, AS-PTA, 2º ed. 346 p.

CAMPOS, B.B.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R. Y L.C. CASSOL. 1999. Dinámica da agregacao inducida pelo uso de plantas de invierno para cobertura do solo. R. Bras. Ci. Solo, 23, pp.383-391.

CICAG. Universidad Rafael Beloso Chacín. Maracaibo. Venezuela. ISSN: 1856-6189. Volumen 8. Edición No 1.

BORDOLI, J. 2001. Dinámica de nutrientes y fertilización en siembra directa. Siembra Directa en el Cono Sur. PROCISUR. p. 288-297.

BRAY, R.H.& L.T. KURTZ. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in solis. Soil Science 59: 39-45.

BUSCHIAZZO, D.E. Y V. TAYLOR, 1993. Efectos de la erosión eólica sobre algunas propiedades de suelos de la Región Semiárida Pampeana Central. Ciencia Del Suelo. Volúmen 10 -11.

CAMBARDELLA, C. & E. ELLIOT. 1992. Particulate Soil Organic-Matter Changes Across a Grassland Cultivation Sequence. Soil Science Society of American Journal 56: 777-783.

CAPURRO, J.; SURJACK, J.; ANDRIANI, J.; DICKIE, M.J. y M.C. GONZALEZ. 2010. Evaluación de distintas especies de cultivos de cobertura en secuencias soja-soja en el área sur de la provincia de Santa Fe. XXII CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO. Rosario, Santa Fe.

CARABACA, J.C.; ZAGAME, M.C.; STUDDERT, G.A. & G.F. DOMÍNGUEZ. 2010. Variación estacional de la materia orgánica particulada bajo dos sistemas de labranza. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Rosario, Santa Fe.

CARFAGNO, P.F.; EIZA, M.J.; QUIROGA, A.; BABINEC, F.; CHAGAS, C. Y R. MICHELENA. 2013a. Agua disponible en monocultivo de soja con cultivos de cobertura y barbechos reducidos en la región semiárida y subhúmeda Pampeana. Revista Ciencia del Suelo. Vol. 31. Nº 1.

CARFAGNO, P.; EIZA, M.; BABINEC, F. Y A. QUIROGA. 2013b. Inclusión de cultivos de cobertura en la dinámica hídrica de Hapludoles y Haplustoles del oeste de la provincia de Buenos Aires y noreste de La Pampa. Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción. Cap.11: 83-87. Ediciones INTA.

CARRASCO, N.; COSTA, J.L. & M. S. ZAMORA. 2013. Calidad del suelo en el área sur de la Cuenca del Arroyo Claromecó. El Impacto de los Sistemas actuales de cultivo sobre las Propiedades Químicas del Suelo y sus efectos sobre los Balances de Carbono. Pg.26-32. INTA Ediciones. Colección INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN. 1ª ed. Coronel Suarez, Buenos Aires.

CARVAJAL VANEGAS, A.F. 2008. Relación del carbono y nitrógeno del suelo con usos y coberturas del terreno en Alcalá, Valle del Cauca. Tesis para optar al título de Magister Scientiae en Ecotecnología. Univ. Tecn. de Pereira. Fac. Cs. Ambientales.

CASADO-MURILLO, N. Y A. ABRIL. 2013. Decomposition and carbón dynamics of crop residue mixtures in a semiarid long term no-till system: effects on soil organic carbon. Open Agric. J. 7(Suppl. 1-M3): 11-21.

CASAS, R. 2007. Cultivos de cobertura: una alternativa sustentable. Artículo de divulgación. Noticias de Campo, La Nación. www.lanacion.com.ar/edición-impresa/suplementos/campo.

CASTRO, L.G.; COGO, N.P. Y VOLK, L.B.S. 2006. Alterações na rugosidade superficial do solo pelo preparo e pela chuva em solo com cessamento de cultivo, na ausência e na presença de cobertura por resíduo cultural, e sua relação com a erosão hídrica. R. Bras. Ci. Solo, 30:339-352.

CAVIGLIA, O. P.; SADRAS, V.O. y F.H.ANDRADE. 2004. Intensification of agricultura in the south-eastern pampas I. Capture and efficiency in the use of wáter and radiation in double cropped wheat-soybean. Field Crops Research 87, p.117-129.

CAVIGLIA, O.P.; NOVELLI, L.; GREGORUTTI V.C.; VAN OPSTAL N.V. Y R.J.MELCHIORI. 2013. Cultivos de cobertura invernales: una alternativa de intesificación sustentable en el centro-oeste de Entre Ríos. Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción. Cap.18: 148-157. Ediciones INTA.

CLUNES, J.; NAVARRO, J. Y D. PINOCHET. 2014. Variación temporal del contenido de materia orgánica en dos suelos volcánicos bajo diferentes manejos agrícolas. Agro sur v.42 n.3. Ciencias del Suelo.Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile.

COGO, N.P. Y STRECK, E.V. 2003. Surface and subsurface decomposition of a desiccated grass pasture biomass related to erosion and its prediction with RUSLE. R. Bras. Ci. Solo, 27:153-164.

COLAZO J.C. Y D.E. BUSCHIAZZO. 2015. The impact of agriculture on soil texture due to wind erosion. LandDegrad. Develop. 26: 62-70. DOI: 10.1002/ldr.2297.

CRESPO, R.J.; SFEIR, A.; USUNOFF, E.; ARES, G. Y WINGEYER, A.B. 2010. Efecto de la labranza y la cobertura vegetal sobre elescurrimiento y la pérdida de suelo en la Región central dela provincia de Buenos Aires. Rev. FCA UNCuyo. Tomo 42. N° 1. Año 2010. 93-106.

CRUSE, R.M.; YAKLE, G.A.; COLVIN, T.C.; TIMMONS, D.R. AND A.L. MUSSLEMAN. 1983. Tillage effects on corn and soybean production in farmer-managed, university-monitored field plots. *J. Soil Water Conserv.* 38: 512-515.

DA SILVA VOLK, L.B. & N. P. COGO. 2009. Relações entre tamanho de sedimentos erodidos, velocidade da enxurrada, rugosidade superficial criada pelo preparo e tamanho de agregados em solo submetido a diferentes manejos. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:1459-1471.

DECHEN S.C.F.; DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M. Y S.R.VIEIRA. 2004. Manejo de solos tropicais no Brasil. Reuniao Brasileira de Manejo e Conservação do Solo, Santa Maria. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.1-28.

DE LA VEGA, G.; CASTIGLIONI, M.G.; MASSOBRIO, M. J.; CHAGAS, C. I.; SANTANATOGLIA, O. J. Y IRURTIA, C. 2004. Efectos de la cobertura y la humedad inicial en la infiltración de un Argiudol vértico bajo Siembra Directa. *Ciencia del Suelo* 22: 25 – 27.

DE LA CRUZ, I. 2010. Caracterización de lluvia simulada y su aplicación en parcelas experimentales de erosión en taludes de infraestructuras lineales. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal. Universidad Politécnica de Madrid.

DERPSCH, R. 1999. Expansión mundial de la siembra directa. Avances tecnológicos. V Reunión de la Red Latinoamericana de Agricultura Conservacionista, Florianópolis, Santa Catarina.

DEXTER, A.R., 1977. Effect of reinfall on the surface micro-relief of tilled soil. *J. Terramechanics*, 14: 11-22.

DO PRADO WILDNER, L. Y M. DA VEIGA. 2017. Relación entre erosión y pérdida de fertilidad del suelo. Tema 2: Erosión y pérdida de fertilidad del suelo. Recuperado de: <http://www.fao.org>, consultado el 7/6/2017.

DOUGLAS J.T. & M.J. GOSS. 1982. Stability and organic matter of surface soil aggregates under different methods of cultivation and in grassland. *Soil Till. Res.* 2:155-175.

DUVAL, M.E., GALANTINI, J.A.; MARTÍNEZ, J.M. & F.M.LÓPEZ. 2016. Utilización de dos prácticas agrícolas contrastantes: efectos temporales sobre las propiedades edáficas. XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. "Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo". Río Cuarto, Córdoba.

DUVAL, M.; LOPEZ, F.; MARTINEZ, J.M.; IGLESIAS, J.; GALANTINI, J. Y L.WALL. 2014. Evaluación de la calidad de suelos agrícolas por medio de índices. *Boletín CERZOS*. Año 14, N° 25.

DUVAL M.; MARTINEZ J.M.; IGLESIAS, J.; GALANTINI, J.A. & L. WALL. 2015. Secuencia de cultivos y su efecto sobre las fracciones orgánicas del suelo. El Impacto de los Sistemas actuales de cultivo sobre las Propiedades Químicas del Suelo y sus efectos sobre los Balances de Carbono. Pg.51-55. INTA Ediciones. Colección INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN. 1ª ed. Coronel Suarez, Buenos Aires.

ECHEVERRÍA, N.E.; ESPIL, V.M.; DE LUCIA, M.P.; BOUZA, M.P. & J. C. SILENZI. 2016. Efecto del encostramiento superficial sobre parámetros físicos e hidrológicos en suelos bajo diferentes manejos. XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO. Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo. Río Cuarto, Cba.

ECHEVERRÍA, N.; QUEREJAZÚ, S.; DE LUCIA, M.; SILENZI, J.; FORJAN, H., & M. MANSO. 2015. Estabilidad y carbono orgánico de agregados bajo rotaciones en siembra directa. El Impacto de los Sistemas actuales de cultivo sobre las Propiedades Químicas del Suelo y sus efectos sobre los Balances de Carbono. Pg.45-50. INTA Ediciones. Colección INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN. 1ª ed. Coronel Suarez, Buenos Aires.

EIZA, M.; FIORITI, N.; STUDDERT, G. Y H. E ECHEVERRÍA. 2005. Fracciones de carbono orgánico en la capa arable: efecto de los sistemas de cultivo y fertilización nitrogenada. Revista de la Ciencia del Suelo v.23 n.1 Buenos Aires.

EIZA, M; STUDDERT, G.; FIORITI, N. Y G. DOMINGUEZ. 2006. Estabilidad de agregados y materia orgánica total y particulada en Molisoles de Balcarce. In: XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta, Argentina.

ERNST, O. 2004. Leguminosas como cultivo de cobertura. Informaciones Agronómicas del Cono Sur. IPNI.Nº21.

FEHR, W.R. & C.E. CAVINESS. 1977. Stages of soybean development. Iowa St. Univ. Special Report 80. 11p.

FERNÁNDEZ, R.; QUIROGA, A. Y E. NOELLEMEYER. 2013. Cultivo de cobertura como antecesor del cultivo de maíz en la Región Semiárida Pampeana. Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción. Cap.15: 117-127. Ediciones INTA.

FOX, R.H. AND V.A. BANDEL. 1986. Nitrogen utilization with no-tillage. No-Tillage and Surface-Tillage Agriculture. The Tillage Revolution. M.A. Sprage and G.B.Triplett, Ed. John Wiley and Sons. USA. 117-255 pp.

GALANTINI, J.A.; LANDRISCINI, M.R. y R.A. ROSELL. 2000. Patrones de acumulación, balance y partición de nutrientes en diferentes sistemas de producción de trigo. Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA-INTA) 29 (2) 99-110.

GARAY SCHIEBELBEIN, M. 2015. Secuestro de carbono y patrón vertical de propiedades químicas en molisoles forestados con *Pinus radiata*. Tesis de Doctor en Agronomía. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. Buenos Aires. República Argentina.

GILLES, L.; COGO, N.P.; BISSANI, C.A.; BAGATINI, T. & J. C. PORTELA. 2009. Perdas de água, solo, matéria orgânica e nutriente por erosão hídrica na cultura do milho implantada em área de campo nativo, influenciadas por métodos de preparo do solo e tipos de adubação. Seção VI - manejo e conservação do solo e da água R. Bras. Ci. Solo, 33:1427-1440.

GREGORICH, E.G.; BEARE, M.H.; MCKIM, U.F. & JO SKJEMSTAD. 2006. Chemical and biological characteristics of physically uncomplexed organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 975-985.

GRIFFITH, D.R.; J.V. MANNERING, AND W.C. MOLDENHAUER. 1977. Conservation tillage in the Eastern corn belt. *J. Soil Water Conserv.* 32:22-28.

GUDELJ, O.E.; POCHETTINO, P.A. Y C.M.GALARZA. 2016. Efecto del cultivo de cobertura y la fertilización sobre propiedades físicas de un Argiudol. XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. "Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo". Comisión 4: Manejo, Conservación y Ordenamiento de Suelos y Aguas. Riego y Drenaje. Río Cuarto, Córdoba. Rep.Argentina.

HELMING, K.; ROTH, CH. H.; WOLF, R. & H. DIESTEL.1993. Characterization of rainfall microrelief interactions with runoff using parameters derived from digital elevation models (DEMs). *Soil Technology*, 6: 273-286.

HUDSON, N.W. 1995. *Soil conservation*.3.ed.Ames, Iowa State University Press, 391p.

INTA, 1988. Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja 3360-13 y14. Cañada de Gómez y Rosario.

IRURTIA, C.B.; MON, R.; GONZALEZ, N.; ELISEI, J.; CRUZATE, G. Y A. LLOVET. 2010. Variación en el corto plazo del microrelieve y la cobertura superficial en un suelo subsolado bajo siembra directa. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. Rep.Argentina.

KARATHANASIS, A.D. AND K.L. WELLS. 1990. Conservation tillage effects on the potassium status of some Kentucky soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:800-806.

KARLEN, D.L.; BERRY, E.C.; COLVIN, T.S. & R.S. KANWAR. 1991. Twelve-year tillage and crop rotation effects on yields and soil chemical properties in northeast Iowa. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 22:1985-2003.

KEMPER, W.D. 1965. Aggregate stability. Pp. 511-519. *In: CA Black (ed.)*. Methods of soil analysis. Part 1: Agronomy. Vol.9. Am. Soc. Agron.Inc. Madison.

KETCHENSON, W.J. 1980. Effect of tillage on fertilizer requirements for corn on a silt loam soil. *Agron. J.* 72:540-542.

KJELDAHL, J.1883. Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern.Zeitschrift für Analytische Chemie, revista editada por el Dr. Remigius Fresenius.Año 22., CW Kreidels Verlag. Pag. 366-382

KIESSLING, R. J. 2012. Cambios en algunas propiedades químicas y físicas del suelo en sistemas productivos del sudoeste bonaerense: efecto del sistema de labranza, nivel de fertilización nitrogenada y pastoreo directo. Tesis Magíster en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Sur.

