



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

Tesis Magíster en Ciencias Agrarias

**CULTIVOS DE COBERTURA EN MOLISOLES DE LA REGIÓN PAMPEANA.
PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA, EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA Y
DEL NITRÓGENO E INCIDENCIA SOBRE EL CULTIVO DE SOJA.**

CARLOS MARÍA SCIANCA

BAHÍA BLANCA

ARGENTINA

2010

Prefacio

Esta tesis es presentada como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Magíster en Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Sur, y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otras. La misma contiene los resultados obtenidos de investigaciones llevadas a cabo en cuatro sitios de la región semiárida y subhúmeda pampeana. Las determinaciones se realizaron en el laboratorio de suelos de la EEA INTA Gral. Villegas y en el laboratorio de Edafología de la Universidad Nacional del Sur, durante el periodo comprendido entre el 12 de septiembre de 2006 y el 2 de junio de 2010. La misma se desarrolló bajo la dirección del Dr. Alberto Quiroga, técnico de la Estación Experimental Agropecuaria INTA Anguil. y la codirección del Ing. Agr. (Msc) Pablo Zalba, profesor adjunto de la cátedra de "Fundamentos de Edafología" de la UNS.

Carlos Scianca.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
Secretaría General de Posgrado y Educación Continua

La presente tesis ha sido aprobada el .../.../..... , mereciendo la calificación de(.....)

CULTIVOS DE COBERTURA EN MOLISOLES DE LA REGIÓN PAMPEANA. PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA, EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA Y DEL NITRÓGENO E INCIDENCIA SOBRE EL CULTIVO DE SOJA.

RESUMEN: La alta frecuencia de cultivos de oleaginosas con moderados aportes y persistencia de residuos podría limitar la normal productividad de los suelos. La inclusión de cultivos invernales (utilizados como cultivos de cobertura, CC) en la región semiárida y subhúmeda pampeana sería una alternativa para proveer de residuos ricos en C y promover al desarrollo y al mantenimiento de la cobertura de los suelos. Pero se reconoce que el consumo hídrico de éstos podría interferir en la oferta de agua para el cultivo siguiente. El objetivo de este estudio fue evaluar la eficiencia en la producción de materia seca (MS) de cereales de invierno utilizados como CC y sus efectos sobre los contenidos de agua útil y nitratos en suelos diferenciados por el régimen hídrico. Los estudios se desarrollaron en 4 sitios experimentales [Luan Toro (LP) (Haplustol Entico, precipitación 624 mm), Dorila (LP) (Haplustol Entico, precipitación 873 mm), General Villegas (BA) (Hapludol Thapto Árgico, precipitación 906 mm) y General Pinto (BA) (Argiudol Típico, precipitación 1116 mm)]. Los tratamientos fueron: *Secale cereale* (C), *Lolium multiflorum* (R), *Avena sativa* (A) y un tratamiento Testigo, sin CC (T). La producción de MS al momento del secado de los CC varió entre 1226 y 10500 kg ha⁻¹. Se observó una gran influencia del régimen hídrico de los suelos sobre la producción del MS de los CC. El contenido de agua total al momento de la siembra explicó el 57 % de la variabilidad de la producción de MS, mientras que el contenido de agua total en el suelo a la siembra más las precipitaciones durante el ciclo de desarrollo de los CC, explicó el 89 % de la variabilidad. En todos los sitios el centeno produjo la mayor cantidad de MS, seguida por la avena y el rye grass. La mayor variación se dio dentro del mismo sitio, entre los años de evaluación. El uso consuntivo hasta el momento del secado varió entre 88 y 299 mm. La especie con mayor eficiencia de uso de agua fue el centeno, alcanzando su máximo valor en el sitio de General Pinto (54 kg MS mm⁻¹). Los valores de resistencia a la penetración fueron mayores bajo los tratamientos con CC y tuvieron una relación significativa con los contenidos hídricos del suelo. Sólo en el sitio Dorila los mayores valores fueron registrados en el tratamiento T, sin comprobarse relación significativa entre variaciones en la RP y los contenidos hídricos del suelo. Los contenidos de N-NO₃⁻ en el suelo fueron mayores en los tratamientos testigos,

independientemente del sitio, en tanto que los contenidos de N de la biomasa variaron entre 29 y 275 kg ha⁻¹; con mayores valores para el centeno. La producción de soja varió entre 1069 y 5346 kg ha⁻¹ y no se afectó por la inclusión de CC. Estudios futuros deben, en el largo plazo, contemplar el beneficio de la incorporación de CC sobre las propiedades físicas y químicas del suelo en sistemas agrícolas de la región semiárida y subhúmeda pampeana dedicados al cultivo de soja.

Palabras clave: cultivos de cobertura, centeno, materia seca, agua útil.

**COVER CROPS IN MOLLISOLS FROM THE PAMPAS REGION: DRY MATTER
PRODUCTION, SOIL WATER AND NITROGEN EFFICIENCY AND THEIR
INFLUENCE OF SOYBEAN GRAIN PRODUCTION.**

ABSTRACT: The soil productivity can be limited because of a frequent presence of oil crops and because of their little residue cover production and persistence on the soils. In the semiarid and subhumid Pampas region, the use of winter cover crops (CC) could provide residues with high C contents and maintain an adequate soil residue cover. But, the soil water use of the CC during the winter season can modify the normal soil water availability for the following crop. The objective of this research was to evaluate the dry matter (MS) production efficiency of winter cereals cultivated as CC and their effect on the soil available water and soil nitrates under two soil moisture regimes. The study was performed in four experimental sites: Luan Toro (La Pampa) (Entic Haplustoll, mean anual rainfall of 624 mm), Dorila (La Pampa) (Entic Haplustoll, mean anual rainfall of 873 mm), General Villegas (Buenos Aires) (Thapto-argic Hapludoll, mean anual rainfall of 906 mm) and General Pinto (Buenos Aires) (Typic Argiudoll, mean anual rainfall of 1116 mm). The treatments were: Rye [*Secale cereale* (C)], Rye grass [*Lolium multiflorum* (R)] and oat [*Avena sativa* (A)] and an untreated control without CC (T). The MS production at the moment of killing the CC varied between 1226 and 10500 kg ha⁻¹. A strong effect of the soil water regime on the MS production of the CC was observed. The soil water content at the moment of seeding the CC explained 57 % of the MS production and the soil water content at seeding and rainfalls during the CC growing season explained almost 89 % of the variability in MS production. In the four locations, rye showed the greater MS production followed by oat and rye grass. The greater variability was observed within each of the sites and the studied seasons. The water uptake at the moment of killing the CC varied between 88 and 299 mm. Rye was the cereal with greater water use efficiency with a highest value in General Pinto with 54 kg of MS mm⁻¹. The soil penetration resistance (RP) values were higher under CC treatments and negatively related with the soil moisture contents. Only in Dorila the highest values of RP were observed in the control treatment without a significant relationship between them and the soil water contents. The soil N-NO₃⁻ contents were greater in the T than in the CC treatments. The N content of the CC biomass varied

between 29 and 75 kg ha⁻¹ achieving greater values with rye. The soybean grain production varied between 1069 and 5346 kg ha⁻¹ without differences due to the CC treatments. Future studies should study the effects of the CC use of physical and chemical soil properties in agricultural systems from the semiarid and subhumid pampas region under continuous soybean crop production.

Key words: cover crops, rye, dry matter, soil available water.

Dedicatoria:

A Luciana mi esposa y mi hija Violeta.

A mis padres Silvia y Juan Carlos.

Agradecimientos:

Quiero agradecer muy especialmente:

A mis directores Beto y Pablo.

A los correctores de este trabajo. Ing. Agr. (Msc) Roberto Casas, Dr. Juan Galantini e Ing. Agr. Oscar Santanatoglia.

A mis compañeros de las EEAs General Villegas y Anguil.

Al departamento de Agronomía de la UNS, a sus profesores y personal no docente.

Al INTA por el financiamiento del presente trabajo.

A la Asociación Cooperadora de la Estación Experimental Agropecuaria INTA General Villegas.

Al Dr. Martín Díaz -Zorita.

A los establecimientos en los cuales se realizaron los ensayos: Estancia la Rinconada y su asesor el Ing. Agr. Tomas Tezanos Pintos, Establecimiento Don Jesús y sus propietarios Omar y Lujan Civalero, al establecimiento Nayuquen a su propietaria la Ing. Margarita Lorences y su asesor el Ing. Agr. Alejandro Vallejos.

Sin su desinteresado aporte y su valiosa colaboración no hubiese sido posible la realización del presente trabajo.

Índice

INTRODUCCIÓN	1
MATERIALES Y MÉTODOS	11
Caracterización de los sitios	11
Tratamientos y manejo de los CC	12
Evaluaciones realizadas.....	13
a) Caracterización de los sitios.....	13
b) Determinaciones realizadas durante el desarrollo de los ensayos.....	13
- En el suelo	13
- En el cultivo de cobertura	14
- En el cultivo de soja	14
Registro de las precipitaciones atmosféricas	15
Diseño Experimental	15
Análisis estadístico.....	15
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
Caracterización edafo-climática	17
General Pinto	20
- Efecto sobre la humedad edáfica	20
- Producción de Materia seca de los CC	26
- Uso consuntivo y Eficiencia de uso de agua	27
- Eficiencia de barbecho	29
- Captura de nutrientes	30
- Efectos sobre la resistencia a la penetración	31
- Efecto sobre la dinámica del nitrógeno	33
- Efectos sobre el rendimiento de soja	35
- Conclusión	36
General Villegas	38
- Efecto sobre la dinámica de agua	38
- Producción de Materia seca de los CC	41
- Uso consuntivo y Eficiencia de uso de agua	42

- Eficiencia de barbecho	42
- Captura de nutrientes	43
- Efectos sobre la resistencia a la penetración	44
- Efecto sobre la dinámica del nitrógeno	45
- Efecto sobre la dinámica de malezas	46
- Efectos sobre el rendimiento de soja	47
- Conclusión	48
Dorila.....	49
- Efecto sobre la dinámica de agua	49
- Producción de Materia seca de los CC, Uso consuntivo, Eficiencia de uso de agua y captura de nutrientes	53
- Efectos sobre la resistencia a la penetración	54
- Efecto sobre la dinámica del nitrógeno	55
- Efectos sobre el rendimiento de soja	56
- Conclusión	57
CAPÍTULO INTEGRADOR	58
BIBLIOGRAFÍA	68
ANEXO: Tablas conteniendo todos los resultados promedios y desvíos estándar registrados durante el desarrollo del presente estudio.....	76

Índice de Tablas:

Agua útil

Se presenta la información promedio y los desvíos estándar del agua útil (mm) medida en capas de 20 cm hasta los 140 cm de profundidad del perfil.

Tabla 1: Siembra de los CC. General Pinto 2005.....	77
Tabla 2: Macollaje de los CC. General Pinto 2005.....	77
Tabla 3: Encañazon de los CC. General Pinto 2005.....	78
Tabla 4: Madurez fisiológica de los CC. General Pinto 2005.....	78
Tabla 5: Soja R2 General Pinto 2005.....	79
Tabla 6: Soja R8 General Pinto 2006.....	79
Tabla 7: Siembra de los CC. General Pinto 2006.....	80
Tabla 8: Macollaje de los CC. General Pinto 2006.....	80
Tabla 9: Encañazon de los CC. General Pinto 2006.....	81
Tabla 10: Madurez fisiológica de los CC. General Pinto 2006.....	81
Tabla 11: Soja R2 General Pinto 2007.....	82
Tabla 12: Soja R8 General Pinto 2007.....	82
Tabla 13: Siembra de los CC. General Villegas 2005.....	83
Tabla 14: Madurez fisiológica de los CC General Villegas 2005.....	83
Tabla 15: Siembra del cultivo de soja. General Villegas 2005.....	84
Tabla 16: Soja R8 General Villegas 2006.....	84
Tabla 17: Macollaje de los CC. General Villegas 2006.....	85
Tabla 18: Madurez fisiológica de los CC. General Villegas 2006.....	85

Tabla 19: Siembra del cultivo de soja. General Villegas 2006.....	86
Tabla 20: Soja R2 General Villegas 2007	86
Tabla 21: Soja R8 General Villegas 2007	87
Tabla 22: Siembra de los CC.Dorila 2006	87
Tabla 23: Macollaje de los CC. Dorila 2006	88
Tabla 24: Madurez fisiológica de los CC. Dorila 2006.....	88
Tabla 25: Soja R8 Dorila 2007	89
Tabla 26: Siembra de los CC. Luan Toro 2006	89
Tabla 27: Pérdida del ensayo de los CC. Dorila 2006.....	90

Materia seca CC

Se presenta la información promedio y los desvíos estándar correspondiente a la producción de materia seca (kg. ha^{-1}) producida por los distintos CC en los diferentes momentos y sitios evaluados.

Tabla 28: Macollaje, encañazon y madurez fisiológica. General Pinto 2005.....	91
Tabla 29: Macollaje, encañazon y madurez fisiológica. General Pinto 2006.....	91
Tabla 30: Madurez fisiológica General Villegas 2005 y 2006.....	92
Tabla 31: Madurez fisiológica Dorila 2006	92

Materia seca de soja

Se presenta la información promedio y los desvíos estándar correspondiente a la producción de materia seca (kg. ha^{-1}) del cultivo de soja que sucedió a los CC en los diferentes momentos y sitios evaluados.

Tabla 32: R1 y R3 del cultivo de soja. General Pinto 2005	93
Tabla 33: R1 del cultivo de soja. General Pinto 2006.....	93
Tabla 34: R1 del cultivo de soja General Villegas 2006	94

Tabla 35: Soja R1 del cultivo de soja General Villegas 2007	94
Tabla 36: Soja R1 Dorila 2007	95

Contenido de nutrientes en biomasa aérea de los CC.

Se presenta la información promedio y los desvíos estándar de los contenidos de carbono, nitrógeno, fósforo y azufre (kg ha^{-1}) presentes en la biomasa aérea producida por los CC en distintos momentos y sitios de evaluación.

Tabla 37: Madurez fisiológica de los CC. General Pinto 2005	96
Tabla 38: Encañazon y madurez fisiológica de los CC General Pinto 2006.....	96
Tabla 39: Madurez fisiológica de los CC. General Villegas 2005.....	97
Tabla 40: Madurez fisiológica de los CC. General Villegas 2006	97
Tabla 41: Madurez fisiológica de los CC. Dorila 2006.....	98

Resistencia a la penetración.

Se presentan los valores promedios y desvíos estándar de la resistencia a la penetración (Mpa) en capas de 5 cm hasta los 40 cm de profundidad para distintos momentos y sitios evaluados en el año 2006.

Tabla 42: Siembra de los CC General Pinto 2006.....	99
Tabla 43: Macollaje de los CC General Pinto 2006.....	99
Tabla 44: Encañazon de los CC. General Pinto 2006	100
Tabla 45: Madurez fisiológica de los CC. General Villegas 2006.....	100
Tabla 46: R8 de soja. General Villegas 2007	101
Tabla 47: Siembra de los CC. Dorila 2006	101
Tabla 48: Macollaje de los CC Dorila 2006	102
Tabla 49: Madurez fisiológica Dorila 2006	102
Tabla 50: R8 de soja. Dorila 2007	103

Tabla 51: Siembra de los CC. Luan Toro 2006	103
---	-----

Nitrógeno de nitratos.

Se presentan los valores promedios y los desvíos estándar de los contenidos de nitrógeno de nitratos (kg ha^{-1}) evaluados en las capas de 0-20 y 20-60 cm de profundidad del perfil para distintos momentos y sitios evaluados.

Tabla 52: Siembra, macollaje, encañazon y madurez fisiológica de los CC General Pinto 2005	104
--	-----

Tabla 53: Siembra, macollaje, encañazon y madurez fisiológica de los CC General Pinto 2006	105
--	-----

Tabla 54: Siembra de los CC y siembra de soja. General Villegas 2005	105
--	-----

Tabla 55: Siembra, macollaje y madurez fisiológica de los CC General Villegas 2006	106
--	-----

Tabla 56: Siembra, macollaje y madurez fisiológica de los CC Dorila 2006.....	106
---	-----

Tabla 57 Siembra de los CC Luan Toro 2006	107
---	-----

Rendimiento y sus componentes del cultivo de soja sucesor de los CC.

Se presentan valores promedios y los desvíos estándar de los rendimientos (kg ha^{-1}) y sus componentes, peso de mil granos (gr.), número de granos (m^{-2}), número de plantas (m^{-2}) para los diferentes sitios y años de evaluación.

Tabla 58: General Pinto 2006.....	108
-----------------------------------	-----

Tabla 59: General Pinto 2007.....	108
-----------------------------------	-----

Tabla 60: General Villegas 2006	109
---------------------------------------	-----

Tabla 61: General Villegas 2007	109
---------------------------------------	-----

Tabla 62: Dorila 2007	110
-----------------------------	-----

Malezas.

Se presentan los valores promedios y desvíos estándar del nombre y número de malezas presentes en los distintos tratamientos de CC en el sitio de General Villegas años 2005 y 2006.

Tabla 63: General Villegas 2005111

Tabla 64: General Villegas 2006111

Precipitaciones.

Se presentan los registros de precipitaciones (mm) diarios y sus totales mensuales de los cuatro sitios en estudio.

Tabla 67: General Pinto 2005.....112

Tabla 68: General Pinto 2006.....113

Tabla 69: General Pinto 2007.....114

Tabla 70: General Villegas 2005115

Tabla 71: General Villegas 2006116

Tabla 72: General Villegas 2007117

Tabla 73: Dorila 2006118

Tabla 74: Dorila 2007119

Tabla 75: Luan Toro 2006120

INTRODUCCIÓN

La actividad agrícola en la región pampeana, orientada fundamentalmente a la producción de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] , maíz (*Zea mays* L.), trigo, (*Triticum aestivum* L.) y girasol (*Helianthus annuus* L.) ha experimentado profundas transformaciones a partir de la década del noventa, no solo en cuanto a su expansión en superficie en detrimento de la superficie praderizada, sino también a través de un aumento de su productividad debido a un mayor uso de tecnologías (Satorre, 2003).