- KÖRSCHENS, M., WEIGEL, A. & E. SCHULZ. 1998. Turnover of soil organic matter (SOM) and long-term balances — tools for evaluating sustainable productivity of soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 161: 409-424.
- LAFLEN, J.M.; AMEMIYA, M. Y E.A. HINTZ. 1981. Measuring crop residue cover. *J. Soil Water. Conserv.*, 36:341-343.
- LAFLEN, J.M. & T.S. COLVIN. 1981. Effect of crop residue on soil loss from continuous row cropping. *Trans. Am. Sci. Agric. Eng.* 24:605-609.
- LAL, R.; BLUM, W.H.; VALENTINE, C. & B.A. STEWART. 1998. Methods for assessment of soil degradation. In: *Advances in Soil Science*, Lewis Publishers, Boca Raton, p. 558.
- LAVADO, R. 2006. La Región Pampeana: historia, característica y uso de sus suelos. Pp. 1-11. *En: R Álvarez (ed.). Materia orgánica: Valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos*. Buenos Aires. Argentina.
- LE BAYON, R.C. & G. BINET. 1999. Rainfall effects on erosion of earthworm casts and phosphorus transfers by water runoff. *Biol. Fertil. Soils* 30: 7-13.
- LEVIEN, R. 1999. Condições de cobertura e métodos de preparo do solo para a implantação da cultura do milho (*Zea mays*L.). Botucatu, Universidade Estadual Paulista. 305 p. (Tese de Doutorado).
- LINN, D.M. AND J.W. DORAN. 1984. Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils. *Soils Sci. Soc. Am. J.*, Vol. 48.
- LÓPEZ CARRATALÁ, J. 2014. Influencia del cambio de uso sobre la erosión del suelo, carbono transportado por erosión y stocks de carbono en ambientes semiáridos mediterráneos. Tesis Doctoral. Universidad de Valencia. España.
- LU, Y.C.; WATKINS, K.B. AND A.A. ABDUL-BAKI. 2000. Cover crop in sustainable food production. *Food Rev. Int.* 16: 121-157.
- LUCIANO, R.V.; BERTOL, I.; TONDELLO BARBOSA, F.; VIDAL VÁZQUEZ, E. & E. L. FABIAN. 2009. Perdas de água e solo por erosão hídrica em duas direções de semeadura de aveia e ervilhaca. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:669-676.
- MACKAY, A.D.; KLADIVKO, E.J.; BARBER, S.A. AND D.R. GRIFFITH. 1987. Phosphorous and potassium uptake by corn in conservation tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:970-974.
- MARELLI, H.J.; ARCE, J.M. Y B.L. MASSIERO. 1986. Simulador de lluvias para investigación básica en conservación de suelos. Publicación Técnica N°8. Serie Suelos y Agroclimatología. EEA INTA Marcos Juárez.
- MARELLI H.; ARCE J. Y M. ZABALA. 2006. Conservación sustentable del suelo y el agua. Información para Extensión N° 99. EEA INTA Marcos Juárez .
- MARELLI, H.J.; ARCE, J.M.; MASIERO, B.L.; LORENZÓN, C. A. Y MARELLI, P.M. 2007. Relación entre variables químicas del suelo y del sedimento erosionado. Informe de

investigación. INTA Marcos Juárez, Córdoba. Rep. Argentina. AGRIS: International information system for the agricultural science and technology. FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

MARTINEZ, J.P.; BARBIERI, P.A.; SAINZ ROSAS, H.R. Y H.E. ECHEVERRÍA. 2011. Incorporación de cultivos de cobertura previos a soja en el sudeste bonaerense. *Informaciones Agronómicas de HispanoAmérica* 10, Junio 2013. IPNI. International Plant Nutrition Institute.

MAASS, J.M., C.F. JORDAN, & J. SARUKAN. 1988. Soil erosion and nutrient losses in seasonal tropical agrosystems under various management techniques. *J. Appl. Ecol.* 25: 595-607.

MEYER, L.D. & W.C. HARMOND. 1979. Multiple Intensity Rainfall Simulator for erosion research on row side slopes. *Transactions of the ASAE* paper N°77-2025.

MEYER, L. 1983. Portable rainfall simulator. Comunicación personal.

MINISTERIO DE AGROINDUSTRIA. 2017. <http://www.agroindustria.gob.ar> Agricultura, Ganadería y Pesca. Subsecretaría de Agricultura. Dirección Nacional de Estimaciones Agrícolas, Delegaciones y Estudios Económicos. Estimaciones Agrícolas. Series Históricas.

MONCRIEF, J.F., AND E.E. SCHULTE. 1982. Fertilizer placement in tillage systems- Wisconsin. In *Proc. of the 34nd. Annual Fertilizer and Agric. Chemical Dealers Conf.*, Des Moines, IA. 12-13 Jan. Iowa State University, Ames.

MONTICO, S. 2007. Manejo de la Cobertura. Abonos verdes y Cultivos de Cobertura. Apuntes de Cátedra. Cátedra Manejo de Tierras. FCA Zavalla. UNR.

MORGAN, R.P.C. 1997. Erosión y conservación del suelo. Ediciones Mundi-Prensa, 343 pp.

NAVARRO GARZA, H.; PÉREZ OLVERA, M.A. Y F. CASTILLO GONZÁLEZ. 2007. Evaluación de cinco especies vegetales como cultivos de cobertura en valles altos de México. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 30 (2): 151 – 157.

NIETO, M.; VIDELA, C.; HERRERO, J.D.D.; DEMARÍA, M.; FRIGERIO, K. & J. RIEDEL. 2015. Cambio de uso del suelo en caldenales de San Luis: efecto sobre algunas propiedades edáficas. El Impacto de los Sistemas actuales de cultivo sobre las Propiedades Químicas del Suelo y sus efectos sobre los Balances de Carbono. Pg.98-103. INTA Ediciones. Colección INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN. 1ª ed. Coronel Suarez, Buenos Aires.

OSINAGA, N.; ÁLVAREZ, C.R.; SUVAR, G. Y M. TABOADA. 2016. Efecto del uso sobre la estructura del suelo en el Chaco subhúmedo. XXV Congreso argentino de la Ciencia del Suelo. "Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo" Río Cuarto, Cba, Rep. Argentina.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A.C.T.; ALVES DE SOUZA, C.M.& M.A. URCHEI. 2010. Rugosidade da superfície do solo sob diferentes sistemas de manejo e influenciada por chuva artificial. R. Bras. Ci. Solo, 34:443-451.

PARUELO, J. M.; GUERSCHMAN, J.P. Y S.R. VERÓN. 2005. Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo. Revista Ciencia Hoy. Volúmen 15, Nº87.

PAUSTIAN, K.; COLLINS, H.P. & E. A. PAUL. 1997. Management controls on soil carbon. In: Paul, E.A., Paustian, K., Elliott, E.A., Cole, C.V. (Eds.), Soil Organic Matter in Temperate Ecosystems: Long Term Experiments in North America. CRC Press, Boca Rotan, FL, pp.15-49.

PAZ GONZÁLEZ, A. Y M.T. TABOADA CASTRO.1996. Medida del microrrelieve del suelo y estimación de la retención hídrica en depresiones de la superficie. IV Reunión de Geomorfología. Grandal d'Anglade, A. y Pagés Valcarlos, J., Eds. Sociedad española de Geomorfología. O Castro (A Coruña).

PELERETEGUI, F.; PLAZA DE AYALA, R. Y C. CHAGAS. 2003. Rugosidad y cobertura superficial de un Argiudol vértico de la pampa ondulada (Buenos Aires, Argentina) sometido a lluvias naturales. Ciencia del Suelo 21 (1), pp.30-33.

PEREZ, U. Y R. LOPEZ. 2000. Estudio preliminar de la erosión hídrica en un Inceptisol de los Andes venezolanos bajo uso agrícola. Rev. Forest. Venez. 44(2), 11-19

PORTELA, J.C.; COGO, N.P.; DO AMARAL, A.J.; GILLES, L.; BAGATINI, T.; PARDO CHAGAS, J. Y G. PORTZ. 2011. Hidrogramas e Sedimentogramas associados à erosão hídrica em solo cultivado com diferentes sequências culturais, com diferentes condições físicas na superfície. R. Bras. Ci. Solo, 35:225-240.

QUEIROZ CUNHA, E.; STONE, L.F.; ALVEZ MOREIRA, J.A.; BRITO FERREIRA, E.P.; DIDONET, A.D. Y W.M. LEANDRO, 2011. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na producao organica de feijao e milho. I- Atributos físicos do solo. R. Bras. Ci. Solo, 35:589-602.

QUIROGA, A.R.; FUNARO, D.O.; FERNÁNDEZ, R. Y E. J. NOELLEMAYER. 2005. Factores edáficos y de manejo que condicionan la eficiencia del barbecho en la región pampeana. Revista Ciencia del Suelo. Vol.23. Nº 1.

RANDALL, G.W. 1980. Fertilization practices for conservation tillage. In Proc. of the 32nd. Annual Fertilizer and Agric. Chemical Dealers Conf., Des Moines, IA. 8-9 Jan. Iowa State University, Ames.

REHM, G.W.; RANDALL, G.W.; SCOBBI, A.J.& J.A. VETSCH. 1995. Impact of fertilizer placement and tillage system on phosphorus distribution in soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 59:1661-1665.

RESTOVICH, S. Y A. ANDRIULO. 2013. Cultivos de cobertura en la rotación soja-maíz: biomasa aérea, captura de nitrógeno, consumo de agua y efecto sobre el rendimiento en

grano. Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción. Cap.05: 29-35. Ediciones INTA.

RESTOVICH, S.B.; ANDRIULO, A.E. Y C.AMÉNDOLA. 2011. Introducción de cultivos de cobertura en la rotación soja-maíz: efecto sobre algunas propiedades del suelo. Cienc. suelo vol.29 no.1.

REUSSI CALVO, N.I.; ECHEVERRÍA, H.E. Y H. SAINZ ROZAS. 2006. Respuesta del cultivo de trigo al agregado de azufre en el sudeste bonaerense. CI. SUELO (ARGENTINA) 24 (1) 0-0, 1-11.

RIDLEY, N. 2013. Cultivos de cobertura en el sur de Santa Fe: Efectos sobre la eficiencia de barbecho y la porosidad del suelo. Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción. Cap.02: 7-15. Ediciones INTA.

RILLO, S. 2012. Cultivos de cobertura para mejorar las condiciones del suelo en rotaciones con alta frecuencia de soja. Especialización en Cultivos de Granos. Escuela para Graduados de la Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.

RILLO, S.; ALVAREZ, C.; BAGNATO, R. Y E. NOELLEMAYER. 2013. Cultivos de cobertura: gramíneas y leguminosas en el centro oeste de la provincia de Buenos Aires. Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción. Cap. 08: 58 – 68. Ediciones INTA, 2012.

RIMSKI-KORSAKOV, H.; ALVAREZ, C.R. & R.S. LAVADO. 2015. Cover crops in the agricultural systems of the Argentine Pampas. Journal of Soil and Water Conservation, 70(6), 134A-140A.

RIVERO.C.; TORRES, A.; LOZANO, Z.; HERNANDEZ, R.M.; C.BRAVO; OJEDA, A. Y M. TORO. 2012. Efectos del uso de fertilización y cultivos de cobertura sobre el nitrógeno y la materia orgánica en un suelo de sabana, Venezuela. Venesuelos 19:55-63.

ROBINSON, G.W. 1922. A new method for the mechanical analysis of soils and other dispersions. J. Agric. Sci. 12: 306-321.

RONCO, J.; BECKER, A.; BOSCHETTI, N.; SCHIAVO, H.; BEFANI, R. Y M. COOPER. 2012. Evaluación de erosión hídrica en agroecosistemas de la cuenca de General Deheza, Cba. XIX Cong. Latinoamericano y XXIII Cong. Arg.Ciencia del suelo. Argentina. Cd 4pp.

RUFFO, M. 2003. Factibilidad de inclusión de cultivos de cobertura en Argentina. Actas XI Congreso de AAPRESID I: 171 – 176.

RUFFO, M.L. Y A.T. PARSONS. 2004. Cultivos de cobertura en sistemas agrícolas. Informaciones Agronómicas del Cono Sur, N°21.

SÁENZ, C. Y J. COLAZO. 2013. Costo hídrico de cultivos de cobertura invernales en San Luis. Primeras experiencias. Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción. 1a ed. La Pampa: Ediciones INTA. Cap.03: 16-20.

SAINJU, U.M.; LENSSEN, A.; CAESAR-TONTHA.T, T. & J. WADDELL. 2006. Tillage and Crop Rotation Effects on Dryland Soil and Residue Carbon and Nitrogen. *Soil Society of America Journal* 70(2):668-678.

SALVAGIOTTI, F.; VERNIZZI, A.; BODRERO, M.Y S. BACIGALUPPO. 2013. Cambios en el corto plazo en distintas fracciones de la materia orgánica en respuesta a la inclusión de cultivos de cobertura en secuencias basadas en soja. *Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción*. Cap.12: 88-91. Ediciones INTA, 2012.

SANTIAGO, J.L.; BENITO, E. Y M.E. VARELA. 2003. Influencia de la degradación de la cubierta vegetal en la generación de sedimentos y en su composición: experiencias con simulación de lluvia. *EDAFOLOGÍA, Vol. 10 (3), pp. 181-185*.

SANZANO, G.A.; MORANDINI, M.; HERNÁNDEZ, C.F.; ROJAS QUINTEROS, H.C.; SOSA, F.A.; HASÁN JALIL, A.J. ; FADDA, G.S. Y M. R. DEVANI. 2008. Efecto de la cobertura de rastrojos y las propiedades edáficas superficiales sobre la erosión hídrica en monocultivo de soja. *Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán*. Tomo 85 (1): 23 - 30.

SAS Institute Inc. (2015). SAS University edition virtual application. Cary, NC, USA. Retrieved from http://www.sas.com/en_us/software/university-edition.html

SASAL, M.C. Y A. ANDRIULO. 2005. Cambios en la porosidad edáfica bajo siembra directa por la introducción de *Raphanus sativus* L. (nabo forrajero). *RIA*, 34 (3): 131-150. ISSN edición impresa 0325-8718.

SAXTON, K.E. AND W.J. RAWLS. 2006. Soil water characteristics estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. *Soil Science Society of America Journal* 70: 1569-1578. <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/national/water/manage/drainage/?cid=stelprdb1045310>.

SCIANCA, C.; ÁLVAREZ, C.; BARRACO, M.; QUIROGA, A. Y M.B. PÉREZ. 2008. Impacto de diferentes coberturas invernales sobre propiedades edáficas, población de malezas y productividad de soja. *Memoria Técnica 2007-08*. EEA INTA General Villegas.

SCIANCA, C.; PÉREZ, M.; BARRACO, M. Y A. LARDONE. 2011. Cultivos de cobertura en sistemas de producción orgánica: producción de materia seca e impacto sobre algunas propiedades edáficas y poblaciones de malezas. *Memoria Técnica 2010 – 2011*. EEA INTA General Villegas.

SCIANCA, C.; VARELA, M.F.; BARRACO, M.; ÁLVAREZ, C. Y A. QUIROGA. 2013. Cultivos de cobertura en un Hapludol Thapto Árgico de La Pampa arenosa: análisis de cinco campañas. *Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción*. Cap.14: 105-116. Ediciones INTA.

SERRANO ALTAMIRANO, V. Y M.Á. CANO GARCÍA. 2007. Leguminosas de cobertura para reducir la erosión y mejorar la fertilidad de suelo de ladera. *Terra Latinoamericana*, vol. 25, núm. 4, pp. 427-435. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.

SIQUEIRA LEITE, M.H.; GUIMARÃES COUTO, E.; SILVA AMORIM, R.S.; LENZA DA COSTA, E. & L. MARASCHIN. 2009. Perdas de solo e nutrientes num latossolo vermelho-amarelo ácrico típico, com diferentes sistemas de preparo e sob chuva natural. R. Bras. Ci. Solo, 33:689-699.

SHEAR, G.M. AND W.W. MOSCHLER. 1969. Continuous corn by the no-tillage and conventional tillage method: A six-year comparison. Agron. J. 61:524-526.

STEICHEN, J.M. 1984. Infiltración y rugosidad aleatoria de un suelo claypan labrado y sin labrar. Soil & Tillage Research. Volúmen 4, Número 3:251-262.

STOCKING, M. 1984. Erosion and soil productivity: a review. Consultants' working Paper N° 1 AGLS, FAO, Roma, 102p.

STRECK, E.V. & N. P. COGO. 2003. Reconsolidation of the soil surface after tillage discontinuity, with and without cultivation, related to erosion and its prediction with RUSLE. R. Bras. Ci. Solo, 27:141-152.

STUDDERT, G.A.; DOMÍNGUEZ, G.F.; ZAGAME, M.C. & J.C. CARABACA. 2014. Variación estacional de carbono orgánico particulado y nitrógeno anaeróbico. Serie Ciencia del Suelo. Revista de la AACS, 33 (1): 65-77.

SUÑER, L.; GALANTINI, J. A. Y R. ROSELL. 2005. Cambios del fósforo en suelos bajo diferentes rotaciones de cultivos. IPNI. Revista Informaciones Agronómicas N° 25: 5-8

THORNTHWAITE, C.W. & J.R. MATHER. 1955. The wáter balance: Centerton, N.J., Laboratory of Climatology, Publications in Climatology, v.8, N°1, p.1-104.

TIMMONS, D.R. 1982. Fertilizer placements in tillage systems-Iowa. In Proc. of the 34nd. Annual Fertilizer and Agric. Chemical Dealers Conf., Des Moines, IA. 12-13 Jan. Iowa State University, Ames.

TOLEDO, R.E. 2017. Fases de desarrollo del cultivo de soja. Cátedra de cereales y Oleaginosas. FCA. UNC. Recuperado de [http:// www.agro.unc.edu.ar](http://www.agro.unc.edu.ar). Consultado el 6/5/2017.

TORRES R., D.; FLORENTINO, A. Y M. LÓPEZ. 2005. Pérdidas de suelo y nitrógeno por escorrentía en un Ultisol degradado bajo diferentes condiciones de cobertura vegetal en Chaguaramas-Guárico. Agronomía Trop. 55 (4): 475-496.

THRUPP, L. 1996. New Partnership for Sustainable Agriculture. USA. World Resources Institute.

VANZOLINI, J.I.; GALANTINI, J. Y R. AGAMENNONI. 2013. Cultivos de cobertura de *Vicia villosa* Roth. en el valle bonaerense del Río Colorado. Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción. Cap.4: 21-28. Ediciones INTA.

VIDAL VÁZQUEZ, E. Y M.M. TABOADA CASTRO. 2003. Influencia del laboreo convencional sobre la rugosidad aleatoria del suelo. Edafología, Vol. 10 (2), pp. 171-175.

- VOLK, L.B.S. 2002. Erosão hídrica relacionada às condições físicas de superfície e subsuperfície do solo, induzidas por formas de cultivo e de manejo dos resíduos culturais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 68p. (Tese de Mestrado).
- VOLK, L.B.S.; COGO, N.P. & E. V. STRECK. 2004. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. R. Bras. Ci. Solo, 28:763-774.
- WALKLEY, A. & I.A. BLACK. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science.37: 29-38.
- WEIR. E. 2002. Pérdida de suelo y agua en parcelas de escurrimiento. Actas del Segundo Taller de Contaminación por Agroquímicos, 23 Agosto 2002. Pergamino. Buenos Aires.
- WISCHMEIER, W.H. Y SMITH, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses; a guide to conservation planning. Washington, USDA.58 p. (AgriculturalHandbook, 537).

ANEXO I

Tabla 20. Niveles de probabilidad de los test F, de los análisis de variancia de las variables químicas de suelo, en el espesor 0 a 5 centímetros

<i>Profundidad 0 a 5 cm</i>				
<i>Carbono Orgánico Total (COT) en g.kg⁻¹</i>				
<i>Fecha</i>	may-12	nov-12	ene-13	mar-13
<i>Efecto</i>	Pr > F			
<i>amb</i>	< 0,0001 xx	0,0219 x	0,0184x	<0,0001xx
<i>trat</i>	0,0813 ns	0,0002 xx	0,0314 x	0,0001xx
<i>amb*trat</i>	0,4176 ns	0,5370 ns	0,7890ns	0,1440ns
<i>TA</i>	0,0003 xx			
<i>TA x Fecha</i>	<0,0001 xx			
<i>Carbono Orgánico Particulado (COP) en g.kg⁻¹</i>				
<i>Fecha</i>	may-12	nov-12	ene-13	
<i>Efecto</i>	Pr > F			
<i>amb</i>	0,8446 ns	0,5942 ns	0,1573 ns	
<i>trat</i>	0,9267 ns	0,0003 xx	0,0003 xx	
<i>amb*trat</i>	0,8025 ns	0,9006 ns	0,7827 ns	
<i>TA</i>	0,0005 xx			
<i>TA x Fecha</i>	0,0558 ns			
<i>Relación COP/COT</i>				
<i>Fecha</i>	may-12	nov-12	ene-13	
<i>Efecto</i>	Pr > F			
<i>amb</i>	0,9814 ns	0,8912 ns	0,3829 ns	
<i>trat</i>	0,9856 ns	0,0008 xx	0,0026 xx	
<i>amb*trat</i>	0,8416 ns	0,8976 ns	0,9575 ns	
<i>TA</i>	0,0073 xx			
<i>TA x Fecha</i>	0,1711 ns			
<i>Nitrógeno total (Nt) en g.kg⁻¹</i>				
<i>Fecha</i>	may-12	nov-12	ene-13	mar-13
<i>Efecto</i>	Pr > F			
<i>amb</i>	<0,0001 xx	0,1046 ns	0,0205 x	0,7608 ns
<i>trat</i>	0,4848 ns	0,0005 xx	0,0876 ns	0,5230 ns
<i>amb*trat</i>	0,0334 x	0,8353 ns	0,4265 ns	0,2827 ns
<i>TA</i>	0,0005 xx			
<i>TA x Fecha</i>	0,0034 xx			
<i>Relación Carbono/Nitrógeno</i>				
<i>Fecha</i>	may-12	nov-12	ene-13	mar-13
<i>Efecto</i>	Pr > F			
<i>amb</i>	0,2121 ns	0,1995 ns	0,5466 ns	0,0557 ns
<i>trat</i>	0,5821 ns	0,7439 ns	0,3491 ns	0,0137 x

<i>amb*trat</i>	0,0272 x	0,6662 ns	0,8572 ns	0,0763 ns
<i>TA</i>	0,0077 xx			
<i>TA x Fecha</i>	<0,0001 xx			
<i>Fósforo extraíble (Pe) mg.kg⁻¹</i>				
<i>Fecha</i>	may-12	nov-12	ene-13	mar-13
<i>Efecto</i>	Pr > F			
<i>amb</i>	<0,0001 xx	0,0203 x	0,0509 x	0,0375 x
<i>trat</i>	0,5298 ns	0,0551 ns	0,1271 ns	0,0601 ns
<i>amb*trat</i>	0,5008 ns	0,8074 ns	0,8143 ns	0,7012 ns
<i>TA</i>	0,0002 xx			
<i>TA x Fecha</i>	0,5933 ns			
<i>Azufre de Sulfatos (S-SO4) mg.kg⁻¹</i>				
<i>Fecha</i>	may-12	nov-12	ene-13	mar-13
<i>Efecto</i>	Pr > F			
<i>amb</i>	0,0031 xx	0,3434 ns	0,2111 ns	0,0736 ns
<i>trat</i>	0,6704 ns	0,1605 ns	0,1989 ns	0,0337 x
<i>amb*trat</i>	0,4381 ns	0,6327 ns	0,1010 ns	0,9631 ns
<i>TA</i>	0,0268 x			
<i>TA x Fecha</i>	0,0001 xx			
<i>pH</i>				
<i>Fecha</i>	may-12	nov-12	ene-13	mar-13
<i>Efecto</i>	Pr > F			
<i>amb</i>	0,1826 ns	0,0434 x	0,4061 ns	0,2582 ns
<i>trat</i>	0,2308 ns	0,0027 xx	0,8382 ns	0,7185 ns
<i>amb*trat</i>	0,2022 ns	0,0238 x	0,4681 ns	0,6494 ns
<i>TA</i>	0,0039 xx			
<i>TA x Fecha</i>	0,2856 ns			

Tabla 21. Niveles de probabilidad de los test F, de los análisis de variancia de las variables químicas de suelo, en el espesor 5 a 10 centímetros

<i>Profundidad 5 a 10 cm</i>				
<i>Carbono Orgánico Total (COT) en g.kg⁻¹</i>				
<i>Fecha</i>	may-12	nov-12	ene-13	mar-13
<i>Efecto</i>	Pr > F			
<i>amb</i>	<0,0001 xx	0,0643 ns	0,5150 ns	0,0782ns
<i>trat</i>	0,0612 ns	0,6222 ns	0,1740 ns	0,7746 ns
<i>amb*trat</i>	0,0854 ns	0,6598 ns	0,3256 ns	0,5765 ns
<i>TA</i>	0,041 x			
<i>TA x Fecha</i>	<0,0001 xx			
<i>Carbono Orgánico Particulado (COP) en g.kg⁻¹</i>				
<i>Fecha</i>	may-12	nov-12	ene-13	
<i>Efecto</i>	Pr > F			
<i>amb</i>	0,2412 ns	0,5953 ns	0,6297 ns	
<i>trat</i>	0,3144 ns	0,3444 ns	0,0851 ns	
<i>amb*trat</i>	0,2539 ns	0,1091 ns	0,3555 ns	
<i>TA</i>	0,0308 x			
<i>TA x Fecha</i>	0,0963 ns			
<i>Relación COP/COT</i>				
<i>Fecha</i>	may-12	nov-12	ene-13	
<i>Efecto</i>	Pr > F			
<i>amb</i>	0,4895 ns	0,8031 ns	0,4222 ns	
<i>trat</i>	0,3941 ns	0,2588 ns	0,8368 ns	
<i>amb*trat</i>	0,2461 ns	0,1731 ns	0,0477 x	
<i>TA</i>	0,1519 ns			
<i>TA x Fecha</i>	0,1980 ns			
<i>Nitrógeno total (Nt) en g.kg⁻¹</i>				
<i>Fecha</i>	may-12	nov-12	ene-13	mar-13
<i>Efecto</i>	Pr > F			
<i>amb</i>	0,0840 ns	0,0247 x	0,7901 ns	0,0709 ns
<i>trat</i>	0,0627 ns	1,0000 ns	0,0667 ns	0,5805 ns
<i>amb*trat</i>	0,4219 ns	0,5977 ns	0,0829 ns	0,2424 ns
<i>TA</i>	<0,0001 xx			
<i>TA x Fecha</i>	0,0311 x			
<i>Relación Carbono/Nitrógeno</i>				
<i>Fecha</i>	may-12	nov-12	ene-13	mar-13
<i>Efecto</i>	Pr > F			
<i>amb</i>	0,1402 ns	0,2162 ns	0,4476 ns	0,1915 ns
<i>trat</i>	0,0549 ns	0,5099 ns	0,6537 ns	0,2847 ns
<i>amb*trat</i>	0,3910 ns	0,3469 ns	0,5735 ns	0,5295 ns
<i>TA</i>	0,6170 ns			

<i>TA x Fecha</i>	<0,0001 xx			
<i>Fósforo extraíble (Pe) mg.kg⁻¹</i>				
<i>Fecha</i>	may-12	nov-12	ene-13	mar-13
<i>Efecto</i>	Pr > F			
<i>amb</i>	< 0,0001 xx	0,0986 ns	0,1506 ns	0,1026 ns
<i>trat</i>	0,1843 ns	0,0560 ns	0,1123 ns	0,5812 ns
<i>amb*trat</i>	0,5120 ns	0,2221 ns	0,8448 ns	0,2480 ns
<i>TA</i>	0,0120 x			
<i>TA x Fecha</i>	0,0293 x			
<i>Azufre de Sulfatos (S-SO4) mg.kg⁻¹</i>				
<i>Fecha</i>	may-12	nov-12	ene-13	mar-13
<i>Efecto</i>	Pr > F			
<i>amb</i>	<0,0001 xx	0,5319 ns	0,4108 ns	0,2886 ns
<i>trat</i>	0,8748 ns	0,2495 ns	0,0769 ns	0,0115 x
<i>amb*trat</i>	0,5092 ns	0,4933 ns	0,4123 ns	0,3914 ns
<i>TA</i>	<0,0001 xx			
<i>TA x Fecha</i>	<0,0001 xx			
<i>pH</i>				
<i>Fecha</i>	may-12	nov-12	ene-13	mar-13
<i>Efecto</i>	Pr > F			
<i>amb</i>	0,1292 ns	0,3364 ns	0,6433 ns	0,0374 x
<i>trat</i>	0,1002 ns	0,4006 ns	0,1649 ns	0,8537 ns
<i>amb*trat</i>	0,7461 ns	0,2282 ns	0,1623 ns	0,6398 ns
<i>TA</i>	0,0037 xx			
<i>TA x Fecha</i>	<0,0001 xx			

Tabla 22. Niveles de probabilidad de los test F, de los análisis de variancia de las variables químicas de suelo, en el espesor 10 a 20 centímetros.