Más recientemente, la soja se ha transformado en el cultivo más importante de la región. A modo de ejemplo, un relevamiento realizado por la Agencia de Extensión Rural Gral. Villegas del INTA, para 13 partidos del noroeste bonaerense durante la campaña 2007-08, sobre un total de 4.064.116 has, el cultivo de soja ocupaba un 30 % de la superficie total. Teniendo en cuenta que sólo el 50 % de la superficie citada anteriormente es de aptitud agrícola (suelos clase I, II y III), el cultivo de soja representaría el 60 % de la superficie potencialmente cultivable (Zaniboni y Landa, 2008). Este cultivo se caracteriza por sus limitados aportes de rastrojo, sumado a ello su baja relación C:N, y el aumento de su presencia en las secuencias de los cultivos agrícolas afectaría negativamente los contenidos de materia orgánica (MO) y al mantenimiento de adecuados niveles de cobertura (Rufo, 2003), lo cual podría llevar en el largo plazo al empobrecimiento de los suelos. Disminuciones en los contenidos de MO no solo afectarían aspectos nutricionales (Franzluebbers, 2002), efecto que en muchos casos puede ser solucionado con el aporte de fertilizantes o enmiendas, sino también aspectos relacionados con parámetros físicos que pueden condicionar la eficiencia del uso del agua y la capacidad de aireación del suelo limitando la productividad de los cultivos. Varios estudios locales e internacionales citan el efecto negativo de la pérdida de MO sobre algunas propiedades del suelo tales como:

a) Densidad aparente máxima: Quiroga et al. (1999a) en estudios desarrollados en suelos Haplustoles Enticos de la región semiárida pampeana observaron que sobre un total de 52 lotes sometidos a diferentes manejos (24 en agricultura continua, 18 en rotación con pasturas y 10 suelos vírgenes) el incremento de 5 g kg⁻¹ de MO redujo la densidad aparente máxima en 0,06 Mg m⁻³.

b) Estabilidad estructural: Eiza et al. (2006) en un estudio realizado en la localidad de Balcarce sobre un complejo de Argiudoles Típicos y Paleudoles Petrocálculos de textura franca concluyeron que los contenidos de MO Total y particulada del suelo explicaron la variación del índice de estabilidad de agregados en un 67 y 57 % respectivamente.

Por otra parte Chenu et al. (2000) en el suroeste de Francia sobre suelos limosos húmicos clasificados como Haplumbrepts Vermicos describieron una relación positiva ($r= 0,57$) entre el contenido de C y el diámetro medio ponderado de los agregados.

c) Infiltración del agua en el suelo: La presencia de residuos sobre la superficie del suelo en la zona central de las planicies de Canadá (resultado de 11 años de siembra directa, SD) resultó en una mejora de este parámetro del orden del 42 % con respecto a un tratamiento testigo sin cobertura (Elliot, 1999 citado por Weil y Magdoff, 2004). En tanto que Álvarez et al. (2008) trabajando sobre un Hapludol Típico de la pampa arenosa comprobaron que la infiltración acumulada después de 4 hs de evaluación varió entre 315 y 174 mm h⁻¹. para tratamientos con altos volúmenes de rastrojos y testigo (sin rastrojo), respectivamente, siendo estas diferencias estadísticamente significativas ($p<0,05$). En este estudio la constante n varió entre 0,56 y 0,51 para los tratamientos con cobertura y monocultivo respectivamente; n en cierta forma, es un parámetro vinculado con la variación de la velocidad de infiltración en función del tiempo y por lo tanto está relacionado con la textura del perfil del suelo y los cambios de estructura por el humedecimiento, es decir por la capacidad de transmitir agua. Otros investigadores como Sasal y Andriulo (2005) en suelos degradados de Pergamino encontraron efectos significativos sobre los poros mayores a 60 μm de diámetro al incorporar cultivos de cobertura (CC) en la rotación, variable ésta que explica la mayor infiltración registrada por los mismos en tratamientos con CC respecto del testigo, sin presencia de estos.

Cultivo de cobertura:

Una alternativa en sistemas de agricultura continua con alta participación de soja, es incrementar el aporte de residuos mediante la incorporación de CC con la finalidad de mantener adecuados niveles de MO y condiciones físicas apropiadas (Álvarez et al., 2008).

Los CC son establecidos entre dos cultivos de cosecha y no son pastoreados, ni tampoco son incorporados ni cosechados. Los residuos de estos cultivos quedan en superficie protegiendo al suelo y liberando nutrientes como resultado de procesos de degradación de la biomasa aérea y radicular de los mismos.

Tradicionalmente han sido utilizados para controlar procesos de erosión (Hoyt et al., 2004), pero pueden cumplir múltiples funciones dentro de los sistemas de producción. En zonas templadas las especies más utilizadas son fundamentalmente gramíneas y leguminosas. Entre las gramíneas más utilizadas se encuentran: centeno (*Secale cereale*), avena (*Avena sativa*),

cebada (*Hordeum vulgare*), trigo (*Triticum aestivum*), triticale (*Triticum aestivum* x *Secale cereale*) y rye grass (*Lolium multiflorum*l.) y entre las leguminosas: trébol (*Trifolium spp.*) y vicia (*Vicia spp.*).

Las especies a utilizar como CC frecuentemente han sido seleccionadas para cumplir con algún objetivo específico frente a problemas emergentes desde matrices de rotaciones o secuencias de cultivos en diferentes sitios o ambientes edafoclimáticos.

Entre los principales objetivos se encuentran:

a) Fijar carbono (C):

Según algunos autores uno de los indicadores más utilizados para evaluar los cambios en la calidad de los suelos es la MO. La importancia de la misma no radica tan solo en la cantidad sino también en su calidad (estructura y composición) y la distribución de las diferentes fracciones individuales (ácidos húmicos, polisacáridos, etc.) que son importantes para mantener la fertilidad y la estructura del suelo (Ding et al., 2005).

El aporte de C por parte de los residuos de los cultivos es el principal factor que afecta la MO (Hendrix et al., 1998) y consecuentemente las propiedades edáficas relacionadas con este importante coloide orgánico. Wander y Traina (1996) comprobaron que los contenidos de MO fueron significativamente mayores cuando se incorporaron CC en la rotación. Por su parte Ding et al. (2005) encontraron que la inclusión de CC afectó positivamente y en mayor grado las fracciones livianas de la MO.

b) Fijar nitrógeno (N):

La inclusión de leguminosas anuales en las rotaciones es una alternativa para incorporar nitrógeno al suelo. Carof et al. (2007) en un estudio realizado en Grignon (Francia) sobre un suelo Luvisol Ortico y con un régimen de precipitaciones de 600 mm anuales, concluyeron que en el largo plazo los CC de leguminosas podrían reducir la cantidad de fertilizante nitrogenado a aplicar para el cultivo sucesor como consecuencia del aporte de nitrógeno fijado simbióticamente. Similares resultados fueron citados por Hoyt et al. (2004) para suelos de Carolina del Norte (USA) y bajo un régimen de precipitaciones de 900 mm anuales. Estos autores comprobaron que al utilizar leguminosas como CC las mismas aportan aproximadamente 2 tercios del N requerido por un cultivo de grano, reduciendo de esta manera los costos de fertilización. En tanto que Sainju et al. (2007) en estudios realizados en un suelo arenoso franco de la región central de Georgia (USA) afirman que una mezcla de

leguminosas (trébol balansae, trébol rojo y vicia villosa) utilizada como CC tuvo un aporte significativo de nitrógeno pero no así de C.

c) Capturar nutrientes móviles como nitratos y sulfatos:

La captura de nitratos (NO_3^-) durante el largo periodo de barbecho que tiene lugar entre los cultivos de verano (marzo-octubre) es otro de los objetivos al establecer CC.

La finalidad es reducir y minimizar la lixiviación durante el otoño, principalmente en suelos arenosos francos y franco arenosos tal como es el caso de los Haplustoles de la planicie medanosa en la provincia de La Pampa (Argentina), (Fernández et al., 2005). Estos autores han determinado valores de 100 y de 40 kg ha^{-1} de N en la biomasa aérea de centeno y rye grass, respectivamente. Meisinger et al. (1991), Mc Cracken et al. (1994) y Kuo et al. (1997) citados por Sainju et al. (2007) reportaron que los CC no leguminosas contribuyen a la captura del N residual del suelo después de la cosecha del cultivo de grano evitando de esta manera la lixiviación hacia capas más profundas.

Estudios realizados por Strock et al. (2004) registraron importantes pérdidas de NO_3^- por lixiviación en un suelo moderadamente bien drenado, que se redujo en un 13 % en una rotación maíz- soja cuando se intercaló un cultivo de CC (centeno) durante el periodo de barbecho. Por su parte Nyakatawa et al. (2001) determinaron sobre un Paleudult Típico entre un 23 y un 82 % menos de NO_3^- en el suelo bajo CC que bajo barbecho desnudo. Similares resultados fueron obtenidos por Quiroga et al. (1999b) quienes trabajando sobre Haplustoles Enticos de la región semiárida pampeana de Argentina determinaron entre un 70 y un 83 % menos de NO_3^- bajo verdeos de invierno que bajo barbecho sin cultivo. Este efecto puede resultar de suma importancia si consideramos que al incrementarse la proporción de residuos con menor relación C/N (soja) puede ser menor la inmovilización de N por parte de los microorganismos (Reicosky, 2007; Galantini, 2008).

La relación C/N de los rastrojos puede fluctuar entre 30/1 (leguminosas) y 80/1 (gramíneas), dependiendo directamente del cultivo en cuestión (Tisdale, 1991). No obstante la relación C/N de los CC depende del momento en que se corte el ciclo de los mismos. En este sentido, un estudio realizado en Carolina del Norte por Ranells y Waggar (1997) sobre el momento del corte para diferentes especies, mostró que para el caso del centeno la relación C/N fue de 18, 31, y 38 para los estadios de inicio de macollaje, pleno macollaje y floración, respectivamente.

Además de la absorción por parte de los CC, el contenido de NO_3^- también estuvo influenciado por la inmovilización de la fauna microbiana durante etapas tempranas de descomposición de los residuos (Sainju et al., 1998). El centeno cuando es utilizado como CC solo o en mezclas con otras especies puede

reducir la cantidad de N en el suelo evitando la lixiviación del mismo en los meses de invierno Hoyt et al. (2004).

d) Control de malezas:

Los CC pueden reducir la densidad y biomasa de las malezas. La habilidad de los CC para suprimir el crecimiento de las malezas está relacionado con la cantidad de biomasa que los mismos producen (Liebman y Davis, 2000) y/o con la liberación de sustancias inhibitorias (Mohler y Teasdale, 1993; Teasdale, 1996). Existen numerosos mecanismos responsables del efecto de los CC sobre las poblaciones de malezas entre los que se destacan la reducción en la intersección de luz (efecto de sombreo), consumo de agua, competencia por nutrientes, cambios en la temperatura del suelo o impedimentos físicos en la emergencia de las plántulas (Fisk et al., 2001). En algunos casos esto permitiría disminuir el número de aplicaciones de herbicidas previo a la siembra del cultivo que sigue en la rotación y/o disminuir las dosis de postemergencia (Teasdale, 1996). También los CC pueden contribuir de manera significativa en el control de malezas en planteos de agricultura orgánica, en donde no se pueden aplicar productos de síntesis química (Scianca et al., 2006).

Hoyt et al. (2004) trabajando con centeno como CC encontraron que este cultivo tiene un rol importante en evitar la germinación de semillas de malezas, efecto que es atribuido a la presencia de sustancias alelopáticas liberadas al descomponerse los residuos. Estas sustancias o compuestos por lo general son fenoles, terpenos, alcaloides u otros compuestos del metabolismo secundario de las plantas generalmente producidos en las hojas, tallos y raíces. Así, las hojas y restos vegetales caen al suelo y al descomponerse, liberan estas toxinas. Los exudados de las raíces o de las partes aéreas pueden ser lavados por las lluvias y arrastrados al suelo (Fernández-Quintanilla y García Torres, 1989). Los CC podrían controlar a las malezas en el periodo de barbecho y solo tendrían una ligera competencia con el cultivo que sigue en la rotación (Carof et al., 2007).

Sardiña et al. (2008) en estudios desarrollados en un suelo Haplustol Éntico (franco arenoso) de la región semiárida pampeana utilizando avena como CC lograron reducir el número de malezas en un 96 % para dicotiledóneas y 86 % para monocotiledóneas respecto de un tratamiento testigo sin CC (Figura 1).

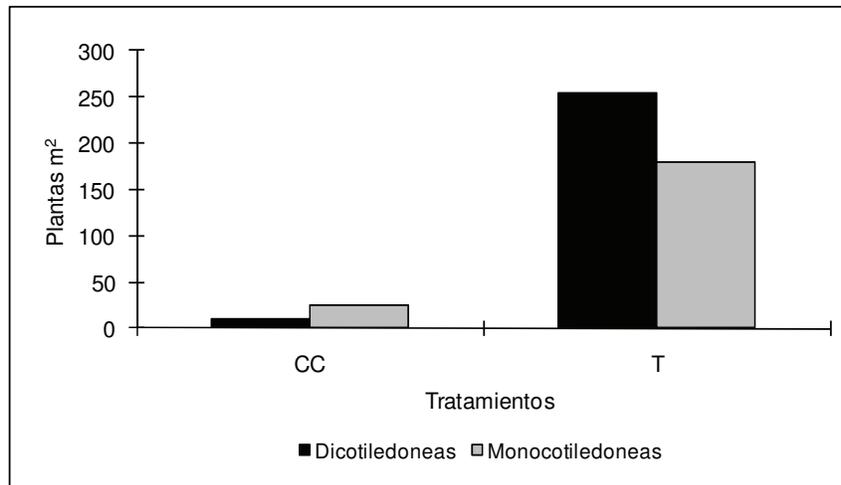


Figura 1: Abundancia de malezas entre los tratamientos con cultivo de cobertura (CC) y el testigo sin cobertura (T). Adaptado de Sardiña et al. (2008).

e) Eficiencia en el uso del agua (barbecho largo):

Algunos estudios muestran que los CC incluidos en planteos de SD mejoran la infiltración del agua de lluvia y el almacenaje de la misma en el perfil del suelo, debido a una menor pérdida de agua por escurrimiento superficial y percolación profunda fuera del alcance de las raíces, lo cual se ve reflejado en un mayor rendimiento en los años secos (Hoyt et al., 2004).

Fernández et al. (2005) y Duarte (2002) en estudios desarrollados sobre Haplustoles de las regiones semiárida y subhúmeda pampeana observaron que en los años con precipitaciones normales durante los barbechos largos y en suelos de baja capacidad de retención de agua (CRA) los CC aumentaron la eficiencia del uso del agua (EUA). Esto se atribuiría a que normalmente las precipitaciones exceden durante un barbecho largo la CRA y consecuentemente una parte de la misma se pierde infiltrándose en profundidad. No obstante, se reconoce que el consumo hídrico de los CC durante el invierno podría interferir en la normal oferta de agua para el cultivo siguiente. Al respecto, Fernández et al. (2005) comprobaron una reducción importante en los contenidos de agua debido al consumo de los CC, principalmente en el caso del rye grass, (Figura 2).

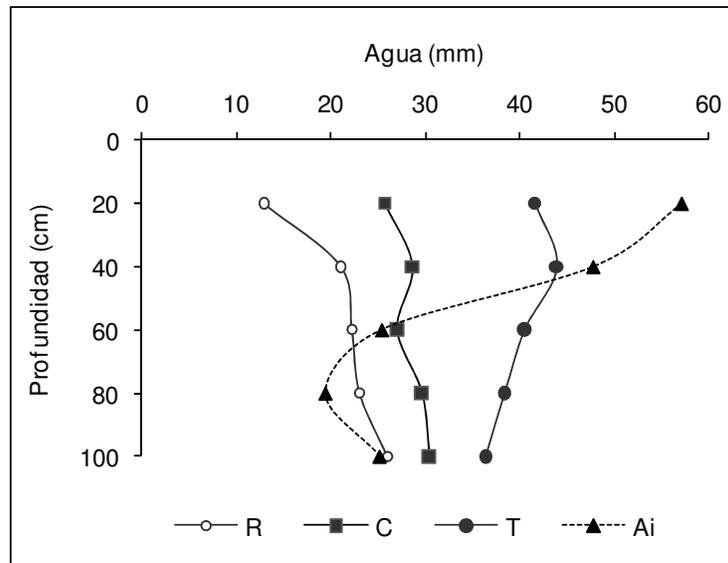


Figura 2: Contenidos de agua en el perfil de un suelo bajo distintos cultivos de cobertura. Agua al inicio del barbecho (Ai) y al finalizar el barbecho sobre centeno (C), rye grass (R) y testigo sin cultivo de cobertura (T). Adaptado de Fernández et al. (2005).

Por otra parte estudios realizados por Álvarez et al. (2005) en Hapludoles Típicos del Noroeste bonaerense no encontraron diferencias en el rendimiento de soja establecida sobre CC secados en distintos momentos (barbechos de distinta longitud). Registraron además una baja eficiencia de barbecho (11 %) en los 3 años evaluados, lo cual justifica el uso parcial del agua pluvial por los CC en los barbechos largos que median entre dos cultivos de verano. Al respecto resulta clave el estudio realizado por Fernández et al. (2007) en la región semiárida pampeana sobre un suelo franco arenoso. Estos autores comprobaron que la inclusión de CC en los sistemas mixtos de producción incidió positivamente sobre el rendimiento de los cultivos que le sucedieron con incrementos del 28 y 16 % para maíz y sorgo respectivamente.

e) Depresión de la napa freática (mayor transitabilidad, menor salinización):

En aquellos suelos donde la presencia de una napa cercana a la superficie puede condicionar el normal desarrollo de los cultivos (por ejemplo anoxia en la zona radicular), los CC pueden mejorar la situación consumiendo agua y a su vez nutrientes que se “fijan” en los residuos y disminuyen las pérdidas por lixiviación. El consumo de agua por CC durante barbechos largos puede además mejorar la transitabilidad de los suelos en períodos húmedos (Scianca et al., 2006) y reducir los riesgos de salinización, al limitar el ascenso capilar. (Fernandez et al., 2007).