<i>Profundidad 10 a 20 cm</i>				
<i>Carbono Orgánico Total (COT) en g.kg⁻¹</i>				
<i>Fecha</i>	may-12	nov-12	ene-13	mar-13
<i>Efecto</i>	Pr > F			
<i>amb</i>	<0,0001 xx	0,1441 ns	0,6706 ns	0,1312 ns
<i>trat</i>	0,0613 ns	0,6770 ns	0,7652 ns	0,7058 ns
<i>amb*trat</i>	0,3476 ns	0,1618 ns	0,4281 ns	0,2119 ns
<i>TA</i>	0,0923 ns			
<i>TA x Fecha</i>	<0,0001 xx			
<i>Carbono Orgánico Particulado (COP) en g.kg⁻¹</i>				
<i>Fecha</i>	may-12	nov-12	ene-13	
<i>Efecto</i>	Pr > F			
<i>amb</i>	0,3115 ns	0,1385 ns	0,0850 ns	
<i>trat</i>	0,4579 ns	0,0984 ns	0,0902 ns	
<i>amb*trat</i>	0,9995 ns	0,4594 ns	0,0861 ns	
<i>TA</i>	0,5306 ns			
<i>TA x Fecha</i>	0,0810 ns			
<i>Relación COP/COT</i>				
<i>Fecha</i>	may-12	nov-12	ene-13	
<i>Efecto</i>	Pr > F			
<i>amb</i>	0,9619 ns	0,1834 ns	0,8182 ns	
<i>trat</i>	0,3413 ns	0,0852 ns	0,1055 ns	
<i>amb*trat</i>	0,9928 ns	0,4028 ns	0,0288 x	
<i>TA</i>	0,4147 ns			
<i>TA x Fecha</i>	0,0493 x			
<i>Nitrógeno total (Nt) en g.kg⁻¹</i>				
<i>Fecha</i>	may-12	nov-12	ene-13	mar-13
<i>Efecto</i>	Pr > F			
<i>amb</i>	0,0011 xx	0,1561 ns	0,4756 ns	0,5738 ns
<i>trat</i>	0,7358 ns	1,0000 ns	0,1204 ns	0,6952 ns
<i>amb*trat</i>	0,0460 x	0,0640 ns	0,2282 ns	0,4098 ns
<i>TA</i>	0,0106 x			
<i>TA x Fecha</i>	0,0038 xx			
<i>Relación Carbono/Nitrógeno</i>				
<i>Fecha</i>	may-12	nov-12	ene-13	mar-13
<i>Efecto</i>	Pr > F			
<i>amb</i>	0,0142 x	0,3063 ns	0,7423 ns	0,2635 ns
<i>trat</i>	0,3102 ns	0,6403 ns	0,3693 ns	0,8937 ns

<i>amb*trat</i>	0,0661 ns	0,5589 ns	0,8877 ns	0,1297 ns
<i>TA</i>	0,9798 ns			
<i>TA x Fecha</i>	<0,0001 xx			
<i>Fósforo extraíble (Pe) mg.kg⁻¹</i>				
	may-12	nov-12	ene-13	mar-13
<i>Efecto</i>	Pr > F			
<i>amb</i>	<0,0001 xx	0,1024 ns	0,1867 ns	0,0950 ns
<i>trat</i>	0,8262 ns	0,1406 ns	0,3597 ns	0,6371 ns
<i>amb*trat</i>	0,4219 ns	0,1389 ns	0,3347 ns	0,1363 ns
<i>TA</i>	0,0134 x			
<i>TA x Fecha</i>	0,3080 ns			
<i>Azufre de Sulfatos (S-SO4) mg.kg⁻¹</i>				
<i>Fecha</i>	may-12	nov-12	ene-13	mar-13
<i>Efecto</i>	Pr > F			
<i>amb</i>	<0,0001 xx	0,7992 ns	0,5754 ns	0,2475 ns
<i>trat</i>	0,4055 ns	0,3093 ns	0,0828 ns	0,1999 ns
<i>amb*trat</i>	0,5552 ns	0,3633 ns	0,1749 ns	0,9922 ns
<i>TA</i>	0,1186 ns			
<i>TA x Fecha</i>	<0,0001 xx			
<i>pH</i>				
<i>Fecha</i>	may-12	nov-12	ene-13	mar-13
<i>Efecto</i>	Pr > F			
<i>amb</i>	0,0013 xx	0,1111 ns	0,0088 xx	0,0554 ns
<i>trat</i>	0,2874 ns	0,7084 ns	0,6072 ns	0,1649 ns
<i>amb*trat</i>	0,5396 ns	0,3984 ns	0,7603 ns	0,5330 ns
<i>TA</i>	<0,0001 xx			
<i>TA x Fecha</i>	<0,0001 xx			

Tabla 23. Niveles de probabilidad de los test F, de los análisis de variancia de las variables químicas de suelo, en el espesor 20 a 40 centímetros.

<i>Profundidad 20 a 40 cm</i>				
<i>Carbono Orgánico Total (COT) en g.kg⁻¹</i>				
	may-12	nov-12	ene-13	mar-13
<i>Efecto</i>	Pr > F			
<i>amb</i>	<0,0001 xx	0,2605 ns	0,8450 ns	0,3731 ns
<i>trat</i>	0,0727 ns	0,7540 ns	0,3481 ns	0,9913 ns
<i>amb*trat</i>	0,0779 ns	0,7405 ns	0,1381 ns	0,2942 ns
<i>TA</i>	0,1746 ns			
<i>TA x Fecha</i>	0,0014 xx			
<i>Nitrógeno total (Nt) en g.kg⁻¹</i>				
	may-12	nov-12	ene-13	mar-13
<i>Efecto</i>	Pr > F			
<i>amb</i>	0,0003 xx	0,1253 ns	0,7396 ns	0,5580 ns
<i>trat</i>	0,0865 ns	0,4055 ns	0,0054 xx	0,5023 ns
<i>amb*trat</i>	0,0787 ns	0,8240 ns	0,0024 xx	0,9177 ns
<i>TA</i>	0,0183 xx			
<i>TA x Fecha</i>	0,0395 x			
<i>Relación Carbono/Nitrógeno</i>				
	may-12	nov-12	ene-13	mar-13
<i>Efecto</i>	Pr > F			
<i>amb</i>	0,0020 xx	0,4620 ns	0,9202 ns	0,2176 ns
<i>trat</i>	0,0593 ns	0,8117 ns	0,9344 ns	0,5291 ns
<i>amb*trat</i>	0,0439 x	0,7008 ns	0,4967 ns	0,3263 ns
<i>TA</i>	0,3460 ns			
<i>TA x Fecha</i>	0,0001 xx			
<i>Fósforo extraíble (Pe) mg.kg⁻¹</i>				
	may-12	nov-12	ene-13	mar-13
<i>Efecto</i>	Pr > F			
<i>amb</i>	<0,0001 xx	0,1535 ns	0,1742 ns	0,1736 ns
<i>trat</i>	0,5992 ns	0,2727 ns	0,5504 ns	0,4771 ns
<i>amb*trat</i>	0,0870 ns	0,1933 ns	0,3488 ns	0,1634 ns
<i>TA</i>	0,0387 x			
<i>TA x Fecha</i>	0,4089 ns			
<i>Azufre de Sulfatos (S-SO4) mg.kg⁻¹</i>				
	may-12	nov-12	ene-13	mar-13
<i>Efecto</i>	Pr > F			
<i>amb</i>	0,0012 xx	0,9173 ns	0,5589 ns	0,0302 x
<i>trat</i>	0,5242 ns	0,4581 ns	0,4838 ns	0,3550 ns
<i>amb*trat</i>	0,8939 ns	0,7050 ns	0,9553 ns	0,8474 ns

<i>TA</i>	0,8623 ns			
<i>TA x Fecha</i>	<0,0001 xx			
<i>pH</i>				
<i>Fecha</i>	may-12	nov-12	ene-13	mar-13
<i>Efecto</i>	Pr > F			
<i>amb</i>	0,2548 ns	0,1831 ns	0,2527 ns	0,1451 ns
<i>trat</i>	0,7625 ns	0,0007 xx	0,4995 ns	0,3097 ns
<i>amb*trat</i>	0,1384 ns	0,0110 x	0,8044 ns	0,6094 ns
<i>TA</i>	0,0289 x			
<i>TA x Fecha</i>	0,0022 xx			

Tabla 24. Niveles de probabilidad de los test F, de los análisis de variancia de las variables físicas de suelo

<i>Textura</i>			
	<i>Arena</i>	<i>Limo</i>	<i>Arcilla</i>
<i>Efecto</i>	<i>Pr > F</i>		
<i>Profundidad 0 a 5 cm</i>			
<i>amb</i>	0,0355 x	0,0912 ns	0,1816 ns
<i>Profundidad 5 a 10 cm</i>			
<i>amb</i>	0,0465 x	0,5193 ns	0,9537 ns
<i>Profundidad 10 a 20 cm</i>			
<i>amb</i>	0,1025 ns	0,4351 ns	0,6369 ns
<i>Densidad aparente en g.cm-3</i>			
<i>Profundidad 0 a 6 cm</i>			
<i>Fecha</i>	may-12	nov-12	ene-13
<i>Efecto</i>	<i>Pr > F</i>		
<i>amb</i>	0,3155 ns	0,3929 ns	0,4350 ns
<i>trat</i>	0,1942 ns	0,0363 x	0,4194 ns
<i>amb*trat</i>	0,2378 ns	0,2901 ns	0,5532 ns
<i>TA</i>	0,2244 ns		
<i>TA x Fecha</i>	0,5795 ns		
<i>Profundidad 6 a 12 cm</i>			
<i>Fecha</i>	may-12	nov-12	ene-13
<i>Efecto</i>	<i>Pr > F</i>		
<i>amb</i>	0,0772 ns	0,0787 ns	0,1974 ns
<i>trat</i>	0,7327 ns	0,5559 ns	0,2666 ns
<i>amb*trat</i>	0,2387 ns	0,1218 ns	0,0553 ns
<i>TA</i>	0,0663 ns		
<i>TA x Fecha</i>	0,0536 ns		
<i>Profundidad 12 a 18 cm</i>			
<i>Fecha</i>	may-12	nov-12	ene-13
<i>Efecto</i>	<i>Pr > F</i>		
<i>amb</i>	0,1936 ns	0,0287 x	0,0500 x
<i>trat</i>	0,7235 ns	0,8059 ns	0,9016 ns
<i>amb*trat</i>	0,4339 ns	0,3256 ns	0,6776 ns
<i>TA</i>	0,1405 ns		
<i>TA x Fecha</i>	0,0406 ns		
<i>Profundidad 18 a 24 cm</i>			
<i>Fecha</i>	may-12	nov-12	ene-13
<i>Efecto</i>	<i>Pr > F</i>		
<i>amb</i>	0,0128 x	0,0118 x	0,0193 x
<i>trat</i>	0,3717 ns	0,5608 ns	0,4904 ns
<i>amb*trat</i>	0,7990 ns	0,5508 ns	0,5950 ns
<i>TA</i>	0,0682 ns		
<i>TA x Fecha</i>	0,2360 ns		

<i>Profundidad 24 a 30 cm</i>			
<i>Fecha</i>	may-12	nov-12	ene-13
<i>Efecto</i>	Pr > F		
<i>amb</i>	0,9508 ns	0,9273 ns	0,9908 ns
<i>trat</i>	0,5080 ns	0,5558 ns	0,5727 ns
<i>amb*trat</i>	0,2091 ns	0,2003 ns	0,0838 ns
<i>TA</i>	0,5376 ns		
<i>TA x Fecha</i>	0,7384 ns		
<i>Profundidad 30 a 36 cm</i>			
<i>Fecha</i>	may-12	nov-12	ene-13
<i>Efecto</i>	Pr > F		
<i>amb</i>	0,3106 ns	0,1984 ns	0,2986 ns
<i>trat</i>	0,7860 ns	0,8912 ns	0,8832 ns
<i>amb*trat</i>	0,5107 ns	0,7791 ns	0,8148 ns
<i>TA</i>	0,6605 ns		
<i>TA x Fecha</i>	0,8617 ns		
<i>Profundidad 36 a 42 cm</i>			
<i>Fecha</i>	may-12	nov-12	ene-13
<i>Efecto</i>	Pr > F		
<i>amb</i>	0,2453 ns	0,3066 ns	0,4710 ns
<i>trat</i>	0,1629 ns	0,1746 ns	0,1859 ns
<i>amb*trat</i>	0,9763 ns	1,0000 ns	0,9818 ns
<i>TA</i>	0,3479 ns		
<i>TA x Fecha</i>	0,8011 ns		
<i>Profundidad 42 a 48 cm</i>			
<i>Fecha</i>	may-12	nov-12	ene-13
<i>Efecto</i>	Pr > F		
<i>amb</i>	0,4556 ns	0,3884 ns	0,2990 ns
<i>trat</i>	0,1255 ns	0,1945 ns	0,2792 ns
<i>amb*trat</i>	0,9026 ns	0,7099 ns	0,6673 ns
<i>TA</i>	0,4219 ns		
<i>TA x Fecha</i>	0,7636 ns		
<i>Índice de Estabilidad de Agregados</i>			
<i>Profundidad 0 a 10 cm</i>			
<i>Fecha</i>	may-12	nov-12	ene-13
<i>Efecto</i>	Pr > F		
<i>amb</i>	0,0049 xx	0,0231 x	0,1032 ns
<i>trat</i>	0,0015 xx	<0,0001 xx	<0,0001 xx
<i>amb*trat</i>	0,0049 xx	0,3584 ns	0,0192 x
<i>TA</i>	<0,0001 xx		
<i>TA x Fecha</i>	<0,0001 xx		

Tabla 25. Niveles de probabilidad de los test F, de los análisis de variancia de la producción de materia seca y contenido de carbono en cultivos de cobertura y soja, del balance de agua útil disponible en cinco momentos y del costo hídrico, uso consuntivo y eficiencia de uso del agua de los cultivos de cobertura