En la Tabla 1 se puede visualizar la variabilidad que existe entre diferentes napas al considerar una serie de parámetros químicos en distintos sitios destinados al cultivo de maíz. Cuando las napas tienen bajos valores de conductividad eléctrica (CE) y RAS, el cultivo no solo se nutre de agua sino que

también utiliza los nutrientes de la misma. No obstante cuando ambos parámetros aumentan considerablemente pueden resultar perjudiciales e inaccesibles para aquellos cultivos sensibles como el maíz. En este aspecto los CC cumplen una importante función deprimiendo la napa freática y disminuyendo la temperatura de la superficie del suelo y el ascenso de sales (menor evaporación) durante el periodo de barbecho. De esta manera el CC contribuye a mantener la napa en profundidad y favorecer el normal desarrollo del cultivo sucesor (Fernández et al., 2007).

Tabla 1. Contenidos de nutrientes en la napa (mg/l), pH, conductividad eléctrica (dS/m) (CE) y relación de adsorción de sodio (RAS) en evaluaciones realizadas en 6 lotes destinados a maíz en la planicie medanosa de la provincia de La Pampa (Argentina). Adaptado de Fernández et al. (2007).

Sitio	Prof. (cm)	pH	CE	B	S- SO ₄ ²⁻	N-NO ₃ ⁻	Ca	Mg	K	RAS
1	120	8,4	2,1	1,3	97,5	4,7	79,2	79,2	79,2	7,2
2	140	8,7	0,9	0,6	3,1	3,3	34,8	87,8	65,2	1,2
3	80	9,0	2,8	4,4	108,8	3,1	19,1	46,0	41,4	19,1
4	100	8,9	2,4	1,8	40,1	8,6	20,5	11,0	23,1	27,2
5	60	8,9	2,7	1,9	45,5	6,2	25,6	13,4	43,9	26,9
6	180	8,7	1,7	1,2	20,9	8,6	24,4	36,0	39,2	11,2

f) Reducir las pérdidas de suelo por erosión:

Blake (1991) en estudios realizados en el valle de Napa (California), sugiere el uso de CC y SD para reducir los procesos de erosión hídrica del suelo. Esto resultaría en un menor depósito de sedimentos lo que traería innumerables beneficios para los canales de riego y cursos de agua naturales.

Hoyt et al. (2004) demostraron que tanto el centeno como el triticale utilizados como CC tienen ambos altas tasas de crecimiento y por lo tanto una alta producción de materia seca en el corto plazo, brindando la máxima protección al suelo. Además cuando estos cultivos se realizan en SD reducen los escurrimientos superficiales disminuyendo así el arrastre de los nutrientes adsorbidos a las partículas del suelo.

Bilbro (1991) menciona la magnitud de los daños causados por la erosión eólica en las grandes planicies de la región semiárida de Texas (USA) y su relación con la cobertura de los suelos en las distintas estaciones del año. Concluye que la técnica más apropiada para el control de la erosión eólica y el uso más eficiente del agua del suelo, es incluir CC en la rotación [sorgo (*Sorghum bicolor* L.) en verano y centeno en invierno] realizando siembras con el menor distanciamiento posible (13 cm entre hileras). También sugiere que anticipando el momento de secado del centeno mediante la utilización de

herbicidas podría reducirse el consumo de agua y favorecer la recarga del perfil del suelo para favorecer el desarrollo del cultivo sucesor.

Algunos ejemplos de aplicación regional:

Ruffo (2003) propone la inclusión de los CC en la rotación maíz - soja para los sistemas de producción de la Región Pampeana. En este caso la rotación recomendable puede ser centeno o avena, luego soja, vicia o trébol y finalmente maíz. La presencia de una gramínea invernal sembrada luego de la cosecha de maíz es útil para absorber nitratos residuales, aportar C e incrementar la cobertura del suelo durante el período invernal. La inclusión de una leguminosa entre la soja y el maíz aporta N y reduce los requerimientos de fertilizante nitrogenado.

En una rotación trigo - soja 2^º/ maíz / soja 1^º, el mismo autor señala que los CC pueden ser incluidos entre el maíz y la soja de 1^º y/o entre la soja 2^º y el maíz. Al igual que para la rotación anterior puede resultar recomendable incorporar una gramínea entre el maíz y la soja 1^º y una leguminosa entre soja 2^º y el maíz.

La información referida a los CC es muy escasa en la región noroeste bonaerense, resultando pertinente su evaluación no solo en cuanto a la influencia en las propiedades del suelo, sino también en la respuesta de los cultivos integrantes de la rotación.

Resultados preliminares de experiencias conducidas en la EEA INTA Villegas (Álvarez et al., 2005; 2006; 2008) y en la EEA INTA Anguil (Fernández et al., 2005) muestran que los CC pueden realizar un significativo aporte al balance de C en sistemas agrícolas continuos. No obstante, se han comprobado diferencias en la eficiencia de captación de C y de N entre distintas especies y cultivares utilizados como CC, y en la influencia que éstos poseen en diferentes condiciones de sitio (tipo de suelo, precipitaciones, etc). A continuación en la Tabla 2 se indican algunos de los efectos buscados con la inclusión de los CC en distintos tipos de suelos:

Tabla 2: Principales efectos buscados al incluir cultivos de cobertura durante los barbechos largos en distintos tipos de suelo de la región pampeana. (XX=alto impacto, X= mediano impacto, 0= sin impacto)

TIPO DE SUELO	Molisoles			Alfisoles	Vertisoles
	Haplustol Éntico	Hapludol Thapto Árgico	Argiudol Típico		
Balance de carbono	XX	XX	XX	XX	XX
Eficiencia en el uso del agua	XX	X	0	0	0
Reducir la lixiviación de nutrientes móviles	0	X	XX	0	0
Control de la erosión eólica	XX	X	0	0	0
Control de la erosión hídrica	0	X	XX	X	X
Encostramiento	XX	XX	XX	XX	XX

En base a lo expuesto y considerando las características del área de estudio, en cuanto a suelos y precipitaciones, se plantean las siguientes hipótesis:

- La eficiencia de los cultivos de cobertura en la captura de C dependerá de la especie, del momento del corte o duración del ciclo y del régimen hídrico de los suelos de manera de no afectar el rendimiento del cultivo sucesor.
- Si bien los contenidos de NO_3^- serían mayores en el tratamiento testigo con respecto a los tratamientos con cultivos de cobertura, las especies que expresen su crecimiento potencial en un menor periodo de tiempo tendrían en consecuencia un menor efecto depresor.
- Existiría un menor número de malezas en aquellos tratamientos con cultivos de cobertura respecto del tratamiento testigo.

El objetivo general de este estudio fue:

- Evaluar la eficiencia en la producción de materia seca de tres cereales de invierno utilizados como cultivos de cobertura (centeno, avena y rye grass) y determinar los efectos producidos sobre el contenido de agua útil y el contenido de nitratos en suelos diferenciados por el régimen hídrico (Ustoles y Udoles).

Los objetivos específicos fueron:

- a- Evaluar la eficiencia en el aprovechamiento del agua para capturar C, N, P y S en tres cereales de invierno establecidos como cultivos de cobertura en planteos de agricultura continua.
- b- Evaluar la influencia de los distintos cultivos de cobertura sobre las poblaciones de malezas en relación con los respectivos testigos sin cultivos de cobertura.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización de los sitios experimentales

Los estudios se desarrollaron en 4 sitios experimentales correspondientes a establecimientos con planteos de agricultura continua de verano, principalmente soja de ciclo corto en SD. Los sitios que se encuentran distribuidos a lo largo de una transecta de 420 km, fueron seleccionados en función de sus diferencias en el régimen de humedad, que resulta creciente desde el Oeste (Haplustol Entico, precipitación 624 mm) hacia el Este (Argiudol Típico, precipitación 1116 mm). En la Figura 3 se presenta la ubicación de los sitios experimentales.

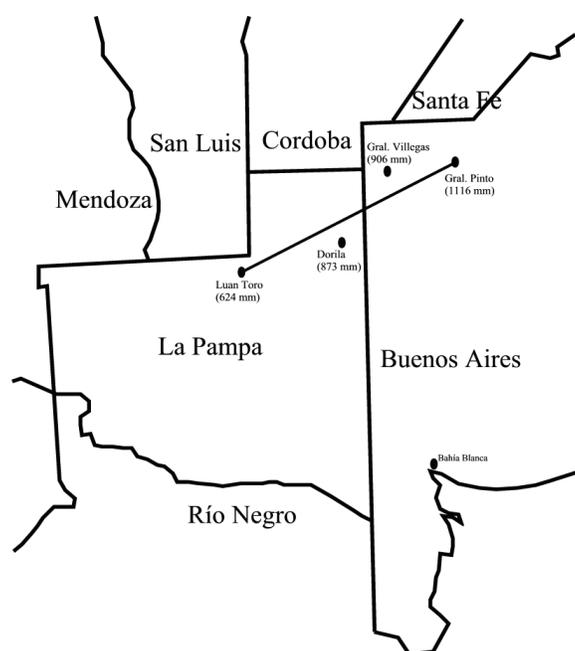


Figura 3: Localización de los sitios experimentales. Luan Toro, CREA semiárido (Haplustol Éntico); Dorila, CREA Oeste Arenoso (Haplustol Éntico); Gral. Villegas, EEA INTA (Hapludol Thapto Árgico), Gral. Pinto, Grupo SD El Planchazo (Argiudol Típico).

En la Tabla 3 se presentan los datos de las precipitaciones mensuales y aquellas correspondientes al periodo de barbecho (abril- septiembre), promedio de 30 años (1975- 2004).

Tabla 3: Precipitaciones medias mensuales, anuales y del periodo comprendido entre abril-septiembre (A-S) (mm) correspondientes al periodo (1975-2004) para los 4 sitios experimentales: Luan Toro (L); Dorila (D); Villegas (V); Pinto (P).

Sitios	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual	A- S
L	74	68	83	53	26	23	16	18	34	74	81	75	624	170
D	106	111	150	70	42	15	22	24	46	84	90	114	873	219
V	123	89	131	81	43	23	14	24	48	104	103	129	906	233
P	146	96	167	112	54	28	31	32	76	115	123	132	1116	333

Fuente: EEAs Anguil y Gral. Villegas, Policía provincial Luan Toro y Cooperativa de agua potable de Gral. Pinto Lda.

Para caracterizar el suelo de cada sitio experimental se realizó la descripción del perfil (Etchevere, 1976). Los distintos tipos de suelos y la secuencia de horizontes se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4: Secuencia de horizontes en los perfiles de suelo seleccionados para establecer los respectivos ensayos con Cultivos de cobertura.

Tipos de suelos			
Haplustol Éntico	Haplustol Éntico	Hapludol Thapto Árgico	Argiudol Típico
A	A	A	A
AC	AC	AC	B ₂ t
C ₁	C	IIB _{2t}	B ₃
C _k		IIB ₃	C
		IIC	

Tratamientos y manejo de los CC

Las especies y cultivares utilizados como CC fueron:

- Centeno cv quehue (C)
- Rye grass cv bill (R)
- Avena cv cristal (A)
- Testigo, sin cultivo de cobertura (T)

Los CC se sembraron con una densidad de 220 plantas m⁻² y con un distanciamiento entre surcos de 17.5 cm. Para realizar el secado se utilizaron 2.5 L ha⁻¹ de glifosato (48%).

Evaluaciones realizadas

a) Caracterización de los sitios.

En cada horizonte se determinaron los contenidos de arcilla y limo por el método de sedimentación y las fracciones de arena mediante tamizado en húmedo.

En muestras de los primeros 20 cm del perfil se determinó MO (Walkley y Black, 1934), P (Bray y Kurtz, 1945) y pH (potenciómetro).

En los primeros 100 cm del perfil y a intervalos de 20 cm se determinaron los contenidos de agua correspondientes a capacidad de campo (Richards), punto de marchitez permanente (membrana de presión) y densidad aparente (cilindros de 240 cm⁻³).

b) Determinaciones realizadas durante el desarrollo de los ensayos:

- En el suelo

Los contenidos de agua en el suelo (método gravimétrico) fueron determinados a la siembra, inicio del macollaje, comienzo de encañazón, momento de secado del CC y en el cultivo de soja en los estadios R2 y R8.

Las distintas muestras (cuatro repeticiones por tratamiento) fueron extraídas cada 20 cm hasta 140 cm de profundidad.

Los contenidos de NO₃⁻ (método del ácido cromotrópico, West y Ramachandran, 1962) fueron evaluados a la siembra, inicio del macollaje, comienzo de la encañazón y al momento del secado del CC. Las muestras fueron extraídas a dos profundidades, 0-20 y 20-60 cm.

En condiciones de campo y en cada ensayo se determinó el perfil de resistencia a la penetración (RP) (O'Sullivan et al., 1987), utilizando un penetrómetro de golpe. El elemento activo utilizado presenta una sonda con punta cónica (ángulo de 60°) y una capacidad de penetración de un metro. En cada sitio se definieron transectas de 3 m de longitud con evaluaciones de RP equidistantes a 30 cm (10 puntos). En cada punto se registró la RP a intervalos de 5 cm. Sobre cuatro de estos perfiles se determinó el contenido de agua de las distintas capas por el método gravimétrico.

El uso consuntivo (UC) se calculó haciendo la suma del contenido hídrico inicial del suelo y las precipitaciones ocurridas durante el periodo. A esta suma se le resta el contenido hídrico del suelo al momento de finalizar el CC, de acuerdo con el procedimiento indicado por Lopez y Arrue (1997).

La eficiencia en la utilización del agua (EUA) se calculó haciendo el cociente entre la materia seca producida por los CC y el UC de ese cultivo en el periodo evaluado.

La eficiencia de barbecho se calculó haciendo la diferencia entre el contenido hídrico inicial y final de un periodo determinado, dividiendo este valor por las precipitaciones ocurridas en el periodo (Mathews y Army, 1960).

- En el cultivo de cobertura:

Para cuantificar la materia seca al inicio del macollaje, al inicio de encañazón y al momento del secado del CC se realizaron cortes por duplicado de 0,25 m² por parcela y secados en estufa a 60° C. En los cortes de madurez fisiológica (2005), encañazón y madurez fisiológica (2006) se determinaron los contenidos de C, N, P y S. Con el valor absoluto en porcentaje y la producción de materia seca se determinó el contenido de los nutrientes en la biomasa aérea total.

Para las determinaciones químicas se utilizaron las siguientes técnicas:

Carbono: determinación del contenido total por incineración y detección infrarroja con LECO Carbon Analyzer IR 120.

Nitrógeno: digestión por el método semi-microKjedahl utilizando un destilador Büchi B-98.

Fósforo y azufre: Digestión húmeda con una mezcla de ácido nítrico y perclórico (rel. 2:1) en caliente (235 °C) mediante reflujo durante 3 horas. Las determinaciones fueron efectuadas con un Espectrómetro de Emisión Atómica por Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-AES), Shimadzu Secuencial 1000 modelo III, con nebulización convencional, según Norma EPA 2007.

Al momento del secado de los CC se cuantificaron las malezas presentes en cada uno de los tratamientos tomando 5 submuestras por parcela con un marco de 0.25 m², registrando en cada caso el número y la especie de las respectivas malezas (este parámetro solo se evaluó en el sitio de Villegas)

- En el cultivo de soja

El cultivo de soja fue sembrado en los tres sitios experimentales en el mes de noviembre utilizando semilla inoculada del grupo de madurez 4,8 con un distanciamiento entre hileras de 0,52 m a razón de 22 semillas por metro lineal.

Se cuantificó la producción de materia seca en el estadio de R2 a través de cortes de 1m² por parcela y posterior secado de la misma en estufa a 60° C.

Se determinó el rendimiento de grano en madurez fisiológica y otras variables como el número de plantas, peso de mil granos y número de granos por unidad de superficie; esta evaluación se llevó a cabo mediante la cosecha manual de

una superficie de 2 m² y la trilla por medio de una trilladora estática. Los resultados quedaron expresados con una humedad promedio del 14 %.

Registro de las precipitaciones atmosféricas

En cada sitio se llevó un registro de las precipitaciones diarias a través de estaciones meteorológicas automáticas (Dorila y Villegas) o bien por medio de registros realizados en el sitio experimental por el productor (Pinto y Luan Toro).

Además se utilizaron las series históricas para determinar la probabilidad de ocurrencias de precipitaciones mensuales y periódicas.

Diseño experimental

Se utilizaron parcelas de 4,50 X 50 m de largo (225 m²) en un diseño en bloques completamente aleatorizados con 4 repeticiones.

A	C	R	T
R	T	A	C
C	R	T	A
T	A	C	R

Esquema con la distribución de los tratamientos: (A) Avena cristal (C), Centeno Quehue, (R) Rye grass Bill y T (Testigo sin CC).

Análisis estadístico

Los resultados de los ensayos se analizaron estadísticamente mediante ANOVA y las diferencias entre medias a partir del test de Tukey, con Statistix 8 (Analytical Software, 2000).

Se realizaron análisis de regresión utilizando Statistix 8 (Analytical Software, 2000).

Para el análisis de la información correspondiente a las malezas se utilizó el test no paramétrico de Fridman como alternativa al ANOVA por considerarse más apropiada esta metodología para el análisis e interpretación de los datos de libre distribución como son las poblaciones de malezas (Bielinski et al., 2005).

A través del programa Octave 3.0.1 (2008) y utilizando la función de gama incompleta se calculó la probabilidad de ocurrencia de precipitaciones. Este programa requiere para su correcto funcionamiento series de datos históricas de por lo menos 30 años (datos facilitados por la Cooperativa de Agua Potable de Pinto Lda. y las EEAs INTA Anguil y Gral Villegas).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización edafo-climática.

Precipitaciones

En la Figura 4 se observa como varía la probabilidad de ocurrencia de las precipitaciones durante el período que media entre dos cultivos de soja (abril - septiembre). Durante este periodo el sitio ubicado hacia el Este de la transecta presenta un total de precipitaciones que prácticamente duplican a las del sitio localizado en el extremo Oeste.

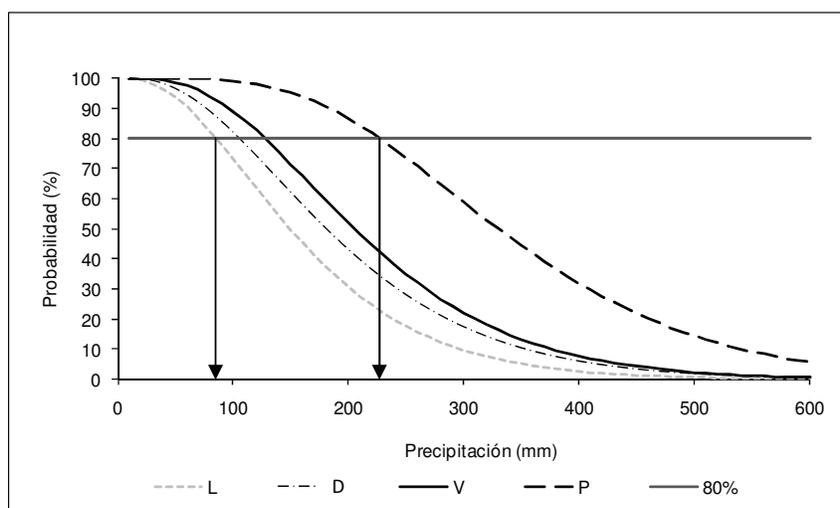


Figura 4: Probabilidad de ocurrencia de las precipitaciones durante el periodo comprendido entre abril y septiembre en los 4 sitios experimentales: Luan Toro (L); Dorila (D); Villegas (V); Pinto (P).

A modo de interpretar mejor la información de la Figura 4 se trazó una línea que indica el 80 % de probabilidad de ocurrencia de precipitaciones comprobándose que en el sitio más húmedo la misma alcanza los 230 mm, mientras que en el otro extremo el valor alcanzado es de 90 mm. Esta información es muy importante para definir estrategias de manejo como por ejemplo el momento de secado de los CC que posibilite la recarga del perfil previo a la siembra del siguiente cultivo de soja. En ese sentido, en los sitios con menor ocurrencia de precipitaciones existiría un mayor riesgo de incorporar CC a la rotación y se debería apuntar a momentos tempranos de secado, por el contrario en los sitios más húmedos se podría postergar este momento sin afectar el rendimiento del siguiente cultivo de la rotación.

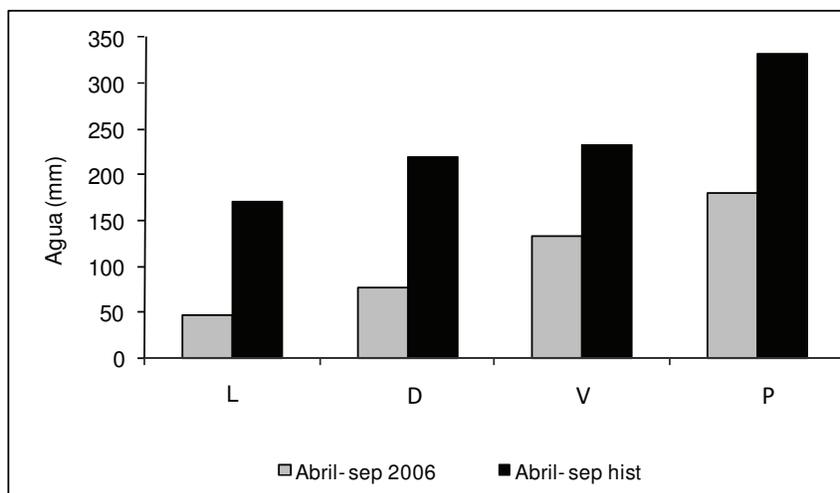


Figura 5: Precipitaciones históricas y del ciclo 2006 para el periodo abril- septiembre en los diferentes sitios experimentales: Luan Toro (L); Dorila (D); Villegas (V); Pinto (P).

En la figura 5 puede visualizarse que a medida que se avanza en la transecta en sentido Oeste-Este, aumentan las precipitaciones en el periodo abril – septiembre. Por otra parte, se puede deducir de la Figura 5 que durante el periodo de estudio (2006) las precipitaciones fueron significativamente menores que el promedio histórico.

Suelos

En la Tabla 5 se presenta información sobre propiedades edáficas de los primeros 20 cm del perfil de los distintos suelos donde se establecieron los CC. Esta información sumada a parámetros climáticos permite hacer una caracterización preliminar de cada ambiente.

Tabla 5: Caracterización de los suelos evaluados, profundidad, contenidos de arcilla, limo y arena (%), CC= capacidad de campo (mm) y PMP= punto de marchitez permanente (mm) contenidos de MO (%), P (ppm) y pH. Luan Toro (L), Dorila (D), Villegas (V) Pinto (P).

Sitio	Profundidad (cm)	Arcilla	Limo	Arena	CC	PMP	MO	P	pH
		0-20	0-20	0-20	140	140	0-20	0-20	0-20
L	100	15,0	26,8	58,2	315	140	1,54	38,4	5,8
D	+140	10,0	37,0	53,0	348	130	2,15	30,0	6,1
V	+140	13,3	45,0	41,7	420	172	2,91	17,0	5,9
P	+140	18,9	44,0	37,1	452	244	3,28	8,6	6,0

A continuación se realizará a nivel de sitio experimental un análisis del comportamiento de los distintos cereales invernales utilizados como CC y los efectos sobre propiedades edáficas y el cultivo sucesor. Finalmente se integrará la información en un análisis conjunto. Sin bien en el sitio Luan Toro

no se establecieron los CC por la baja disponibilidad de agua, este sitio y los resultados parciales obtenidos en el mismo son considerados en el capítulo integrador a fin de analizar posibles límites ambientales para la inclusión de CC en la rotación.

General Pinto.

Según las últimas estadísticas del INTA esta región ha sufrido importantes cambios en los últimos 10 años, pasando de sistemas mixtos con pasturas polifíticas en base alfalfa a una agriculturización con una fuerte participación del monocultivo de soja. Esto ha llevado a tales sistemas a una disminución de la cobertura de los suelos, pérdidas de materia orgánica (MO), erosión, etc. Sumado a esto, el aumento en el régimen de precipitaciones ha provocado ascensos de la napa freática aumentando la degradación físico-química de estos ambientes principalmente a través del tráfico de maquinaria y la lixiviación constante de nutrientes. Este ambiente se caracteriza por presentar un perfil de suelo bien desarrollado, correspondiente al orden de los Molisoles (Argiudol Típico) con una capacidad de retención de agua (CRA) de 450 mm hasta los 140 cm de profundidad y se encuentra influenciado por la presencia de la napa cercana a la superficie (80 a 100 cm). Para mitigar este efecto ocasionado por el manejo (monocultivos y bajos volúmenes de rastrojo) es que se estudió la inclusión de CC gramíneas buscando mejorar las condiciones de transitabilidad de los lotes, disminuir la lixiviación de nutrientes en profundidad y aportar carbono para mantener y/o incrementar los niveles de MO.

Efectos sobre la humedad edáfica:

Uno de los parámetros evaluados fue la humedad edáfica, registrándose variaciones en los contenidos de agua total (0-60 cm) desde 168 a 175 mm en el año 2005 y de 92 a 149 mm en el año 2006. Para una profundidad mayor (60-140 cm) los valores fueron de 236 a 263 mm y de 137 a 176 mm para los años 2005 y 2006, respectivamente (Figuras 6 y 7). Las mayores diferencias entre tratamientos se registraron en la profundidad de 0-60 cm evidenciando que ésta es la zona del perfil donde existe el mayor consumo de agua por parte de los CC. Además se pudo observar que a medida que se atrasó el momento de secado de los CC se registraron las mayores diferencias con respecto al testigo debido a un mayor consumo de agua. Los datos obtenidos son coincidentes con aquellos registrados por Fernández et al. (2005) quienes utilizaron rye grass como CC en la región semiárida pampeana. Por otra parte (Carfagno et al., 2008) en un suelo Haplustol Éntico de la región semiárida pampeana encontraron mayores contenidos de humedad volumétrica en el tratamiento sin CC presentando diferencias significativas con el centeno, la avena y el rye grass utilizados como CC. Caviglia et al. (2007) trabajando con CC en un Argiudol Acuico de Paraná (Entre Ríos), encontraron diferencias significativas entre avena y el testigo, el cual sin embargo tuvo pérdidas importantes de agua atribuibles al proceso de evaporación. En nuestro estudio los datos registrados solo permitieron comprobar diferencias significativas entre tratamientos en la campaña 2006, posiblemente debido a que las precipitaciones ocurridas en el año 2005 fueron mayores y posibilitaron la

recarga del perfil en todos los tratamientos. Una particularidad que caracterizó al año 2005 fue la influencia de la napa freática cercana a la superficie (80 -100 cm), que tuvo como aspectos positivos el aporte de agua y nutrientes (Fernández et al., 2007) y como aspecto negativo la falta de piso para el tránsito de maquinarias.

Durante el periodo de desarrollo del cultivo estival (Figuras 6 y 7) los contenidos de agua del perfil fueron muy similares entre tratamientos lo que indicaría que el cultivo de soja contó con similares condiciones para su desarrollo en los distintos tratamientos, no observándose diferencias significativas de rendimientos entre ambas campañas. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Capurro et al. (2007) en estudios realizados sobre un suelo Argiudol Típico de Santa Fe quienes comprobaron que los contenidos de agua en los tratamientos con CC no limitaron la producción del cultivo de soja siguiente.

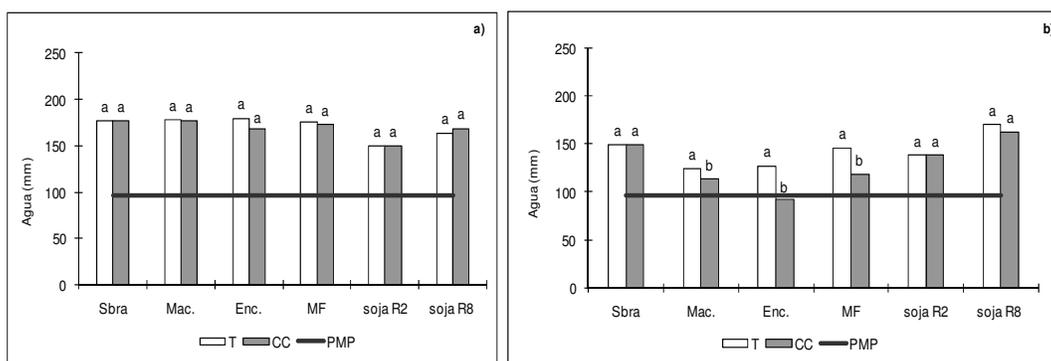


Figura 6: Contenido de agua total a una profundidad de 0- 60 cm para el tratamiento testigo (T) y el promedio de los cultivos de cobertura (CC), PMP = punto de marchitez permanente. a) campaña 2005/2006 y b) 2006/2007. Sbra= siembra de los CC, Mac.= macollaje de los CC, Enc.= encañazon de los CC, MF= madurez fisiológica de los CC. Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos T y CC para cada momento de muestreo.

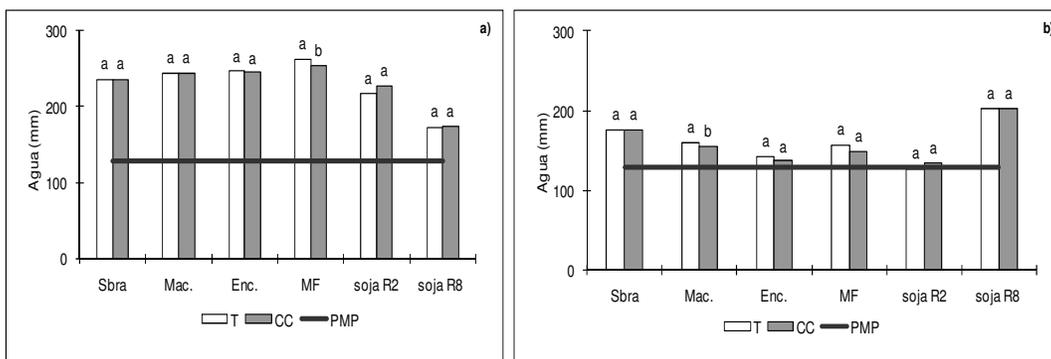


Figura 7: Contenido de agua total a una profundidad de 60-140 cm para el tratamiento testigo (T) y el promedio de los cultivos de cobertura (CC), PMP = punto de marchitez permanente. a) campaña 2005/2006 y b) 2006/2007. Sbra= siembra de los CC, Mac.= macollaje de los CC, Enc.= encañazon de los CC, MF= madurez fisiológica de los CC. Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos T y CC para cada momento de muestreo.

La Figura 8 muestra el contenido de agua total para los distintos tratamientos y las precipitaciones ocurridas durante el desarrollo de los CC. En el primer año de evaluación (Figura 8 a) las precipitaciones fueron un 22 % mayores que en 2006, con una distribución más uniforme a lo largo del periodo, además hubo influencia de napa freática cercana a la superficie (80-100 cm). Bajo estas condiciones todos los tratamientos presentaron contenidos de agua total por encima del PMP no observándose diferencias significativas entre ellos, siendo el mayor contenido hídrico para el testigo (175 mm) seguido por el rye grass (174 mm), la avena (173 mm) y el centeno (171 mm). Por el contrario, el año 2006 (Figura 8 b) se caracterizó por tener un régimen de precipitaciones menor y las mismas se concentraron en octubre lo cual posibilitó la recarga del perfil del suelo para el cultivo de soja. En estas condiciones se comprobó, al momento de secado de los CC, una marcada diferencia en los contenidos hídricos entre el testigo (146 mm) y los CC (118 mm). Entre los CC el centeno (125 mm) presentó el mayor contenido hídrico seguido por rye grass (120 mm) y avena (109 mm).

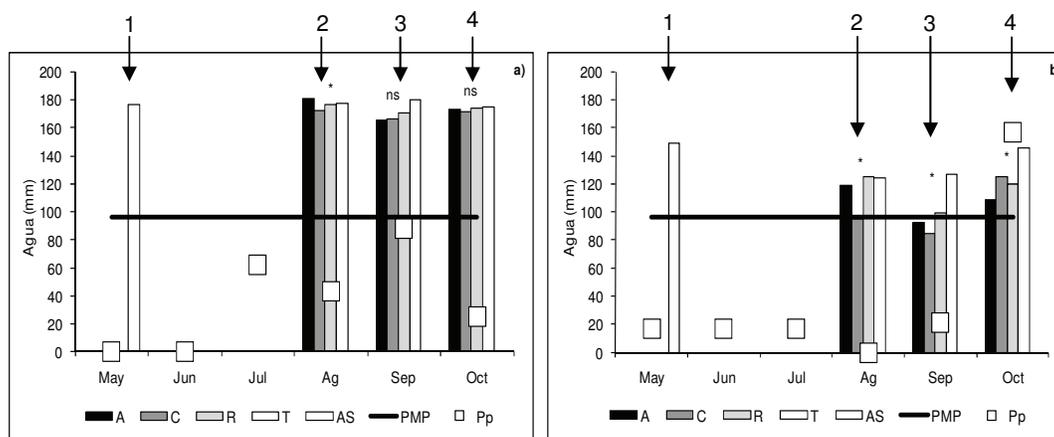


Figura 8: Contenido de agua total a una profundidad de 0-60 cm para los tratamientos. Avena (A), Centeno (C), Rye grass (R) y Testigo (T). AS = agua total a la siembra de los cultivos de cobertura (CC), PMP = punto de marchitez permanente y Pp= precipitaciones mensuales durante el periodo de crecimiento de los CC. 1 = siembra de los CC, 2.= macollaje de los CC, 3 = encañazón de los CC y 4 = madurez fisiológica de los CC. a) año 2005 y b) año 2006. ns= diferencias no significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos para cada momento de muestreo, *= diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos para cada momento de muestreo.

En la campaña 2005 no se registraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en el contenido de agua del suelo entre los tratamientos en ninguno de los momentos evaluados; además, los contenidos de agua total estuvieron cercanos a los valores de capacidad de campo (Figuras: 9 a, 10 a, 11 a, 12 a, 13 a y 14 a). Estos datos coinciden con los registrados por Sá Pereira et al. (2008) quienes trabajando con suelos Argiudoles Típicos de la zona de Coronel Suárez (Buenos Aires) no encontraron diferencias significativas en los contenidos hídricos del suelo entre los CC y el testigo al momento de sembrar

la soja. Dichos autores también atribuyen los resultados a las precipitaciones registradas en la primavera que resultaron suficientes para recargar el perfil.