<i>MS de CC (Mg.ha⁻¹)</i>		<i>C de CC (Mg.ha⁻¹)</i>			
<i>Efecto</i>	<i>Pr > F</i>				
<i>amb</i>	0,1513 ns		0,1765 ns		
<i>MS de soja en tallos y hojas (Mg.ha⁻¹)</i>		<i>C de soja en tallos y hojas (Mg.ha⁻¹)</i>			
<i>Efecto</i>	<i>Pr > F</i>				
<i>amb</i>	0,3621 ns		0,3741 ns		
<i>trat</i>	0,0020 xx		0,0013 xx		
<i>amb*trat</i>	0,5078 ns		0,4565 ns		
<i>MS de soja en vainas y granos (Mg.ha⁻¹)</i>		<i>C de soja en vainas y granos (Mg.ha⁻¹)</i>			
<i>Efecto</i>	<i>Pr > F</i>				
<i>amb</i>	0,3157 ns		0,2152 ns		
<i>trat</i>	0,0002 xx		0,0002 xx		
<i>amb*trat</i>	0,1708 ns		0,2926 ns		
<i>AUD (mm)</i>					
	<i>Siembra CC</i>	<i>Secado CC</i>	<i>Siembra soja</i>	<i>R1 soja</i>	<i>R5 soja</i>
<i>Efecto</i>	<i>Pr > F</i>				
<i>amb</i>	0,0104 xx	0,0148 x	0,0384 x	0,0455 x	0,1015 ns
<i>trat</i>	0,3970 ns	0,0024 xx	0,2324 ns	0,1672 ns	0,1363 ns
<i>amb*trat</i>	0,2823 ns	0,1838 ns	0,3247 ns	0,9232 ns	0,9687 ns
<i>TA</i>	0,0001 xx				
<i>TA x Fecha</i>	<0,0001 xx				
<i>Costo Hídrico y Uso Consuntivo y Eficiencia de Uso del Agua</i>					
	<i>CH (mm)</i>		<i>UC (mm)</i>		<i>EUA (kg.mm⁻¹)</i>
<i>Efecto</i>	<i>Pr > F</i>				
<i>amb</i>	0,2230 ns		0,1967 ns		0,5144 ns
<i>trat</i>			0,0372 x		
<i>amb*trat</i>			0,8613 ns		

Tabla 26. Niveles de probabilidad de los test F, de los análisis de variancia de: cobertura superficial, rugosidad superficial, tiempo inicio escurrimiento, pérdida total de agua, concentración, tasa de enriquecimiento y pérdida total de materia orgánica, carbono orgánico y nutrientes en sedimentos erosionados

<i>Cobertura superficial (%)</i>		
<i>Fecha</i>	may-12	dic-12
<i>Efecto</i>	Pr > F	
<i>amb</i>	0,0800 ns	0,0317 x
<i>trat</i>	0,4948 ns	<0,0001 xx
<i>amb*trat</i>	0,9812 ns	0,0010 xx
<i>TA</i>	<0,0001 xx	
<i>TA x Fecha</i>	<0,0001 xx	
<i>Rugosidad superficial (mm)</i>		
<i>Fecha</i>	may-12	dic-12
<i>Efecto</i>	Pr > F	
<i>amb</i>	0,3580 ns	0,5194 ns
<i>trat</i>	0,3356 ns	<0,0001 xx
<i>amb*trat</i>	0,3579 ns	<0,0001 xx
<i>TA</i>	<0,0001 xx	
<i>TA x Fecha</i>	<0,0001 xx	
Agua útil antecedente a 0-20 cm de profundidad (mm)		
<i>Efecto</i>	Pr > F	
<i>amb</i>	0,5443 ns	
<i>trat</i>	0,0013 xx	
<i>amb*trat</i>	0,2186 ns	
Tiempo de Inicio (Ti) del escurrimiento superficial (min)		
<i>Efecto</i>	Pr > F	
<i>amb</i>	0,6299 ns	
<i>trat</i>	<0,0001 xx	
<i>amb*trat</i>	0,0007 xx	
Pérdida total de agua por escurrimiento superficial (%)		
<i>Efecto</i>	Pr > F	
<i>amb</i>	0,0014 xx	
<i>trat</i>	<0,0001 xx	
<i>amb*trat</i>	0,1358 ns	
Infiltración acumulada (mm)		
<i>Tiempo 0 a 5 min</i>		
Todos los valores son iguales		
<i>Tiempo 5 a 10 min</i>		
<i>Efecto</i>	Pr > F	
<i>amb</i>	0,08 ns	
<i>trat</i>	0,0944 ns	

<i>amb*trat</i>	0,08 ns
<i>Tiempo 10 a 15 min</i>	
<i>Efecto</i>	Pr > F
<i>amb</i>	0,0769 ns
<i>trat</i>	0,0526 ns
<i>amb*trat</i>	0,0485 x
<i>Tiempo 15 a 20 min</i>	
<i>Efecto</i>	Pr > F
<i>amb</i>	0,0396 x
<i>trat</i>	0,0078 xx
<i>amb*trat</i>	0,0396 x
<i>Tiempo 20 a 25 min</i>	
<i>Efecto</i>	Pr > F
<i>amb</i>	0,1255 ns
<i>trat</i>	0,0020 xx
<i>amb*trat</i>	0,0675 ns
<i>Tiempo 25 a 30 min</i>	
<i>Efecto</i>	Pr > F
<i>amb</i>	0,2151 ns
<i>trat</i>	0,0004 xx
<i>amb*trat</i>	0,0441 x
<i>Tiempo 30 a 35 min</i>	
<i>Efecto</i>	Pr > F
<i>amb</i>	0,1497 ns
<i>trat</i>	0,0016 xx
<i>amb*trat</i>	0,0091 xx
<i>Tiempo 35 a 40 min</i>	
<i>Efecto</i>	Pr > F
<i>amb</i>	0,0873 ns
<i>trat</i>	<0,0001 xx
<i>amb*trat</i>	0,0088 xx
<i>Tiempo 40 a 45 min</i>	
<i>Efecto</i>	Pr > F
<i>amb</i>	0,0444 x
<i>trat</i>	<0,0001 xx
<i>amb*trat</i>	0,0123 x
<i>Tiempo 45 a 50 min</i>	
<i>Efecto</i>	Pr > F
<i>amb</i>	0,0153 x
<i>trat</i>	<0,0001 xx
<i>amb*trat</i>	0,0255 x
<i>Tiempo 50 a 55 min</i>	

<i>Efecto</i>	Pr > F			
<i>amb</i>	0,0082 xx			
<i>trat</i>	<0,0001 xx			
<i>amb*trat</i>	0,0649 ns			
<i>Tiempo 55 a 60 min</i>				
<i>Efecto</i>	Pr > F			
<i>amb</i>	0,0033 xx			
<i>trat</i>	<0,0001 xx			
<i>amb*trat</i>	0,1264 ns			
Coeficiente de escurrimiento (%)				
<i>Efecto</i>	Pr > F			
<i>amb</i>	0,0160 x			
<i>trat</i>	<0,0001 xx			
<i>amb*trat</i>	0,0503 x			
Pérdida total de suelo (kg.ha ⁻¹)				
<i>Efecto</i>	Pr > F			
<i>amb</i>	0,0006 xx			
<i>trat</i>	<0,0001 xx			
<i>amb*trat</i>	<0,0001 ns			
Concentración de MO, CO y nutrientes en sedimentos erosionados				
	MO (g.kg ⁻¹)	CO (g.kg ⁻¹)	Nt (g.kg ⁻¹)	Pe (mg.kg ⁻¹)
<i>Efecto</i>	Pr > F			
<i>amb</i>	0,8148 ns	0,0177 x	0,5854 ns	0,6560 ns
<i>trat</i>	0,0840 ns	0,0377 x	0,3861 ns	<0,0001 xx
<i>amb*trat</i>	0,4474 ns	0,3975 ns	0,7036 ns	0,0067 xx
Tasa de enriquecimiento de MO, CO y nutrientes en sedimentos erosionados				
	MO	CO	Nt	Pe
<i>Efecto</i>	Pr > F			
<i>amb</i>	0,9179 ns	0,0155 x	0,3896 ns	0,0283 x
<i>trat</i>	0,4312 ns	0,3526 ns	0,7799 ns	0,0112 x
<i>amb*trat</i>	0,6338 ns	0,6235 ns	0,5460 ns	0,1029 ns
Cantidades de MO, CO y nutrientes perdidos durante el test de erosión.				
	MO (kg.ha ⁻¹)	CO (kg.ha ⁻¹)	Nt (kg.ha ⁻¹)	Pe (g.ha ⁻¹)
<i>Efecto</i>	Pr > F			
<i>amb</i>	0,0590 ns	0,0136 x	0,0010 xx	0,0030 xx
<i>trat</i>	0,0023 xx	0,0025 xx	0,0004 xx	0,0008 xx
<i>amb*trat</i>	0,0198 x	0,0153 x	0,0031 xx	0,0026 xx

Tabla 27. Niveles de probabilidad de los test F, de los análisis de variancia del rendimiento de soja

<i>Rendimiento de soja (kg.ha-1)</i>	
<i>Efecto</i>	<i>Pr > F</i>
<i>amb</i>	0,0344 x
<i>trat</i>	0,0003 xx
<i>amb*trat</i>	0,0124 x
<i>PMS (g)</i>	
<i>Efecto</i>	<i>Pr > F</i>
<i>amb</i>	0,0017 xx
<i>trat</i>	0,0032 xx
<i>amb*trat</i>	0,0952 ns
<i>Número de granos (granos.m⁻²)</i>	
<i>Efecto</i>	<i>Pr > F</i>
<i>amb</i>	0,0808 ns
<i>trat</i>	0,0026 xx
<i>amb*trat</i>	0,0079 xx

Tabla 28. Densidad aparente a: 0-6, 6-12, 12-18, 18-24, 24-30, 30-36, 36-42 y 42-48 centímetros, en siembra de los cultivos de cobertura y siembra y floración de soja

Ambiente	Tratamiento	0-6 cm	6-12 cm	12-18 cm	18-24 cm	24-30 cm	30-36 cm	36-42 cm	42-48 cm
Siembra de CC									
Loma	SCC	1,21aA	1,30abA	1,40abA	1,31abA	1,29aA	1,29aA	1,27abA	1,37aA
	CCC	1,17aA	1,34aA	1,45aAB	1,28bA	1,29aA	1,34aA	1,17bA	1,27aA
Media Loma	SCC	1,22aA	1,36aA	1,41abAB	1,43aA	1,37aA	1,31aA	1,34abA	1,31aA
	CCC	1,24aA	1,35aA	1,39abAB	1,43aA	1,23aA	1,27aA	1,26abA	1,25aA
Bajo	SCC	1,12aA	1,25abA	1,34abAB	1,41aAB	1,25aA	1,34aA	1,40aA	1,38aA
	CCC	1,04aA	1,20bA	1,27bA	1,36abAB	1,31aA	1,36aA	1,31abA	1,32aA
Media Tratamientos	SCC	1,18 a	1,30 a	1,38 a	1,37 a	1,29 a	1,32 a	1,33 a	1,34 a
	CCC	1,15 a	1,30 a	1,37 a	1,35 a	1,27 a	1,32 a	1,24 a	1,29 a
Media Ambientes	Loma	1,19 a	1,32 ab	1,42 a	1,29 b	1,28 a	1,32 a	1,23 a	1,31 a
	Media Loma	1,23 a	1,35 a	1,40 a	1,43 a	1,28 a	1,29 a	1,29 a	1,28 a
	Bajo	1,08 a	1,23 b	1,31 a	1,37 ab	1,27 a	1,36 a	1,34 a	1,36 a
Siembra de Soja									
Loma	SCC	1,22abA	1,32abA	1,41abA	1,32bcA	1,29aA	1,32aA	1,27aA	1,37aA
	CCC	1,19abA	1,37aA	1,47aA	1,29cA	1,30aA	1,34aA	1,18bA	1,27aA
Media Loma	SCC	1,24abA	1,39aA	1,42aA	1,42abA	1,36aA	1,29aA	1,36aA	1,30aA
	CCC	1,20abA	1,36aA	1,39abA	1,45aA	1,19aB	1,27aA	1,27aA	1,27aA
Bajo	SCC	1,13aA	1,27abA	1,34abA	1,42abA	1,25aA	1,34aA	1,39aA	1,37aA
	CCC	1,01bA	1,20bA	1,28bA	1,37abcA	1,32Aa	1,36aA	1,30aA	1,34aA
Medias Tratamientos	SCC	1,19 a	1,32 a	1,39 a	1,38 a	1,30 a	1,31 a	1,34 a	1,35 a
	CCC	1,13 b	1,31 a	1,38 a	1,36 a	1,28 a	1,32 a	1,25 a	1,28 a
Medias Ambientes	Loma	1,20 a	1,34 ab	1,44 a	1,30 b	1,29 a	1,32 a	1,21 a	1,32 a
	Media Loma	1,22 a	1,38 a	1,41 a	1,43 a	1,30 a	1,29 a	1,30 a	1,28 a
	Bajo	1,07 a	1,23 b	1,31 b	1,39 a	1,28 a	1,36 a	1,36 a	1,35 a
Floración de Soja									
Loma	SCC	1,19aA	1,31abcA	1,40abA	1,31bcA	1,27abA	1,30aA	1,28aA	1,36aA
	CCC	1,17aA	1,36abA	1,44aB	1,27cA	1,29abA	1,34aA	1,17aA	1,26aA
Media Loma	SCC	1,23aA	1,34aA	1,39abB	1,41abA	1,36aAB	1,30aA	1,33aA	1,28aA
	CCC	1,25aA	1,30bcB	1,37abB	1,44aA	1,21bAB	1,27aA	1,25aA	1,27aA
Bajo	SCC	1,19aA	1,25abcA	1,32abB	1,39abcB	1,24abA	1,35aA	1,39aA	1,37aA
	CCC	1,11aA	1,21cA	1,29bA	1,34abcB	1,20abA	1,36aA	1,29aA	1,34aA
Medias Tratamientos	SCC	1,20 a	1,31 a	1,37 a	1,39 a	1,30 a	1,32 a	1,34 a	1,35 a
	CCC	1,18 a	1,29 a	1,37 a	1,37 a	1,27 a	1,32 a	1,25 a	1,29 a
Medias Ambientes	Loma	1,18 a	1,34 a	1,42 a	1,30 b	1,30 a	1,33 a	1,22 a	1,32 a
	Media Loma	1,24 a	1,34 a	1,38 ab	1,43 a	1,27 a	1,28 a	1,31 a	1,29 a
	Bajo	1,15 a	1,23 a	1,30 b	1,39 a	1,29 a	1,35 a	1,35 a	1,36 a

Ref: Dap: Densidad aparente; SCC: Sin Cultivos de Cobertura; CCC: Con Cultivos de Cobertura. Diferentes letras minúsculas en sentido vertical, indican diferencias significativas para cada momento de muestreo, distintas letras mayúsculas en sentido vertical indican diferencias significativas entre fechas (test F p<0,05).

Evolución de propiedades químicas a distintas profundidades

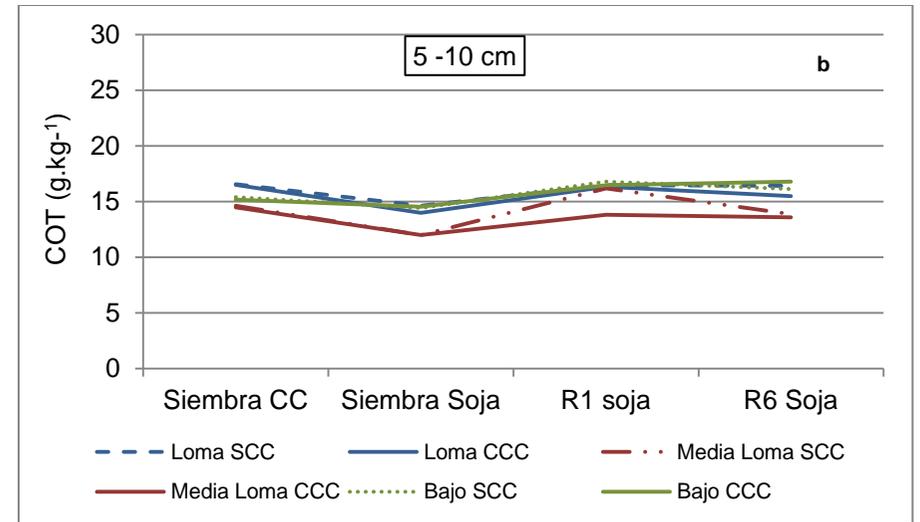
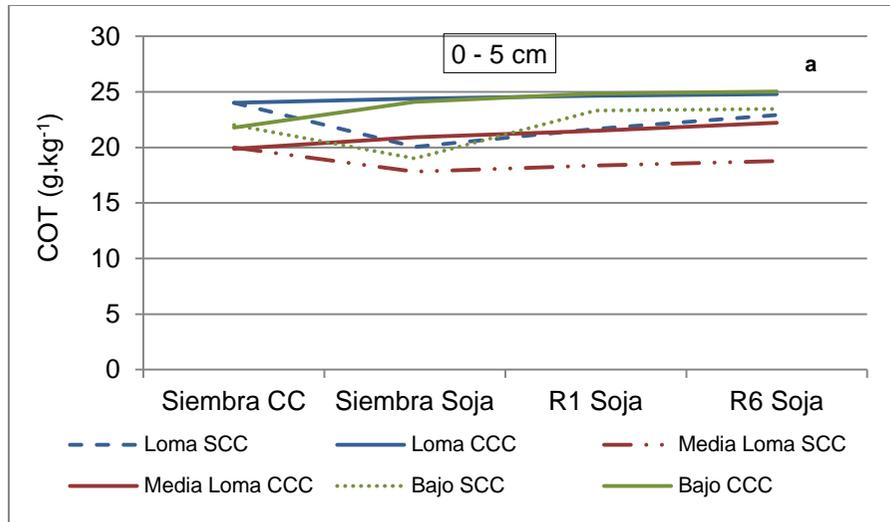
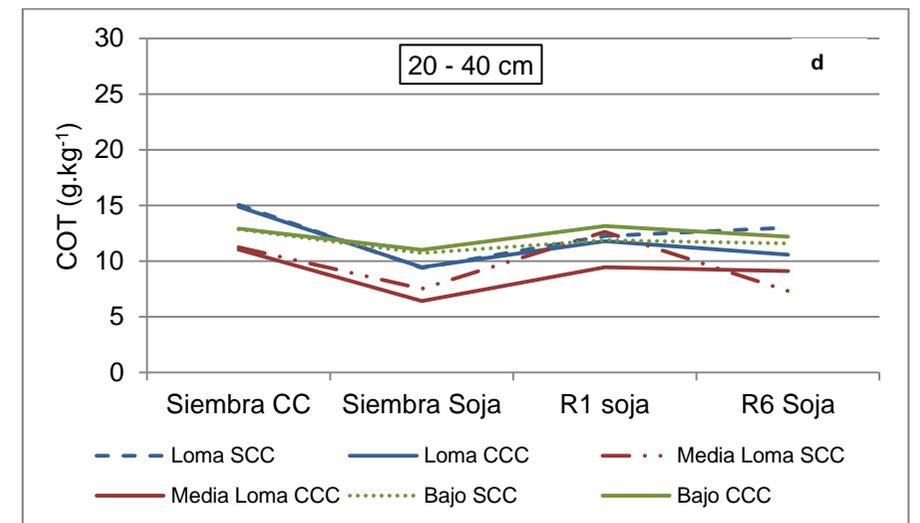
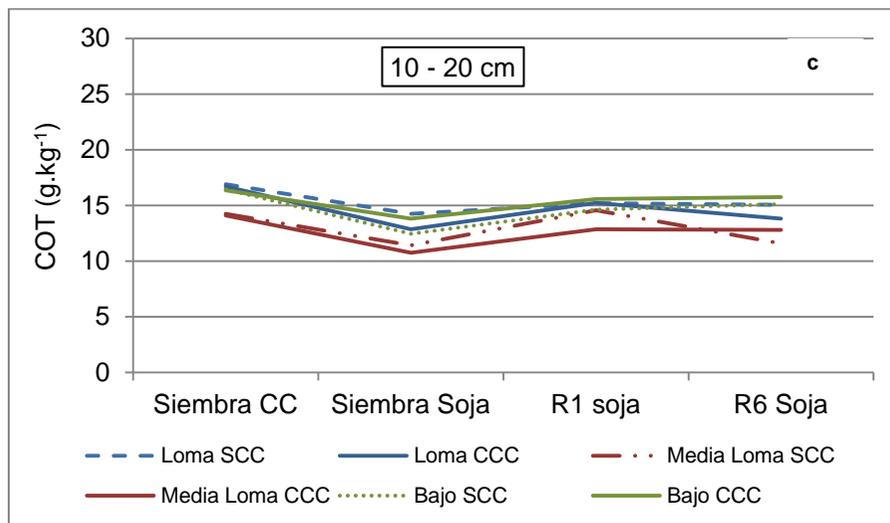


Figura 23: Evolución de la concentración del carbono orgánico total en gramos por kilo a distintas profundidades, Subfigura a: 0-5 cm, Subfigura b: 5 – 10 cm, Subfigura c: 10 – 20 cm., Subfigura d: 20 – 40 cm



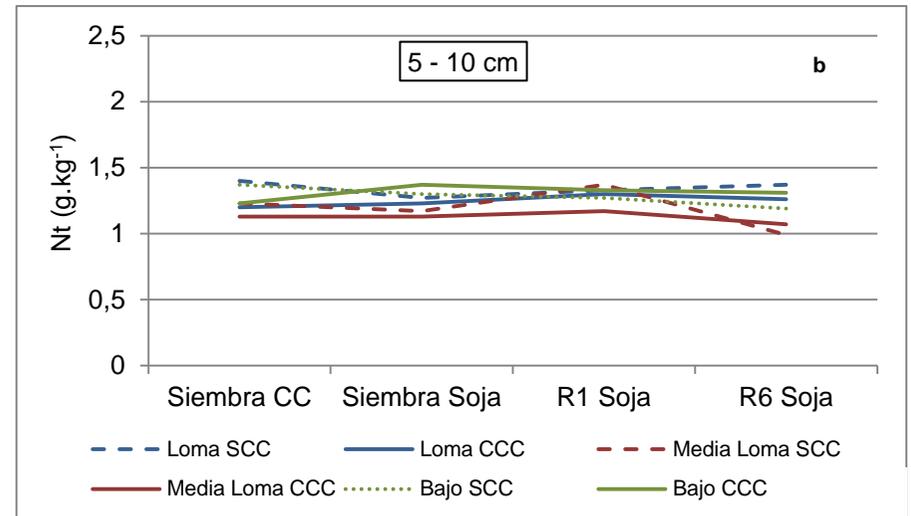
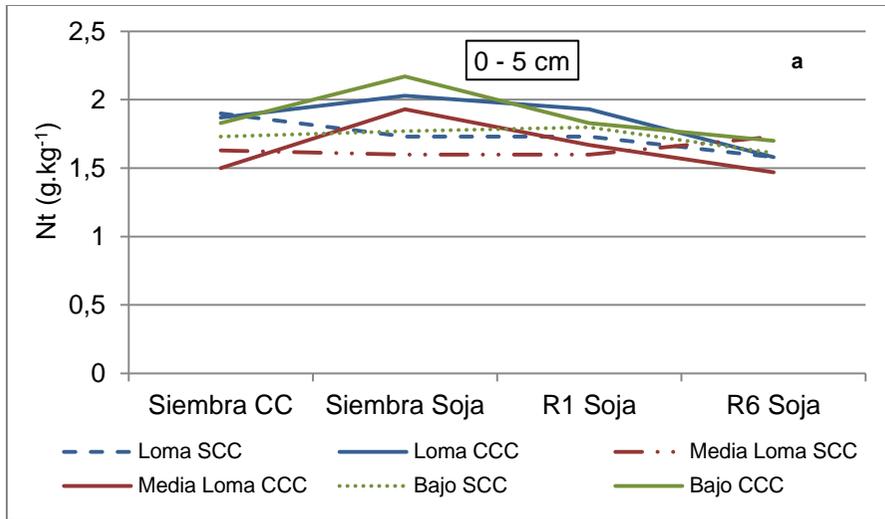
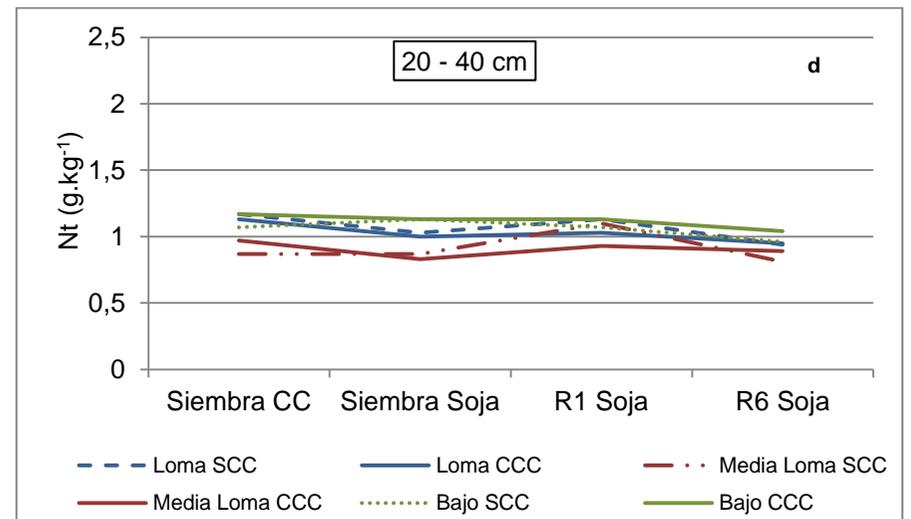
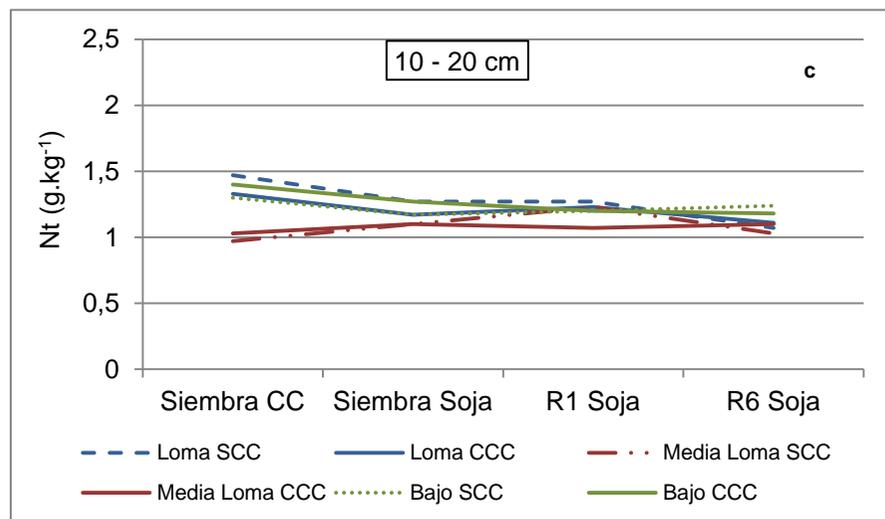


Figura 24: Evolución de la concentración del nitrógeno total en gramos por kilo a distintas profundidades, Subfigura a: 0-5 cm, Subfigura b: 5 – 10 cm, Subfigura c: 10 – 20 cm., Subfigura d: 20 – 40 cm