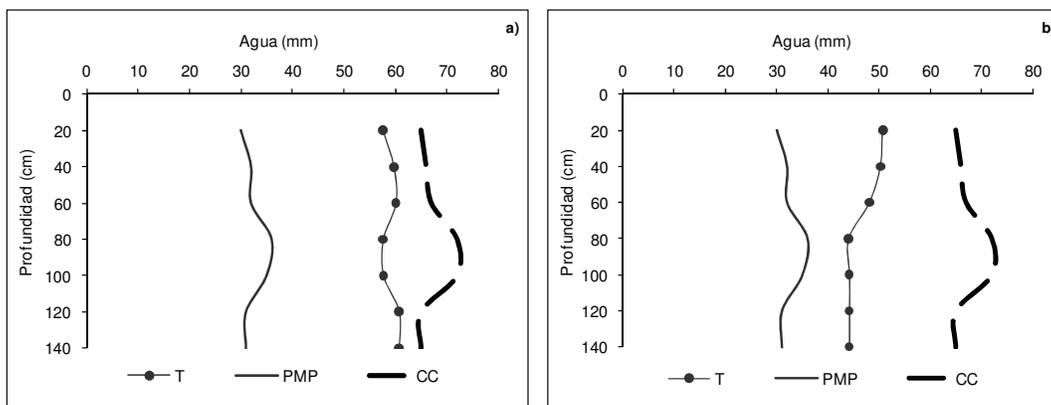


Figura 9: Contenido de agua del suelo al momento de la siembra de los cultivos de cobertura para el tratamiento Testigo (T). PMP = punto de marchitez permanente, CC = capacidad de campo. a) Año 2005 y b) Año 2006.

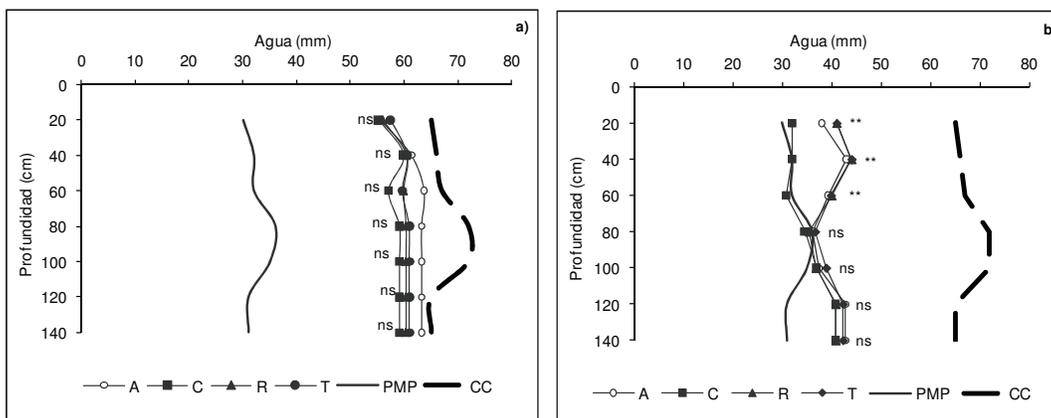


Figura 10: Contenido de agua del suelo al momento del macollaje de los cultivos de cobertura para los tratamientos Avena (A), Centeno (C), Rye grass (R) y Testigo (T), PMP = punto de marchitez permanente, CC = capacidad de campo. a) Año 2005 y b) Año 2006. ns= diferencias no significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos para cada profundidad de muestreo, *= diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos para cada profundidad de muestreo y **= diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre tratamientos para cada profundidad de muestreo.

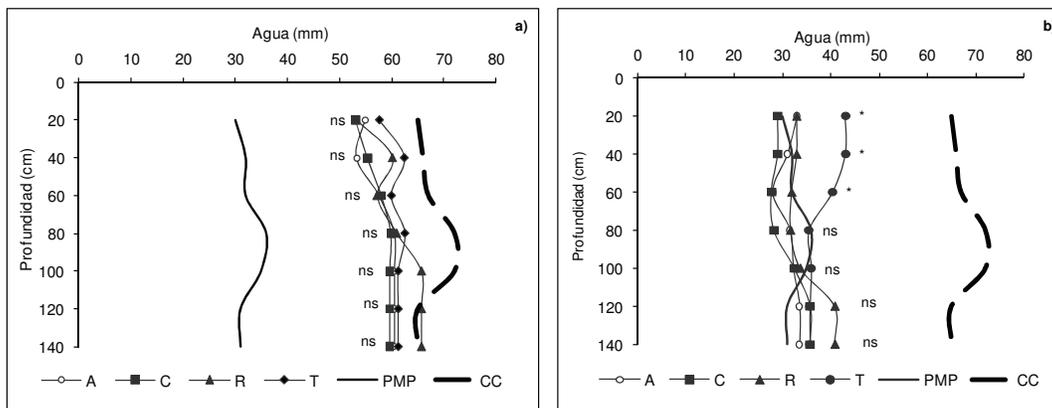


Figura 11: Contenido de agua del suelo al momento de la encañazón de los cultivos de cobertura para los tratamientos Avena (A), Centeno (C), Rye grass (R) y Testigo (T), PMP = punto de marchitez permanente, CC = capacidad de campo. a) Año 2005 y b) Año 2006. ns= diferencias no significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos para cada profundidad de muestreo, *= diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos para cada profundidad de muestreo .

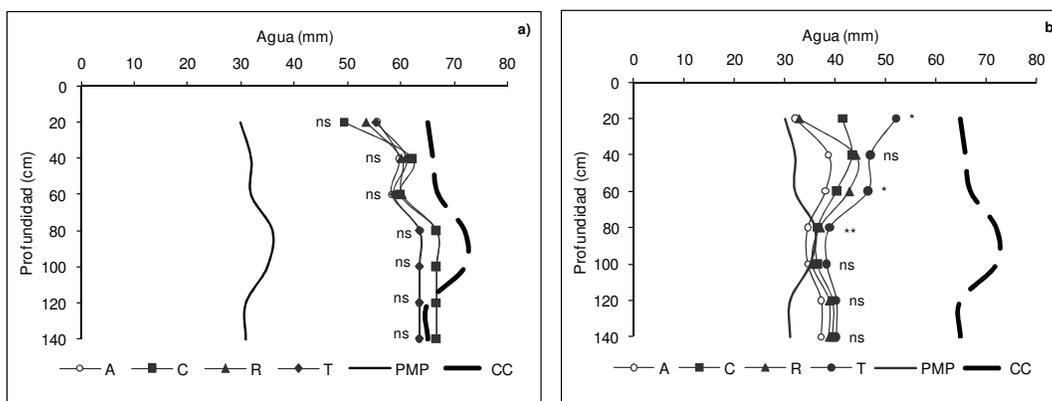


Figura 12: Contenido de agua del suelo al momento de la madurez fisiológica de los cultivos de cobertura para los tratamientos testigo Avena (A), Centeno (C), Rye grass (R) y Testigo (T), PMP = punto de marchitez permanente, CC = capacidad de campo. a) Año 2005 y b) Año 2006. ns= diferencias no significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos para cada profundidad de muestreo, *= diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos para cada profundidad de muestreo y **= diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) entre tratamientos para cada profundidad de muestreo.

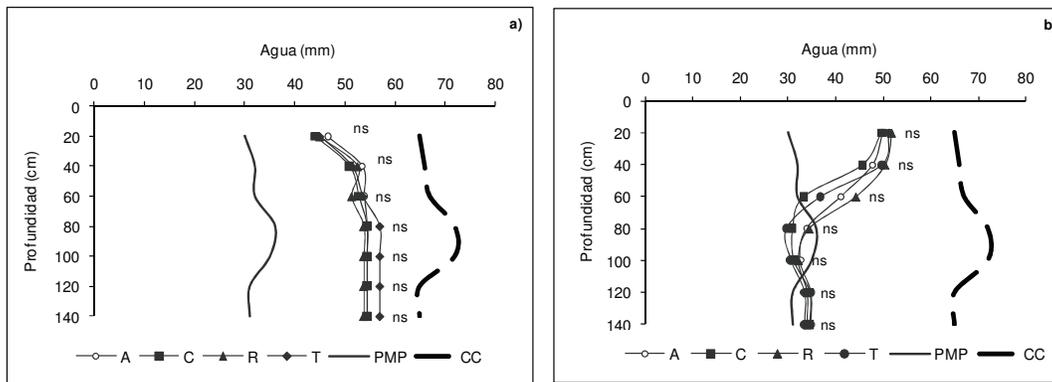


Figura 13: Contenido de agua del suelo en el estadio R2 del cultivo de soja con antecesores Avena (A), Centeno (C), Rye grass (R) y Testigo (T). PMP = punto de marchitez permanente, CC = capacidad de campo. a) Año 2005 y b) Año 2006. ns= diferencias no significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos para cada profundidad de muestreo.

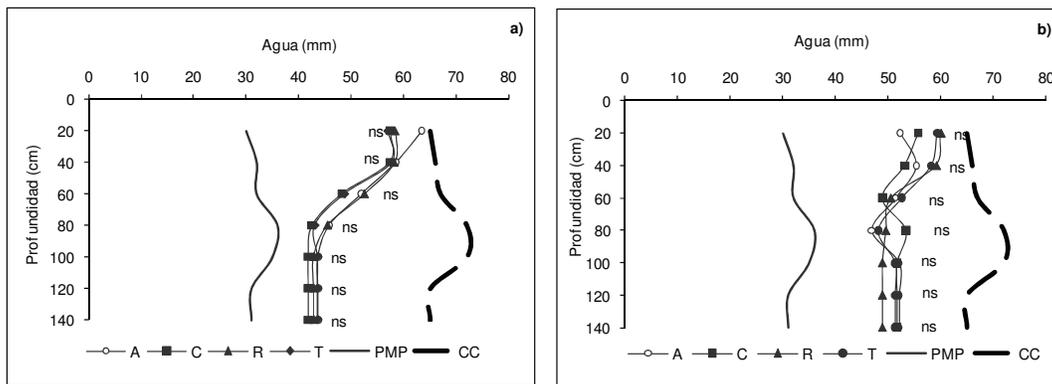


Figura 14: Contenido de agua del suelo en el estadio R8 del cultivo de soja con antecesores Avena (A), Centeno (C), Rye grass (R) y Testigo (T). PMP = punto de marchitez permanente, CC = capacidad de campo. a) Año 2005 y b) Año 2006. ns= diferencias no significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos para cada profundidad de muestreo.

En la campaña 2006 se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en el contenido de agua del suelo hasta aproximadamente los 80 cm de profundidad, por el contrario, no se encontraron diferencias significativas entre los 80 y 140 cm de profundidad (Figuras: 9 b, 10 b, 11 b, 12 b, 13 b y 14 b). Al comparar entre especies el centeno tuvo un consumo de agua superior, registrándose contenidos hídricos cercanos al PMP hasta los 60 cm de profundidad. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Carfagno et al. (2008).

En **macollaje** se observó que el tratamiento con centeno presentó un menor contenido de agua en la capa de 0-60 cm con respecto al resto de los tratamientos, (Figura 13).

Durante la **encañazón** los mayores contenidos de agua se observaron en el tratamiento testigo seguido por la avena y el rye grass sin diferencias entre sí y por último el centeno mostrando diferencias significativas ($p < 0,05$) con el

testigo. En este estadio se registraron valores cercanos al PMP para la avena, el centeno y el rye grass en los primeros 80 cm del perfil.

En **madurez fisiológica** (MF) los tratamientos con avena y rye grass presentaron un menor contenido de agua que con centeno y el testigo. Estas diferencias entre especies se deberían a que la avena y el rye grass continuaron su crecimiento hasta el momento de su secado mientras que el centeno, en la etapa final, tuvo consumos inferiores de agua debido a su mayor precocidad y ciclo más corto. La avena y el rye grass siguieron produciendo materia seca y por lo tanto prolongaron el consumo de agua por más tiempo. En estas condiciones se registraron diferencias significativas entre el testigo y los distintos tratamientos en las profundidades 0- 20, 40-60 y 60-80 cm.

En los estadios de **R2 y R8 del cultivo de soja** no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para las distintas profundidades evaluadas, comprobándose una importante recarga del perfil durante el segundo año.

Producción de Materia seca de los CC:

En la Figura 15 se observa la producción de biomasa de los CC en los 2 años de evaluación. En el año 2005, durante los primeros estadios de desarrollo, la avena presentó mayor producción de materia seca que centeno y rye grass pero solamente hubo diferencias significativas entre avena y rye grass ($p < 0,05$). Sin embargo, en el año 2006 (con 22 % menos de precipitaciones que 2005) el mayor desarrollo inicial fue para centeno con diferencias significativas respecto de rye grass. No obstante, cuando el secado se efectuó a fines de septiembre (2006) y principios de octubre (2005) la tendencia fue la misma, comprobándose una mayor producción de materia seca para el centeno seguido por la avena y el rye grass. Sin embargo cuando se postergó la fecha de secado (fines de octubre, 2006) la avena produjo mayor cantidad de materia seca que el centeno. El centeno acumuló su máxima biomasa en el estadio de encañazón, mientras que la avena y el rye grass alcanzaron la mayor producción de biomasa en madurez fisiológica. Es importante destacar que en ambas campañas de evaluación la producción de materia seca del centeno difirió significativamente de la avena y rye grass en el estadio de MF ($p < 0,05$).

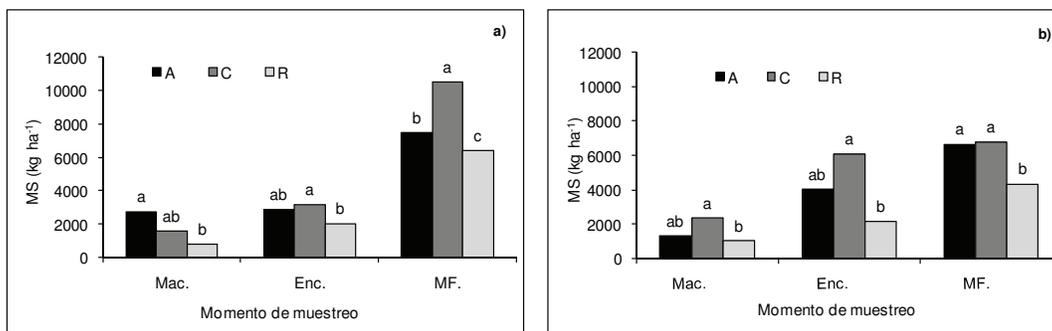


Figura 15: Biomasa aérea producida por las especies utilizadas como cultivos de cobertura: Avena (A), Centeno (C) y Rye grass (R) en función del momento de muestreo. Mac.=macollaje, Enc.= encañazón y MF= madurez fisiológica. a) Año 2005 y b) Año 2006. Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos para cada momento de muestreo.

El mayor incremento de materia seca (mayor tasa de crecimiento) se alcanzó entre el estadio de encañazón y madurez fisiológica para el año 2005 y fue de 7429 kg ha⁻¹. En cambio, en el año 2006 el mayor incremento se alcanzó entre macollaje y encañazón (3743 kg ha⁻¹). Las tasas de crecimiento para el año 2005 fueron de 50, 70 y 43 kg de materia seca ha⁻¹día⁻¹ mientras que para el año 2006 fueron de 39, 40 y 26 kg de materia seca ha⁻¹día⁻¹ para los tratamientos de avena, centeno y rye grass, respectivamente.

Uso consuntivo y Eficiencia de uso de agua:

Los usos consuntivos (UC) variaron en función de la fecha de secado entre 55 y 208 mm para el año 2005 y entre 98 y 299 mm para el año 2006 (Figura 16 a y b). En ambos años y en estados fenológicos avanzados los mayores UC se registraron con la avena.

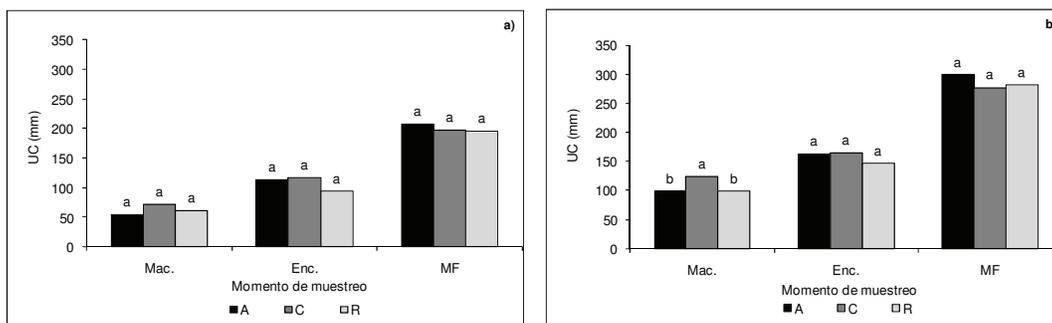


Figura 16: Uso consuntivo (UC) para los distintos cultivos de cobertura: Avena (A), Centeno (C) y Rye grass (R) en función del momento de muestreo. Mac.=macollaje, Enc.= encañazón y MF= madurez fisiológica. a) Año 2005, b) año 2006. Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos para cada momento de muestreo.

La EUA varió entre 13 y 54 kg de materia seca $\text{ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ para el año 2005 y entre 9 y 37 kg materia seca $\text{ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ para el año 2006 (Figura 17 a y b). Para los secados realizados en octubre, las mayores eficiencias fueron alcanzadas por el centeno, entre 54 y 37 kg materia seca $\text{ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ para los años 2005 y 2006, respectivamente. Al atrasar el momento del secado e ingresar a las etapas reproductivas se incrementó el UC y se redujo la generación de biomasa por lo cual el centeno presentó menores eficiencias, pasando de 37 a 24 kg materia seca $\text{ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$. Por el contrario, la avena y el rye grass, con tasas de crecimiento inicialmente más lentas, pero mayores que centeno durante este periodo, mantuvieron sus eficiencias aumentando la producción de biomasa aérea.

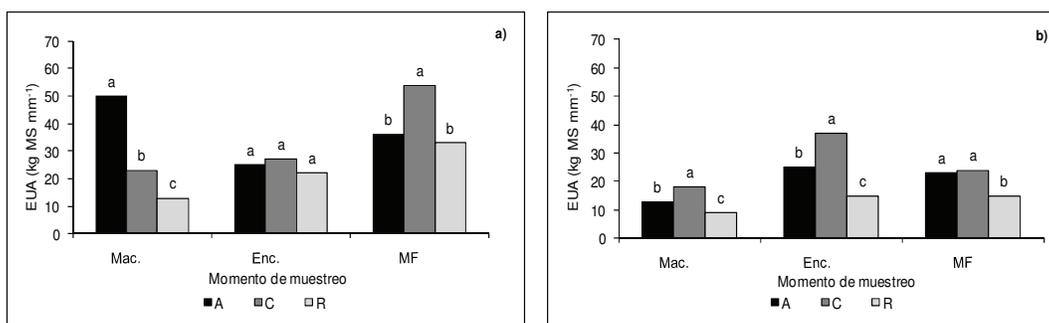


Figura 17: Eficiencia en el uso del agua (EUA) para los distintos cultivos de cobertura: Avena (A), Centeno (C) y Rye grass (R) en función del momento de muestreo. Mac.=macollaje, Enc.= encañazon y MF= madurez fisiológica. a) año 2005 b) Año 2006. Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos para cada momento de muestreo.

El UC de soja varió entre 189 mm (R2) y 414 mm (R8) durante 2005-06 y entre 228 mm (R2) y 370 mm (R8) en 2006-07 (Tabla 6).

Los valores de EUA para la producción de materia seca en soja estuvieron dentro del rango de 4,5 a 9,5 kg de materia seca $\text{ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ para la campaña 2005-06 y fueron mayores en la campaña 2006-07 (de 19,6 a 23,2 kg de materia seca $\text{ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$). Por otra parte, cuando se calculó la EUA para la producción de grano los valores variaron desde 34,1 a 36,9 y 12,1 a 15,9 kg de materia seca $\text{ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ para las campañas 2005-06 y 2006-07 respectivamente (Tabla 6).

Tabla 6: Uso consuntivo (UC) y eficiencia de uso del agua (EUA) medidos en el cultivo de soja sobre distintos cultivos de cobertura antecesores: Avena (A), Centeno (C), Rye grass (R) y Testigo (T) en función del momento de muestreo. Campañas 2005/6 y 2006/7. Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos para cada momento de muestreo.

Momento de muestreo	Tratamiento	UC (mm)		EUA MS (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)		EUA Granos (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	
		2005/6	2006/7	2005/6	2006/7	2005/6	2006/7
R2	A	194 a	228 a	5,6 bc	23,2 a	-	-
	C	210 a	260 a	6,7 b	19,6 a	-	-
	R	214 a	240 a	4,5 c	20,9 a	-	-
	T	189 a	280 a	9,5 a	20,7 a	-	-
R8	A	395 a	370	-	-	34,1 a	14,1
	C	408 a	332	-	-	35,9 a	15,9
	R	394 a	368	-	-	36,9 a	12,1
	T	414 a	368	-	-	34,1 a	12,7

Eficiencia de barbecho:

Las eficiencias de barbecho (EB) para este sitio fueron muy bajas en el primer año y tendieron a disminuir a medida que se atrasó la fecha de evaluación. Al año siguiente la EB fue negativa confirmando estos resultados el escaso aporte que tiene la práctica de barbechos largos entre dos cultivos sucesivos de verano para aquellos sitios con influencia de napa y en regímenes de humedad del suelo UDICO. Al respecto (Fernández, 2007) en un trabajo realizado en la región semiárida pampeana sobre suelos Haplustoles observó una EB negativa en sitios poco profundos (limitados por tosca) y en sitios con altos contenidos de agua útil e influenciados por la napa. La relación negativa observada en el mencionado estudio entre la eficiencia de barbecho y los contenidos iniciales de agua útil presento un $r^2 = 0,76$ ($p < 0,05$) En estos estudios al realizar un balance de agua puede cometerse el error de asumir que toda el agua que excede la sección control fue evapotranspirada existiendo la posibilidad que una importante proporción del agua se pierda por infiltración profunda. Estos estudios reafirman la viabilidad de la inclusión de los CC en estos ambientes donde el agua normalmente no es un recurso limitante (Tabla 7).

Tabla 7: Eficiencia de barbecho para el tratamiento testigo (T) en función del momento de muestreo Mac= macollaje, Enc=encañazon y MF madurez fisiológica.

Año	Momento de muestreo	Tratamiento	Eficiencia de barbecho
2005	Mac.	T	12,6
	Enc.	T	11,5
	MF	T	6,9
2006	Mac.	T	Negativa
	Enc.	T	Negativa
	MF	T	Negativa

Captura de nutrientes:

La captura de C fue mayor en centeno independientemente del momento de evaluación (Tabla 8). Por su parte el contenido de nutrientes en biomasa aérea (N, P y S) mostró un comportamiento similar cuando se evaluó en el estadio de encañazón, mientras que en madurez fisiológica la avena presentó los mayores contenidos de N y S.

A medida que se atrasó el momento de secado, el centeno fue más ineficiente en la fijación de C alcanzando valores de $18,5 \text{ kg C. ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$. La avena y el rye grass aumentaron su eficiencia al postergar el momento del secado (Tabla 8). Cuando se calcularon las relaciones C/N las mismas fueron de 25, 27 y 24 y 25, 34, 23 para avena centeno y rye grass y los estadios de encañazón y madurez fisiológica respectivamente. Los resultados en centeno coinciden con los obtenidos en Pergamino por Restovich et al. (2008a) y en Entre Ríos por Ronconi et al. (2008). Estos autores trabajando con distintas especies de gramíneas observaron que a medida que se atrasó el momento del secado aumentó la relación C/N; la excepción podría ser el rye grass ya que al momento de detener su crecimiento no se encontraba aún en un estadio fenológico avanzado en comparación con el centeno que se encontraba en madurez fisiológica.

Tabla 8: Contenidos de carbono (C), Nitrógeno (N), Fósforo (F) y Azufre (S) en la biomasa vegetal, para los distintos tratamientos: Avena (A), Centeno (C) y Rye grass (R) en dos momentos de evaluación del año 2006. Enc.= encañazón, MF= madurez fisiológica. Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos para cada momento de muestreo.

Momento de muestreo	Tratamientos	Carbono (C)			N (kg ha ⁻¹)	P (kg ha ⁻¹)	S (kg ha ⁻¹)
		kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹ mm ⁻¹	kg ha ⁻¹ día ⁻¹			
Enc.	A	1744 b	9 b	12 b	69 b	6 b	5.5 ab
	C	2676 a	13.5 a	18.5 a	100 a	9 a	8 a
	R	927 c	5.5 c	6.5 c	39 c	3 c	3 b
MF	A	2826 b	8.5 b	17 b	111 a	11 a	8 a
	C	2938 a	9.5 a	17.5 a	85 ab	13 b	6 b
	R	1797 c	6 c	11 c	76 b	9 c	5 b

La Tabla 9 muestra los contenidos de C, N, P y S en MF, para los dos años de evaluación. Para ambos años el mayor contenido de nutrientes en la biomasa aérea correspondió al centeno seguido por la avena y el rye grass; las diferencias encontradas fueron estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

Tabla 9: Contenidos de carbono (C), Nitrógeno (N), Fósforo (F) y Azufre (S) en biomasa vegetal, para los distintos tratamientos: Avena (A), Centeno (C) y Rye grass (R) al momento de la madurez fisiológica en los dos años de estudio. Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos para cada año de muestreo.

Año de evaluación	Tratamiento	Carbono (C)			N (kg ha ⁻¹)	P (kg ha ⁻¹)	S (kg ha ⁻¹)
		kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹ mm ⁻¹	kg ha ⁻¹ día ⁻¹			
2005	A	3164 b	15,5 b	21 b	219 a	19 b	11,5 c
	C	4526 a	23 a	30 a	275 a	30 a	29 a
	R	2688 c	14 c	18 c	237 a	19 b	20 b
2006	A	2826 b	8,5 b	17 b	111 a	11 ^a	8 a
	C	2938 a	9,5 a	17,5 a	85 ab	13 b	6 b
	R	1797 c	6 c	11 c	76 b	9 c	5 b

Efectos sobre la resistencia a la penetración:

Otro aspecto que puede ser modificado al incluir los CC es la resistencia del suelo a la penetración (RP) como consecuencia de las variaciones en los contenidos hídricos por el UC de las diferentes especies. Los valores de RP, obtenidos al momento del secado de los CC y la humedad hasta los 40 cm de profundidad se muestran en la Figura 18. La RP varió entre 0,65 y 2,16 MPa para el tratamiento control y entre 2,28 y 5,30 MPa para los tratamientos con CC. Las variaciones registradas en los valores de RP fueron explicados en un 75 % por variaciones en el contenido de humedad del suelo. La RP fue

significativamente más alta bajo CC que en el testigo ($p < 0,05$), superando en algunos casos el valor de 2 Mpa, límite crítico por encima del cual es afectada la proliferación radicular de los cultivos (Gruppa y Allmaras, 1987 y Hamblin, 1985 citados por Drganc et al., 2000). Los menores valores fueron registrados bajo rye grass debido principalmente al mayor contenido hídrico del suelo al momento de la evaluación (Figura 18). De esta manera se confirmó que existe una estrecha relación entre RP y contenido de humedad ($p < 0,05$) con un $r^2 = 0,75$ en los primeros 10 cm y $r^2 = 0,77$ de 10 a 20 cm (Figura 19).

Para minimizar el error de las variaciones en el contenido de agua, Unger y Jones (1998) utilizaron el contenido de agua y la DA como variables independientes en suelos franco-arcillosos bajo labranza reducida y SD. En el caso de la labranza reducida, ambas variables explicaron entre un 80 y un 86 % de la variación de RP. En SD, la humedad del suelo fue el principal factor determinante, explicando entre el 60 y el 92 % de la variación en la RP. Los mismos autores concluyeron que los bioporos minimizan los efectos de la DA en el caso de la SD, y que los suelos desarrollan una estructura rígida, independiente de la DA en este sistema.

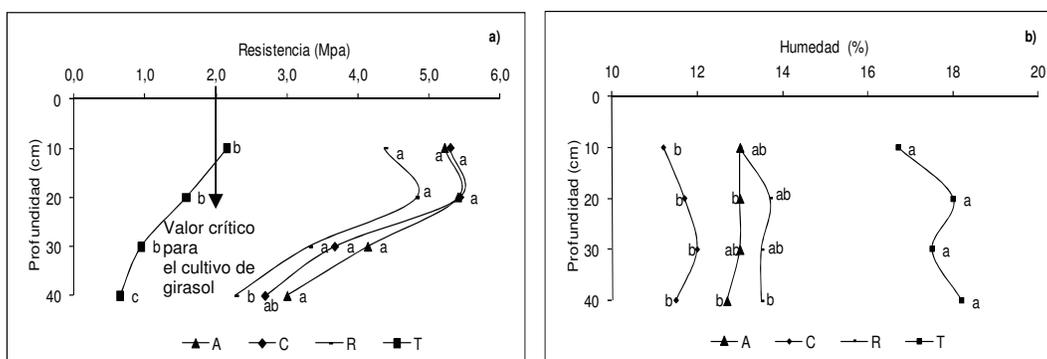


Figura 18: Resistencia a la penetración al momento del secado de los cultivos de cobertura y el contenido de humedad (figuras a y b respectivamente) para los distintos tratamientos: Avena (A), Centeno (C), Rye grass (R) y Testigo (T). Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos para cada profundidad de muestreo.

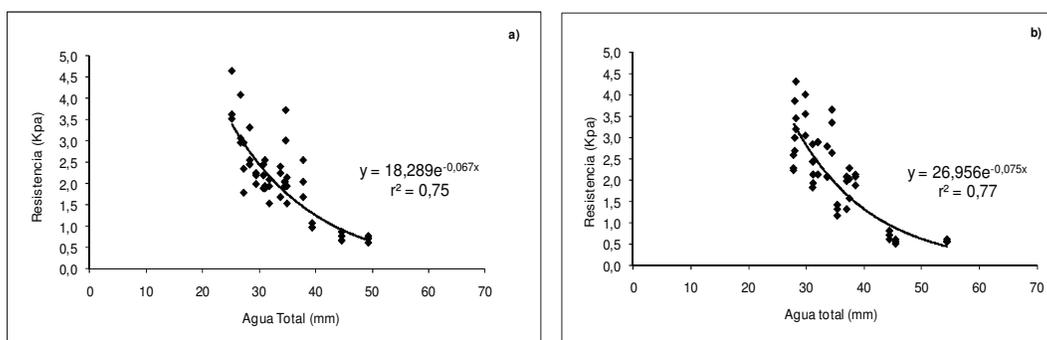


Figura 19: Resistencia a la penetración en función del contenido de humedad al momento del secado de los cultivos de cobertura: a) 0-10 cm y b) 10-20 cm de profundidad del perfil.

En diferentes estudios se desarrollaron modelos de regresión que relacionan la RP con el contenido de agua. Estos modelos son habitualmente suelo-específicos (Busscher et al., 1997). Por ejemplo, en suelos con 77 % de arena en el horizonte superficial, el agua del suelo explicó el 71 % de la variación de la RP a través de un modelo de regresión lineal (Krüger, 1996).

Vepraskas (1988) desarrolló distintos modelos para estimar la RP en suelos de textura gruesa en función de la DA y el porcentaje de arena muy fina, logrando explicar el 74 % de la variación en la RP. Expresan que debido al limitado rango de humedad utilizado en las determinaciones, esta variable no fue contemplada en el modelo. Pabin et al. (1998) desarrollaron un modelo que explicó el 66% de la variación en la RP en un rango de texturas desde franco a franco-arenosa. Las variables independientes utilizadas en este caso fueron: el porcentaje de limo, el porcentaje de limo + arcilla (fracción menor de 60 μm), la DA y el contenido de agua. No obstante, Mapfumo y Chanasyk (1998) no obtuvieron una correlación significativa entre RP y contenido de agua en suelos franco-arenosos y francos, pero sí una correlación positiva con la DA. Estos autores atribuyeron el resultado obtenido al bajo efecto lubricante del agua en los granos entremezclados de arena y a una elevada fricción en la determinación de la RP. En suelos arcillosos, una mayor capacidad de retención de agua y menores coeficientes de fricción determinaron relaciones significativas entre RP y contenido de agua. Estos resultados coinciden con estudios realizados por Chaudhary et al. (1985) en India en suelos francos y franco arenosos. En nuestro país, Cáceres Díaz et al. (2008) observaron en suelos Haplustoles Óxicos y Argiacuoles Verticos de la provincia de Chaco que la inclusión de CC [sorgo, soja y moha (*Setaria italica*)] no presentó diferencias significativas en el índice de cono respecto de un tratamiento testigo con monocultivo de algodón (*Gossypium hirsutum* L.).

Efecto sobre la dinámica del nitrógeno:

La Figura 20 muestra la evolución de los contenidos de N del suelo durante el desarrollo de los CC. Excepto en la especie rye grass, el tratamiento testigo siempre se caracterizó por tener un mayor contenido de N en el suelo que los demás tratamientos evaluados ($p < 0,05$). Esto se atribuiría a que el tratamiento testigo permaneció durante el periodo de barbecho libre de vegetación viva. Similares resultados fueron obtenidos por Nyakatawa et al. (2001) sobre un Paleudult Típico franco limoso en el norte de Alabama (USA) y por Quiroga et al. (1999b) sobre Haplustoles Énticos de la región semiárida pampeana en Argentina.

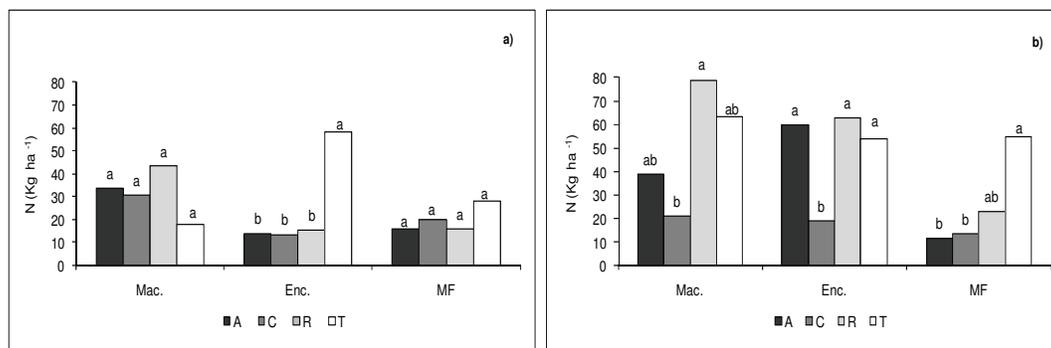


Figura 20: Contenido de nitrógeno en el suelo en los primeros 0-60 cm del perfil. En función del momento de muestreo Mac.= macollaje, Enc.=encañazón y MF= madurez fisiológica, para los distintos tratamientos Avena (A), Centeno (C), Rye grass (R) y Testigo (T). a) año 2005 b) año 2006. Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos para cada momento de muestreo.

En la Figuras 21 y 22 se puede observar cómo al sumar el N edáfico más el N vegetal los contenidos de este nutriente superan en todos los casos al tratamiento testigo. Una explicación a este comportamiento sería que en el tratamiento testigo, libre de vegetación, ocurren pérdidas por lixiviación en profundidad durante el periodo de barbecho. Mientras que en los tratamientos con CC los mismos incorporan a su biomasa parte del nitrógeno potencialmente lixiviable y lo dejan en la superficie en una forma orgánica tornándose disponible en el mediano plazo.

Reicosky y Archer (2005) mencionan que un aspecto positivo de esta práctica es que el N orgánico se utiliza más eficientemente que el N inorgánico cuando éste se incorpora como un fertilizante químico. Fernández et al. (2005) coinciden en la importancia de esta práctica en la zona de la planicie medanosa en la provincia de La Pampa, comprobando en sus estudios valores de 100 y de 40 kg. ha⁻¹ de N en la biomasa aérea del centeno y del rye grass, respectivamente. Meisinger et al. (1991), Mc Cracken et al. (1994), Kuo et al. (1997) citados por Sainju et al. (2007) reportaron que los CC de especies no leguminosas contribuyeron a la captura del N residual del suelo después de la cosecha del grano evitando de esta manera la lixiviación hacia capas profundas. Por su parte Strock et al. (2004) registraron pérdidas de NO₃⁻ por lixiviación en un suelo moderadamente bien drenado, que se redujo en un 13 % en una rotación maíz- soja cuando se intercaló un cultivo de centeno durante el periodo de barbecho.