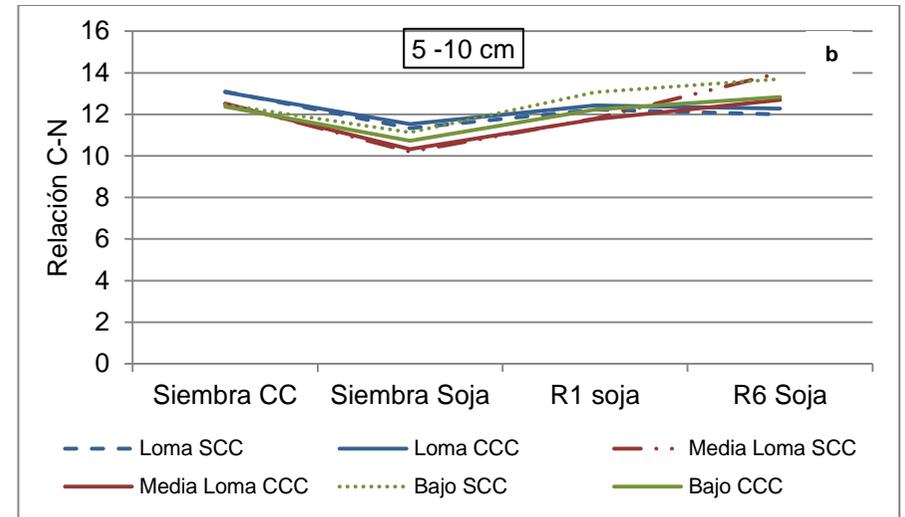
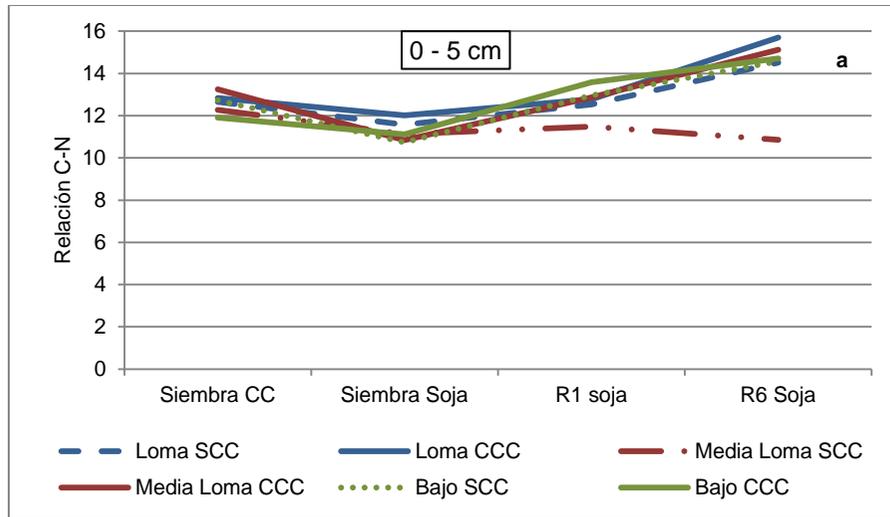
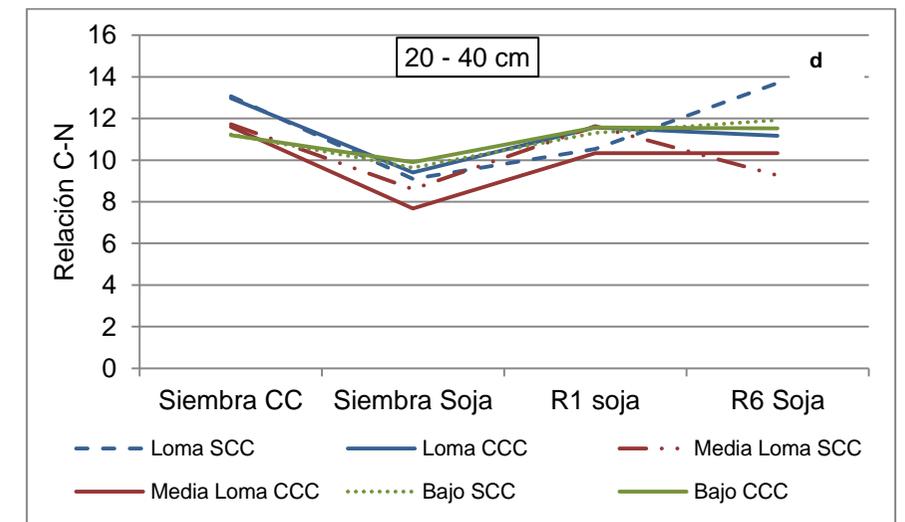
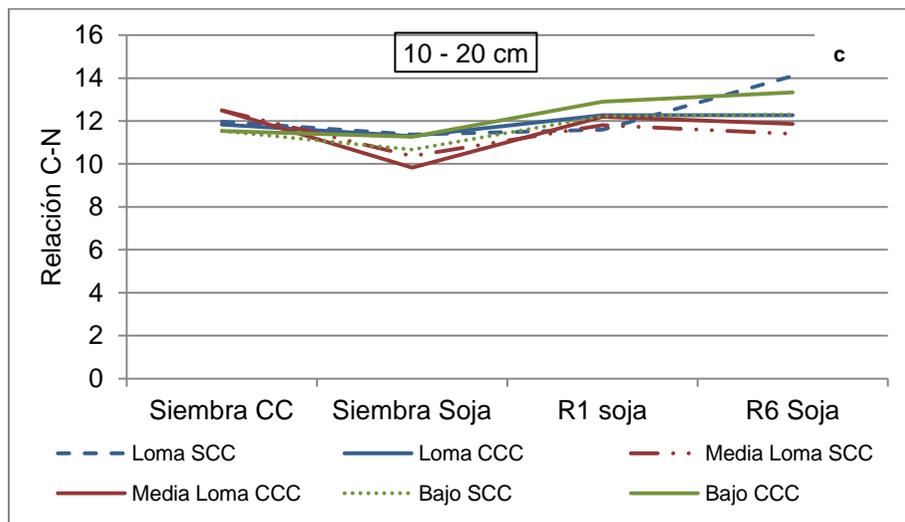


Figura 25: Evolución de la relación carbono/nitrógeno a distintas profundidades, Subfigura a: 0-5 cm, Subfigura b: 5 – 10 cm, Subfigura c: 10 – 20 cm., Subfigura d: 20 – 40 cm



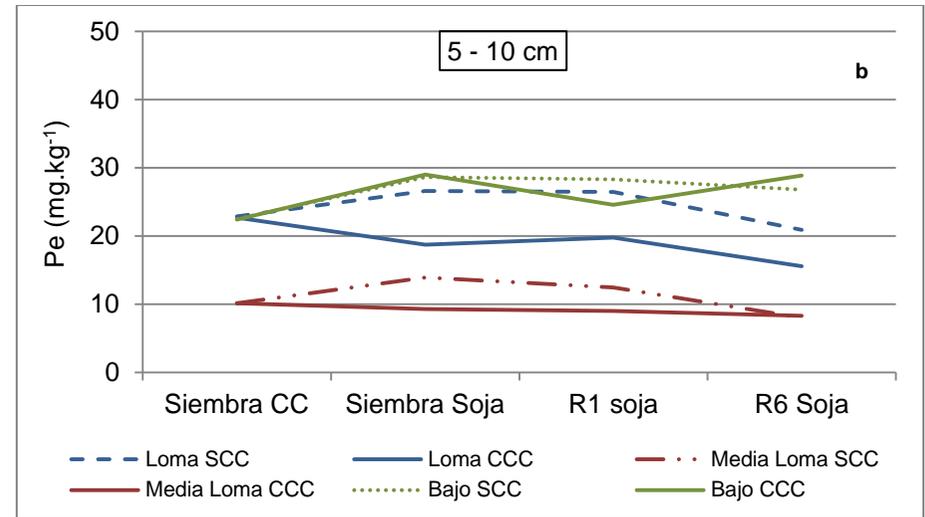
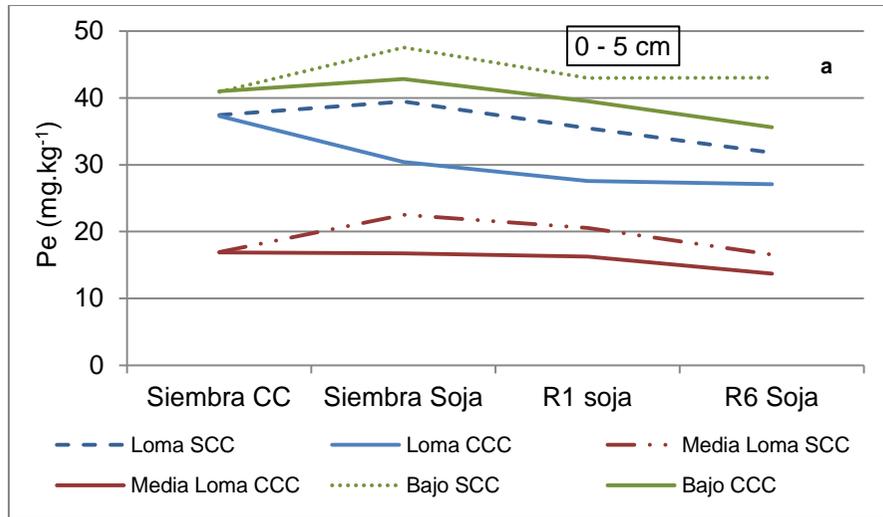
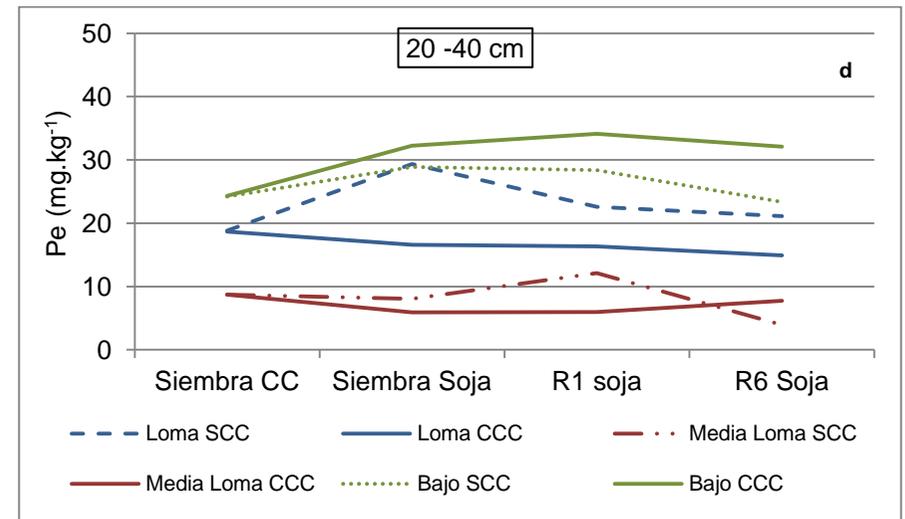
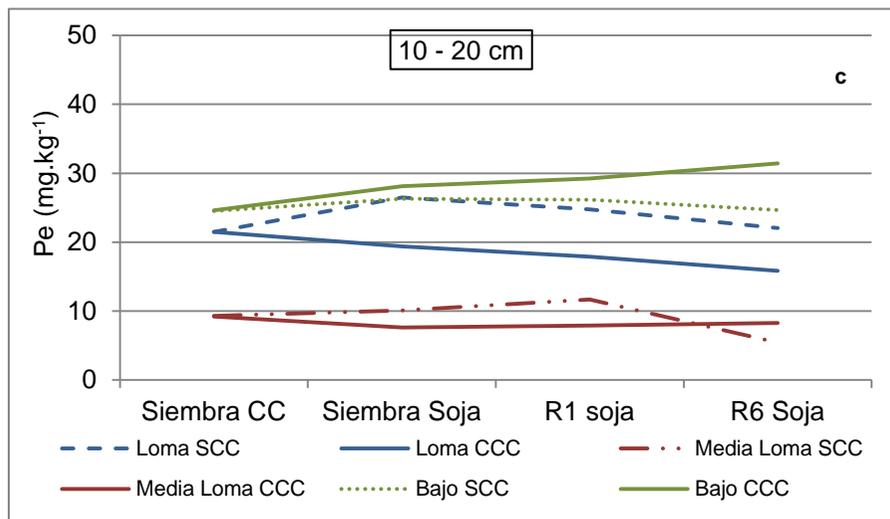


Figura 26: Evolución de la concentración del fósforo extractable en miligramos por kilo a distintas profundidades, Subfigura a: 0-5 cm, Subfigura b: 5 – 10 cm, Subfigura c: 10 – 20 cm., Subfigura d: 20 – 40 cm



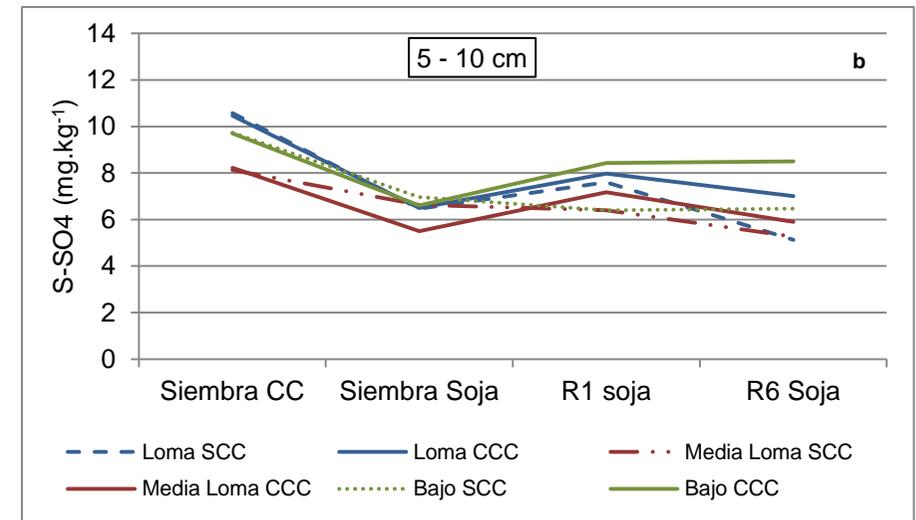
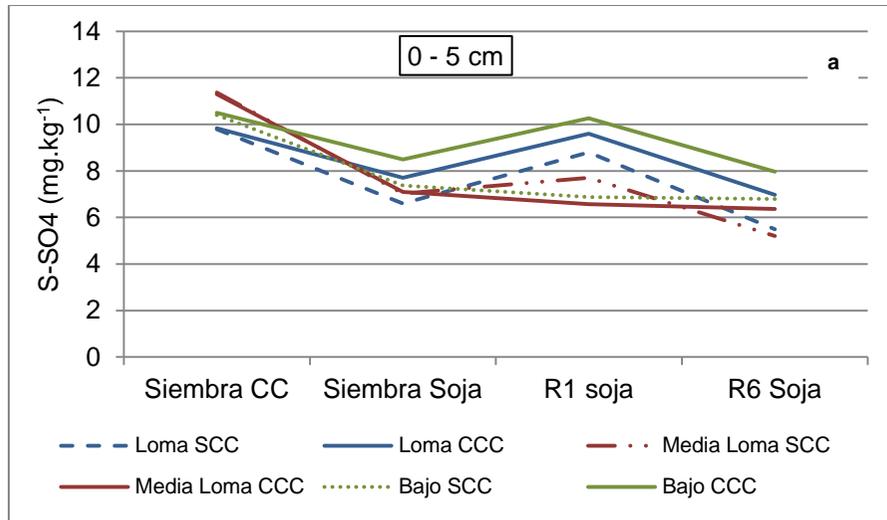
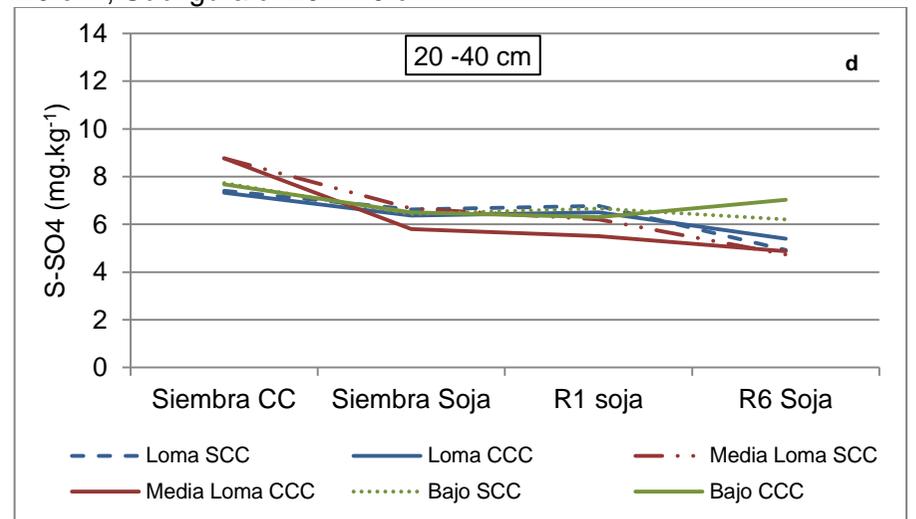
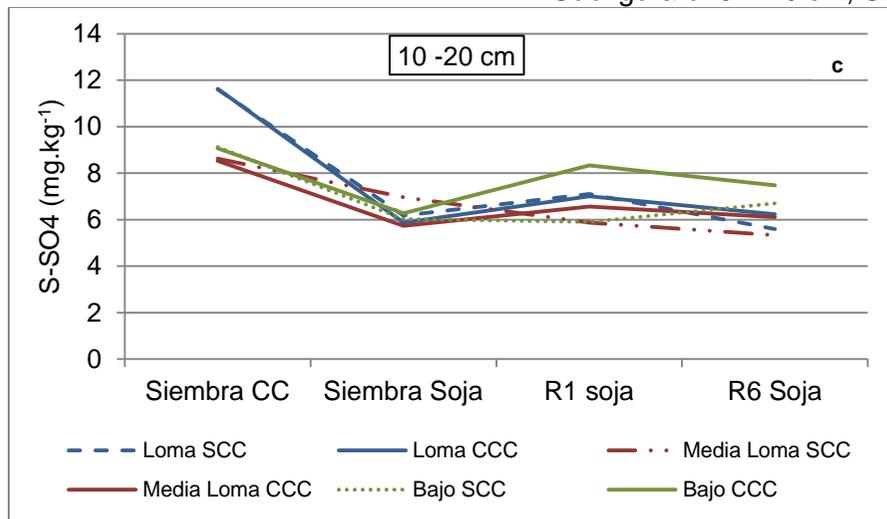