En los distintos años y momentos evaluados la cantidad de N total (N del suelo + N vegetal) para el tratamiento con rye grass fue menor respecto a las otras especies y esto podría estar directamente relacionado con su menor precocidad. No obstante Shipley et al. (1992) citados por Restovich et al. (2008a) afirman que esta especie puede llegar a tener un 33 % del nitrógeno total en la biomasa radicular (que en este estudio no fue cuantificada) poniendo a esta especie en una situación diferente frente a la avena y el centeno.

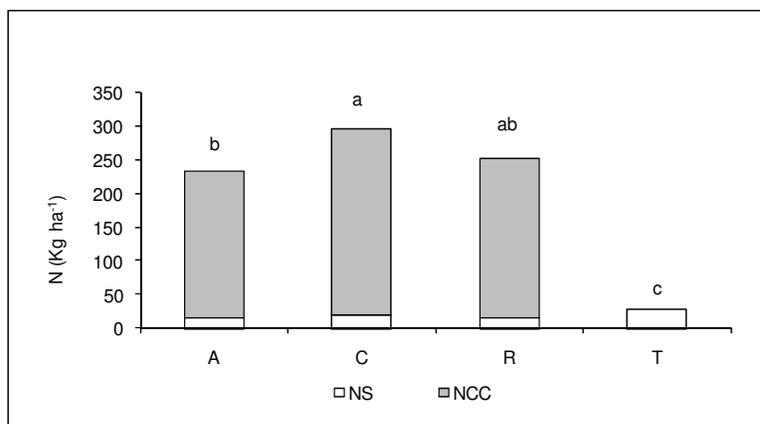


Figura 21: Año 2005. Contenido de nitrógeno al momento de secar los cultivos de cobertura (CC). (Ns) = Contenido de nitrógeno del suelo (0-60 cm) para los distintos tratamientos. (NCC)= Contenido de nitrógeno aportado por la biomasa producida por los cultivos de cobertura. Avena (A), Centeno (C), Rye grass (R) y Testigo (T). Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.

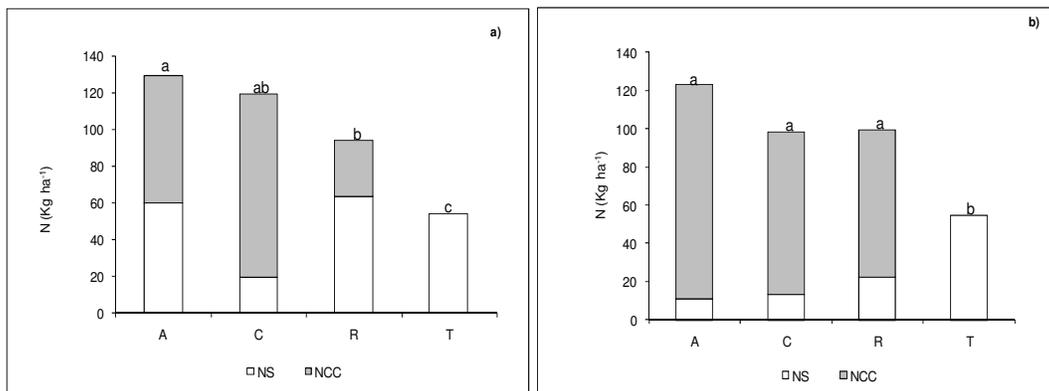


Figura 22: Año 2006. Contenido de nitrógeno (Ns) = Contenido de nitrógeno del suelo (0-60 cm). (NCC)= Contenido de nitrógeno aportado por la biomasa producida por los cultivos de cobertura. Avena (A), Centeno (C), Rye grass (R) y Testigo (T). a) Encañazón y b) Madurez fisiológica. Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos para cada momento de muestreo.

Efectos sobre el rendimiento de soja:

La producción de materia seca de soja en el estadio de R2 varió entre 2824 y 3834 kg ha⁻¹ para el tratamiento testigo y entre 5016 y 5774 kg ha⁻¹ para los CC en las campañas 2005/2006 y 2006/2007 respectivamente. Se observaron diferencias significativas solamente en la campaña 2005/2006 donde la materia seca evaluada sobre el antecesor rye grass fue significativamente menor que los demás tratamientos evaluados (Tabla 10).

Durante la campaña 2006/2007 tanto el número de plantas como el peso de mil granos fue mayor con respecto a la campaña anterior sin registrarse diferencias significativas entre tratamientos dentro de las mismas (Tabla 10).

Numerosos autores hacen referencia a menores contenidos de humedad y N disponible en el suelo al finalizar el ciclo del CC pero no presentan datos de la evolución de estas variables durante el cultivo sucesor. En general se comprueba que no existe estrecha relación entre la condición edáfica al momento de secar los CC y el comportamiento del cultivo sucesor. El contenido agua edáfica y de N al final del ciclo de los CC en la mayoría de los estudios fue igual o menor en los tratamientos que incluyen CC respecto del testigo (Sá Pereira et al., 2008; Restovich et al., 2008b; Ronconi et al., 2008 y Carfagno et al., 2008). No obstante, cuando se evaluó el rendimiento del cultivo siguiente se han encontrado valores iguales o mayores en aquellos tratamientos que incluían CC como antecesores (Capurro, et al., 2005, Álvarez et al., 2006, Fernández et al., 2007) En la presente tesis se comprueba que los rendimientos de grano del cultivo de soja variaron entre 4990 y 5418 kg ha⁻¹ y entre 4771 y 5345 kg ha⁻¹ para las campañas 2005/2006 y 2006/2007 respectivamente, no registrándose diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 10).

Tabla 10: Rendimiento de grano del cultivo de soja que sucedió a los tratamientos testigo y con cultivos de cobertura en la rotación. Avena (A), Centeno (C), Rye grass (R) y Testigo (T). Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos para cada campaña.

Campaña	Tratamientos	Plantas m ⁻²	Materia seca R2 kg ha ⁻¹	Granos m ⁻²	Peso de mil granos	Rendimiento kg ha ⁻¹
2005/2006	C	38 a	3364 ab	3574 a	152 a	5418 a
	A	43 a	3462 ab	3585 a	139 a	4990 a
	R	42 a	2824 b	3581 a	149 a	5343 a
	T	44 a	3834 a	3758 a	140 a	5240 a
2006/2007	C	62 a	5060 a	2800 a	191 a	5345 a
	A	64 a	5311 a	2660 a	199 a	5276 a
	R	58 a	5016 a	2603 a	203 a	5267 a
	T	62 a	5774 a	2467 a	193 a	4771 a

Conclusión:

Los resultados obtenidos sobre un suelo de régimen hídrico Udico confirman que la inclusión de CC permite alcanzar una serie de objetivos sin afectar negativamente el rendimiento de soja. El consumo de agua de la napa, genera condiciones para mejor transitabilidad, que en muchos casos condiciona el desarrollo de la práctica de siembra directa (presencia de huellas generadas por los rodados de la maquinaria agrícola que debían ser eliminadas por medio del uso de labranza convencional). Además constituye un importante aporte de C, el cual varió entre las diferentes especies y entre los distintos años. Sin

embargo la especie centeno aparece como la más promisoría y eficiente para alcanzar los objetivos propuestos. Esta especie reunió las principales características buscadas como volumen y precocidad que se cumplieron solo parcialmente con el rye grass y con la avena debido principalmente a la mayor longitud de sus ciclos. Otro aspecto no menos relevante fue la “captura” de N inorgánico del suelo en la biomasa lo cual puede inferirse que daría lugar a menores pérdidas por lixiviación. Los contenidos de N en biomasa del centeno variaron entre 275 y 100 kg ha⁻¹ para el primer y segundo año de estudio, respectivamente.

General Villegas.

Esta región se localiza al oeste del sitio Pinto y presenta mayores limitaciones en cuanto a la disponibilidad de agua para los cultivos y una gran variabilidad en la capacidad de retención de agua (CRA) de los suelos. Además, la presencia de consociaciones de suelos, que en la mayoría de los casos no siguen un patrón regular de distribución, limitan el manejo por ambientes homogéneos dentro de un mismo lote de producción. Variaciones en el relieve determinan la aparición de diferentes consociaciones de suelos. Cuando el relieve es suavemente ondulado y disminuye el espesor de la cobertura arenosa los suelos clasifican como Hapludoles Thapto-árgicos (HTA). En éstos, no solo varía la profundidad al horizonte Bt, sino que también cambia el espesor del horizonte argílico siendo el mismo además variable en su granulometría, acomplejándose en algunos casos con concentraciones importantes de los iones sodio y/o calcio, que en exceso pueden provocar en unos casos dispersión y en otros concreciones granuladas o planchas de CaCO_3 . Son suelos de textura franca, pH débilmente ácido y con bajos contenidos de MO, apoyados en forma abrupta sobre depósitos de materiales finos franco arcillo limosos moderadamente alcalinos. Estos suelos están clasificados en capacidad de uso III, IV ó V. En general la presencia de esta capa subsuperficial enriquecida con partículas finas (horizonte thapto) altera el movimiento de agua en el perfil, el consumo de nutrientes y además algunas veces favorece el desarrollo de procesos de salinización y de alcalinización y limita el normal crecimiento de las raíces. Estos factores se conjugan para determinar el potencial productivo de las tierras, muy heterogéneo en el paisaje y a nivel de potrero. El manejo uniforme de cultivos (sin considerar diferencias de ambientes) no solo produce disparidad en los rendimientos y disminución de la rentabilidad, sino que también desencadena procesos de degradación de los suelos sometidos a usos y manejos no adecuados. La tendencia en esta zona es a una agriculturización con distintos niveles de riesgo y a la degradación de la calidad del ambiente por el mal manejo (en el 60 % de la superficie se realiza cultivo de soja). Estos efectos negativos señalados se podrían mitigar con la inclusión de CC. A continuación se analizan los resultados obtenidos en este sitio.

Efectos sobre la dinámica de agua:

Cuando se cuantificó el agua total en el perfil, discriminando por profundidad (0-60 y 60-140 cm) solo se observaron diferencias significativas en la parte superficial del perfil entre CC y testigo. Se comprobó además que en los estados de madurez fisiológica de los CC y próximo a la siembra del cultivo de soja, los contenidos hídricos de los perfiles bajo CC descendieron hasta valores cercanos al PMP, resultando entre 39 % y 43 % inferiores respecto del tratamiento testigo (Figura 23 y 24). Similares resultados fueron obtenidos por

Zhu et al. (1991) trabajando en un Alfisol de textura franco fina limosa, del estado de Missouri (USA), registrando disminuciones en la disponibilidad de agua del 39 % solamente en la parte superficial del perfil. Las diferencias que resultaron crecientes a lo largo del desarrollo de los CC alcanzaron un máximo a madurez fisiológica dado principalmente por el uso consuntivo de los mismos y las escasas precipitaciones que resultaron insuficientes para la recarga del perfil. Principalmente durante el ciclo 2006 donde las mismas resultaron un 70 % inferiores a las ocurridas en el año 2005 (Figura 25 a y b). Resultados similares han sido reportados por Álvarez et al. (2008) en Hapludoles Típicos del noroeste bonaerense, Fernández et al. (2005) y Carfagno et al. (2008) en Haplustoles de la región semiárida pampeana y Ronconi et al. (2008) en suelos Peluderte Argiudólicos de la provincia de Entre Ríos.

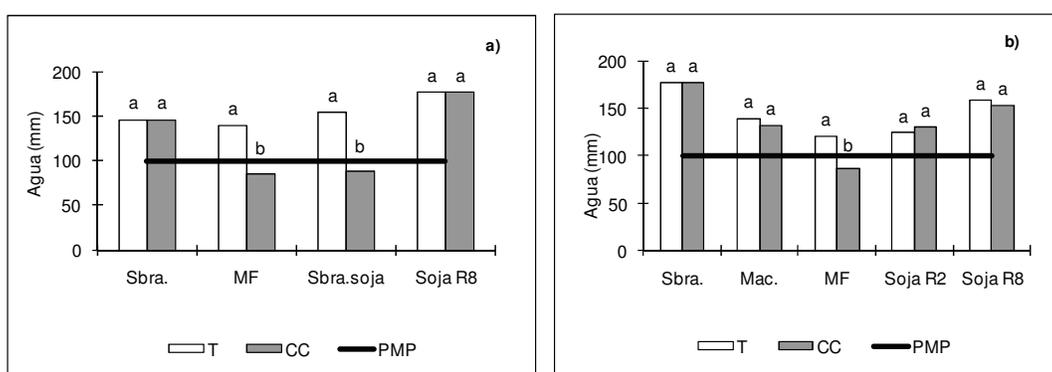


Figura 23: Contenido de agua total a una profundidad de 0-60 cm para el tratamiento testigo (T) y el promedio de los cultivos de cobertura (CC); PMP corresponde al punto de marchitez permanente, Sbra= siembra de los CC, Mac.= macollaje de los CC, MF= madurez fisiológica de los CC. a) año 2005 b) año 2006. Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos T y CC para cada momento de muestreo.

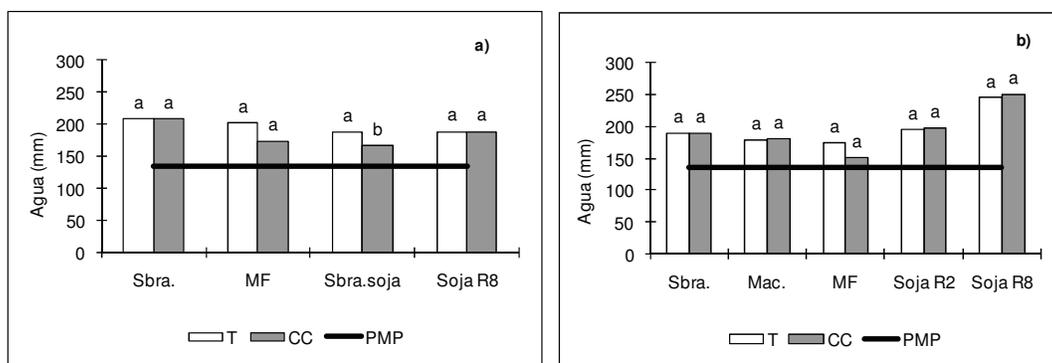


Figura 24: Contenido de agua total a una profundidad de 60-140 cm. para el tratamiento testigo (T) y el promedio de los cultivos de cobertura (CC); PMP corresponde al punto de marchitez permanente. Sbra= siembra de los CC, Mac.= macollaje de los CC, MF= madurez fisiológica de los CC. a) año 2005 b) año 2006. Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos T y CC para cada momento de muestreo.

En relación con la distribución del agua en el perfil se comprobó, que si bien a la siembra de los CC la misma resultó similar para 2005 (354 mm) y 2006 (366 mm), en este último año el desarrollo inicial se vio favorecido dado que los

primeros 60 cm se encontraban con humedad cercana a capacidad de campo disminuyendo a un 50 % de agua útil en profundidad. Mientras que en 2005 la parte superior del perfil se encontraba con un contenido del 40 al 60 % del agua útil aumentando en profundidad hasta alcanzar valores cercanos a la capacidad de campo a los 140 cm. (Figura 26 a y b).

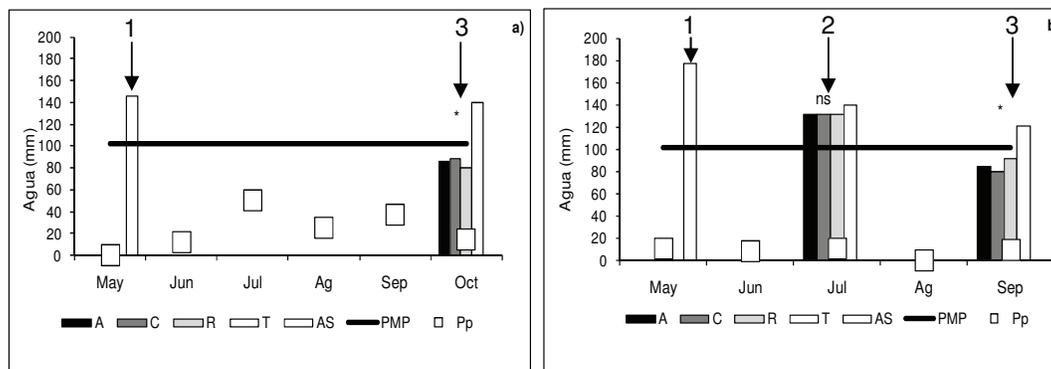


Figura 25: Contenido de agua total a una profundidad de 0-60 cm para los tratamientos Avena (A), Centeno (C), Rye grass (R) y Testigo (T). AS = agua total a la siembra de los cultivos de cobertura (CC) PMP = punto de marchitez permanente y Pp= precipitaciones mensuales durante el periodo de crecimiento de los CC; 1 = siembra de los CC, 2.= macollaje de los CC, 3 = madurez fisiológica de los CC. a) año 2005 y b) año 2006. ns= diferencias no significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos para cada momento de muestreo, *= diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos para cada momento de muestreo.

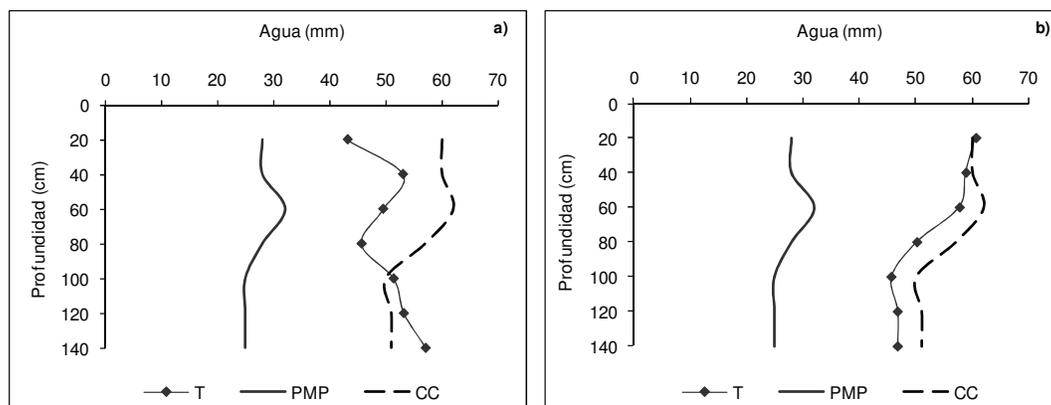


Figura 26: Contenido de agua del suelo testigo (T) al momento de la siembra de los cultivos de cobertura, PMP = punto de marchitez permanente, CC = capacidad de campo. a) Año 2005 y b) Año 2006.