Figura 27: Evolución de la concentración del azufre de sulfatos en miligramos por kilo a distintas profundidades, Subfigura a: 0-5 cm, Subfigura b: 5 – 10 cm, Subfigura c: 10 – 20 cm., Subfigura d: 20 – 40 cm



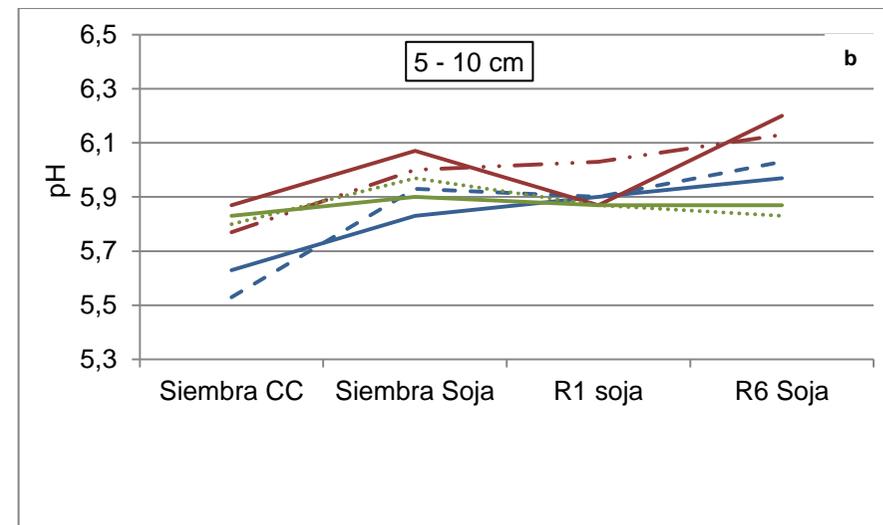
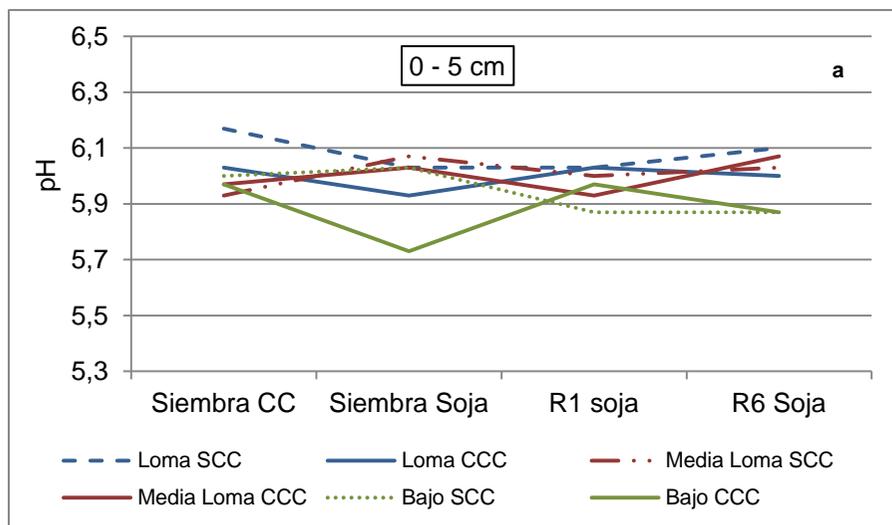
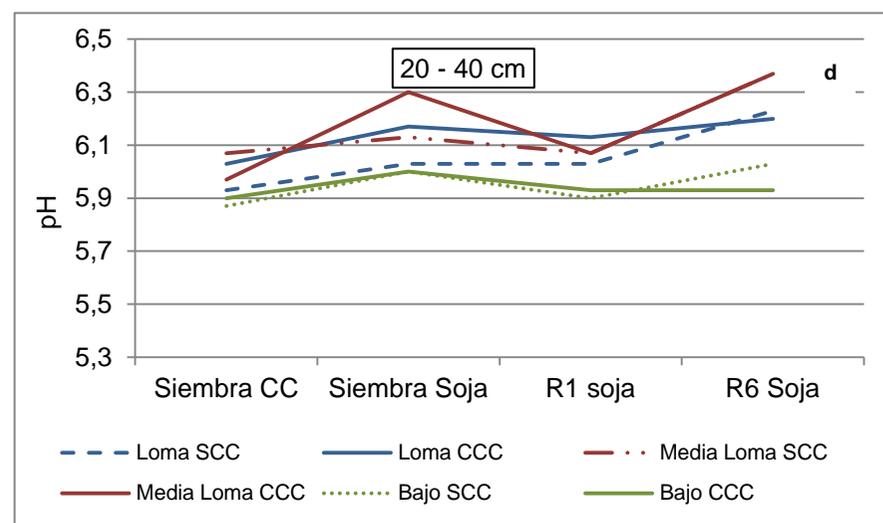
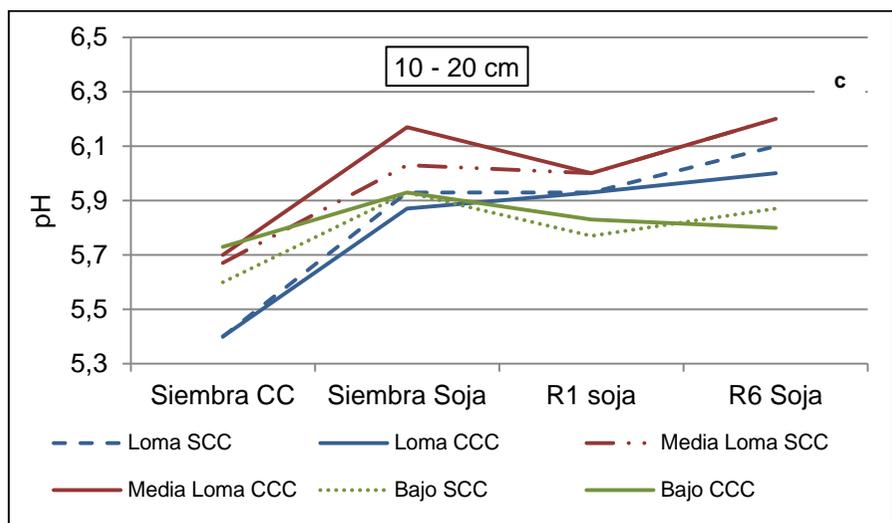


Figura 28: Evolución del pH a distintas profundidades, Subfigura a: 0-5 cm, Subfigura b: 5 – 10 cm, Subfigura c: 10 – 20 cm., Subfigura d: 20 – 40 cm



ANEXO II

Fotos de trabajo de campo



Foto 1. Mezcla de las semillas de *Avena sativa* y *Vicia sativa*



Foto 2. Siembra de las parcelas CCC



Foto 3. Aspecto de las parcelas sembradas CCC



Foto 4. Colocación de tubos hasta 2 metros de profundidad para la medición del AUD



Foto 5. Plantas de CC en estado de emergencia a 9 días después de la siembra



Foto 6. Aspecto de las parcelas CCC y SCC a los 90 días después de la siembra



Foto 7. Plantas de *Vicia sativa* y *Avena sativa* a 110 días después de la siembra



Foto 8. Plantas de *Vicia sativa* y *Avena sativa* a 120 días después de la siembra



Foto 9. Punto de medición de AUD en parcela CCC



Foto 10. . Punto de medición de AUD en parcela SCC



Foto 11. Plantas de CC a 155 días después de la siembra. Momento de secado químico



Foto 12. Equipo autopropulsado utilizado para el secado químico de los CC con Glifosato y 2,4 D



Foto 13. Soja en estado vegetativo a 25 días después de la siembra, en parcelas CCC



Foto 14. Soja en estado vegetativo a 25 días después de la siembra, en parcelas SCC



Foto 15. Rastrojo arrastrado por escurrimiento superficial en parcelas SCC



Foto 16. Formación de costra superficial en parcelas SCC

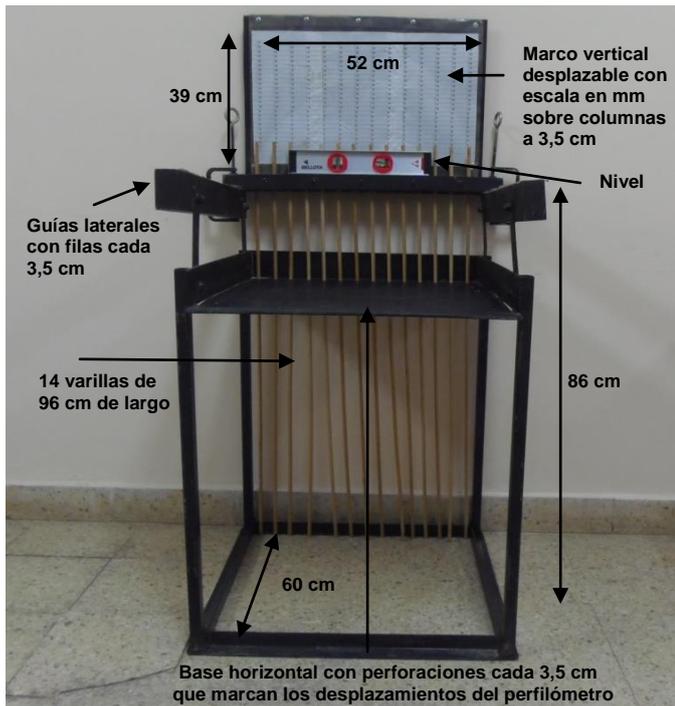


Foto 17. Perfilómetro de agujas utilizado para la medición de la Rugosidad superficial

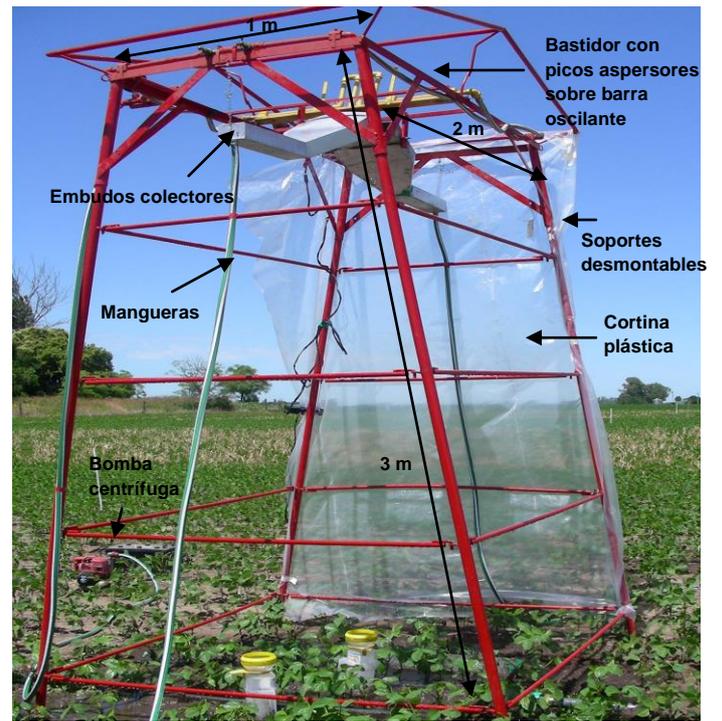


Foto 18. Simulador de lluvias de Intensidades múltiples



Foto 19. Detalle de bastidor, embudos y barra oscilante portapicos, con vaivén generado por un motor eléctrico



Foto 20. Detalle de embudo colector y manómetro que controló la presión de trabajo



Foto 21. Preparación de micro-parcelas SCC para la aplicación de las lluvias simuladas



Foto 22. Preparación de micro-parcelas CCC para la aplicación de las lluvias simuladas



Foto 23. Bandeja aforadora y caño colector de escurrimientos. Baldes colectores a nivel del suelo



Foto 24. Serie de 13 baldes colectores de escurrimientos para cada lluvia simulada



Foto 25. Esguerrimiento superficial coleccionado en parcela SCC



Foto 26. Esguerrimiento superficial coleccionado en parcela CCC