Cuando se analizan los perfiles hídricos a madurez fisiológica, estado fenológico de los CC donde se alcanzan las mayores diferencias entre tratamientos, se comprobó similar tendencia en ambos años. En las 3 especies los contenidos hídricos superficiales descendieron hasta valores cercanos al PMP hasta los 80-100 cm de profundidad para centeno, avena y rye grass, con diferencias significativas respecto del testigo. Durante el segundo año se comprobó una mayor diferencia en los perfiles hídricos entre especies, asociado a un menor uso consuntivo para el rye grass (143 mm) y mayor para el centeno (170 mm) (Figura 27)

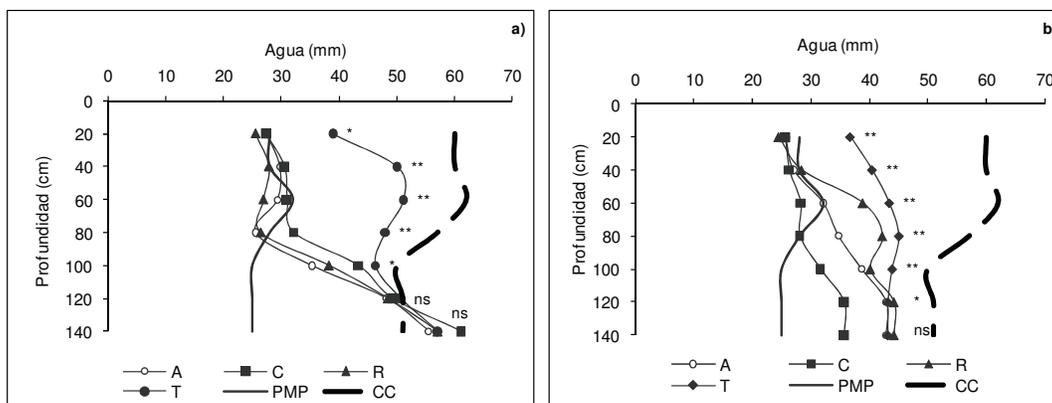


Figura 27: Contenido de agua del suelo al momento de la madurez fisiológica de los cultivos de cobertura para los tratamientos: Avena (A), Centeno (C), Rye grass (R) y Testigo (T). PMP = punto de marchitez permanente, CC = capacidad de campo. a) Año 2005 y b) Año 2006. ns= diferencias no significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos para cada profundidad de muestreo, *= diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos para cada profundidad de muestreo y **= diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) entre tratamientos para cada profundidad de muestreo.

En determinaciones realizadas en los estadios **R1 y R8** de soja no se comprobaron diferencias significativas en los contenidos hídricos entre tratamientos, en ambos años las precipitaciones de octubre-noviembre superaron los 200 mm favoreciendo la recarga del perfil y anulando las diferencias registradas a madurez fisiológica de los CC.

Producción de Materia seca de los CC:

La producción de materia seca en 2005 osciló entre 3800 y 6124 kg. ha⁻¹ no encontrándose diferencias significativas entre avena y centeno pero si con respecto al rye grass. En 2006 las tres especies evaluadas difirieron entre si, siendo el centeno la especie de mayor producción (3670 kg ha⁻¹) seguido por avena (2086 kg ha⁻¹) y rye grass (1226 kg ha⁻¹) (Figura 28). Esta misma tendencia en la producción de biomasa área fue registrada por Carfagno et al. (2008), en estudios sobre Hapludoles y Haplustoles de la región semiárida pampeana. Los autores destacan el comportamiento del centeno por los elevados aportes de biomasa. Es importante analizar estas diferencias entre especies a partir de las tasas de crecimiento diario. En 2005 resultaron de 38,5, 39 y 24 kg de materia seca ha⁻¹ día⁻¹ y en 2006 13,3, 23,4 y 7,8 kg de materia seca ha⁻¹ día⁻¹ para avena centeno y rye grass, respectivamente. Las variaciones entre años estarían dadas por diferencias en las precipitaciones durante el ciclo de los CC. Resulta importante destacar la mayor producción del centeno durante un periodo con restricciones hídricas y la importante disminución en la producción de biomasa de la avena y el rye grass (Figura 28). Este comportamiento frente a cambios en el régimen hídrico también fue comprobado por Zhu et al. (1991) en estudios conducidos sobre Alfisoles de textura franco limosa.

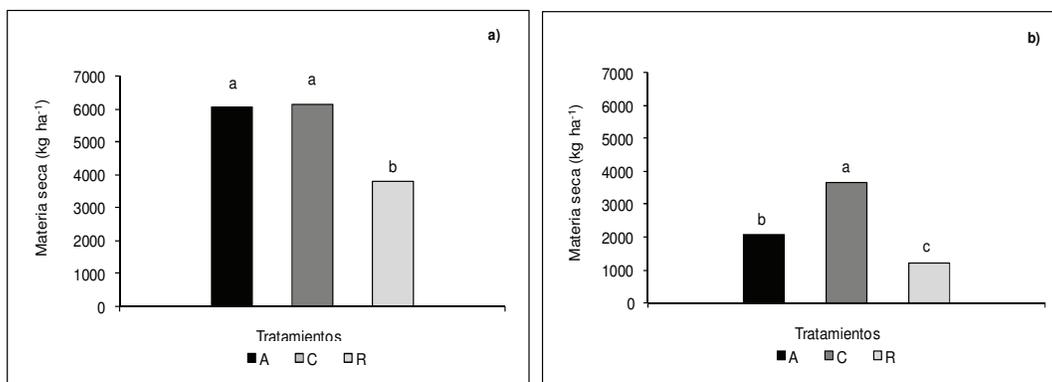


Figura 28: Biomasa aérea producida al momento de interrumpir el ciclo de los cultivos de cobertura: Avena (A), centeno (C) y rye grass (R). a) Año 2005 b) Año 2006.

Uso consuntivo y Eficiencia de uso de agua:

Los valores de UC calculados hasta el estadio de madurez fisiológica variaron entre 204 y 219 mm (2005), y entre 143 y 170 mm (2006) comprobándose diferencias significativas entre especies (Figuras 29). Las EUA oscilaron entre 18 y 30 kg de materia seca ha⁻¹ mm⁻¹ en 2005 y entre 9 y 21 kg de materia seca ha⁻¹ mm⁻¹ para el año 2006. El centeno presentó, en ambos años, las mayores eficiencias con diferencias significativas respecto de la avena y el rye grass (Figura 30).

Eficiencia de barbecho:

En cuanto al tratamiento testigo (sin CC) se registraron bajas EB, cercanas a 0 en 2005 y negativas en 2006. Estos resultados permiten inferir sobre la posibilidad de un uso estratégico del agua pluvial durante barbechos largos para capturar carbono, mejorar el balance de MO y reducir pérdidas de nutrientes por lixiviación.

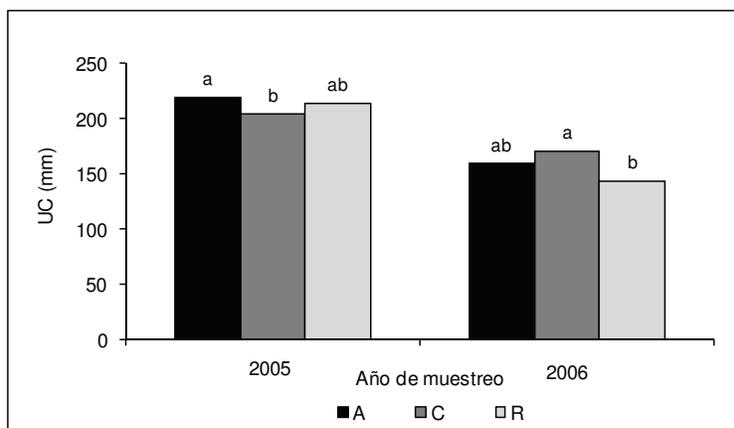


Figura 29: Uso consuntivo (UC) para los distintos cultivos de cobertura, Avena (A), Centeno (C) y Rye grass (R) en el estadio de madurez fisiológica, en función del año de muestreo. Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos para cada momento de muestreo.

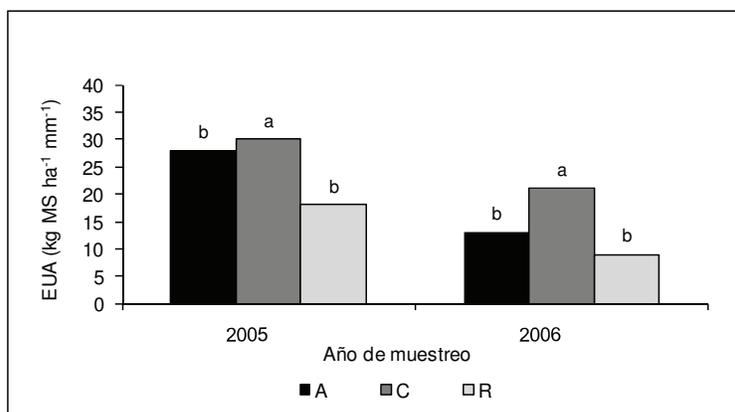


Figura 30: Eficiencia en el uso del agua (EUA) para los distintos cultivos de cobertura, Avena (A), Centeno (C) y Rye grass (R) en el estadio de madurez fisiológica. Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos para cada momento de muestreo.

Captura de nutrientes:

Los contenidos de nutrientes que surgen del análisis realizado en la biomasa aérea de cada especie se presentan en la Tabla 11. El centeno fue la especie que registró los valores más altos en los distintos parámetros de calidad evaluados. Los contenidos de C (42 %) y N (2 a 3 %) resultaron coincidentes con los obtenidos por Restovich et al. (2008a), quienes determinaron para gramíneas valores de 41 % de C y de 3,4 a 2,1 % N. Por su parte los contenidos de N en biomasa variaron entre 29 y 79 kg ha⁻¹, valores que resultan similares a los obtenidos en centeno (25 a 75 kg ha⁻¹) por Smith et al. (1987). La relación C/N fue similar entre especies, alcanzando valores promedios de 32 para 2005 y de 22 para 2006 y estos valores concuerdan con los obtenidos en centeno por Kuo y Eric (2002) quienes registraron relaciones C/N de 25.7 para un promedio de 4 años de estudio. De los estudios realizados por Odhiambo y Bomke (2001), puede inferirse que la mayor relación C/N en 2005 estaría relacionada con la mayor producción de biomasa y captura de C teniendo lugar cierto efecto de dilución de N respecto de los valores observados 2006. Esta afirmación sería correcta en la medida que el momento de secado de los CC haya tenido lugar en un mismo estado fenológico. Cuando esto no sucede pueden tener lugar variaciones en la relación C/N tal lo observado por Ranells y Waggoner (1997). En este estudio realizado en Carolina del Norte (USA) se comprobó que asociado a distintos momentos de interrupción del ciclo de centeno, la relación C/N varió entre 18, 31, y 38 para los estadios de inicio de macollaje, pleno macollaje y floración, respectivamente.

Tabla 11: Contenidos de carbono (C), Nitrógeno (N), Fósforo (F) y Azufre (S). Para los distintos tratamientos Avena (A), Centeno (C) y Rye grass (R) en dos años de evaluación 2005 y 2006. Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos para cada año.

Año de muestreo	Tratamientos	C			N	P	S
		kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹ mm ⁻¹	kg ha ⁻¹ día ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹
2005	A	2583 a	11.8 a	16.3 a	79 a	6 a	5.5 a
	C	2627 a	12.9 a	16.6 a	78 a	6 a	6.0 a
	R	1589 b	7.1 b	10.0 b	55 a	5 a	5.0 a
2006	A	880 b	5.5 b	5.6 b	42 b	2 b	1.9 b
	C	1574 a	9.2 a	10.0 a	56 a	5 a	2.8 a
	R	503 c	3.5 c	3.2 c	29 c	1 c	1.3 b

Efectos sobre la resistencia a la penetración:

Los valores de resistencia a la penetración (RP) obtenidos al momento del secado de los CC y los porcentajes de humedad se muestran en la Figura 31 a y b. La RP varió entre 0,94 y 3,56 Mpa para el tratamiento control y entre 1,69 y 6,18 Mpa para los CC. Estas diferencias significativas ($p < 0,05$) registradas entre el testigo y los tratamientos con CC son explicadas en gran parte por la humedad del suelo al momento de la evaluación: en un 28 % para la profundidad 0-10 y un 53 % para la profundidad 10-20 cm (Figura 32 a y b). Cuando se analizan en conjunto los resultados obtenidos al momento de secado de los CC y los correspondientes a determinaciones realizadas en el estadio R8 de soja se comprueba que más del 70 % de la variación en la RP está dada por variaciones en los contenidos hídricos de los suelos (Figura 33 a y b). Estos resultados coinciden con estudios realizados por Krüger (1996) .

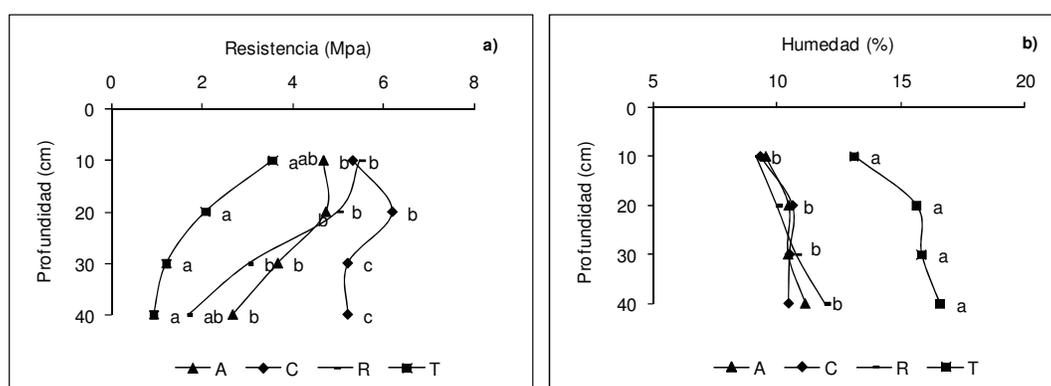


Figura 31: (a) Resistencia a la penetración al momento del secado de los cultivos de cobertura y (b) Humedad del suelo, para los tratamientos Avena (A), Centeno (C), Rye grass (R) y Testigo (T). Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos para cada profundidad de muestreo.

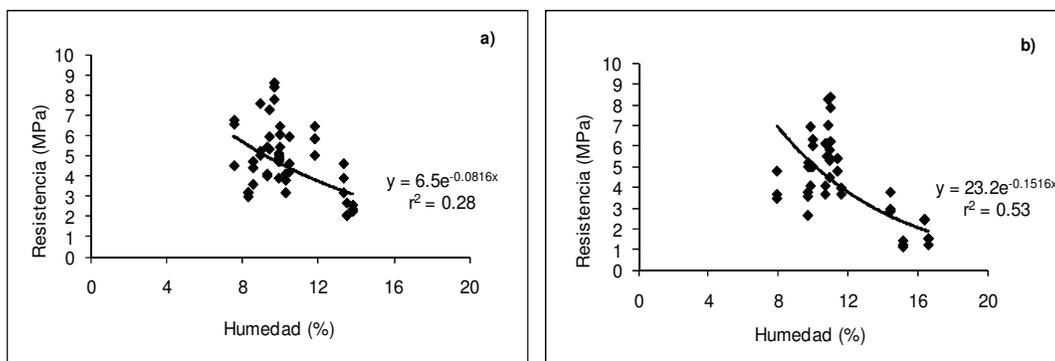


Figura 32: Resistencia a la penetración en función de la humedad del suelo al momento del secado de los cultivos de cobertura. a) 0-10 y b) 10-20 cm de profundidad del perfil.

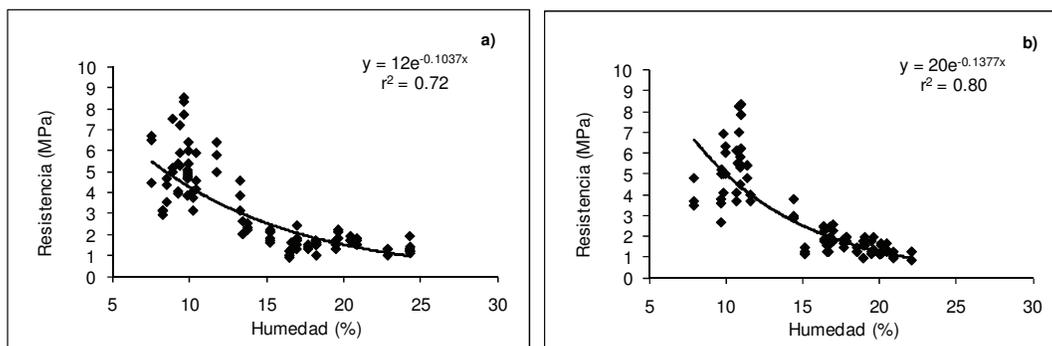


Figura 33: Resistencia a la penetración en función de la humedad del suelo al momento del secado de los cultivos de cobertura y en R8 de soja. a) 0-10 y b) 10-20 cm de profundidad.

Efecto sobre la dinámica de nitrógeno:

La Figura 34 muestra los contenidos de nitrógeno al momento de secado de los CC. Los mayores contenidos de N correspondieron al testigo, registrándose solo diferencias significativas en 2005.

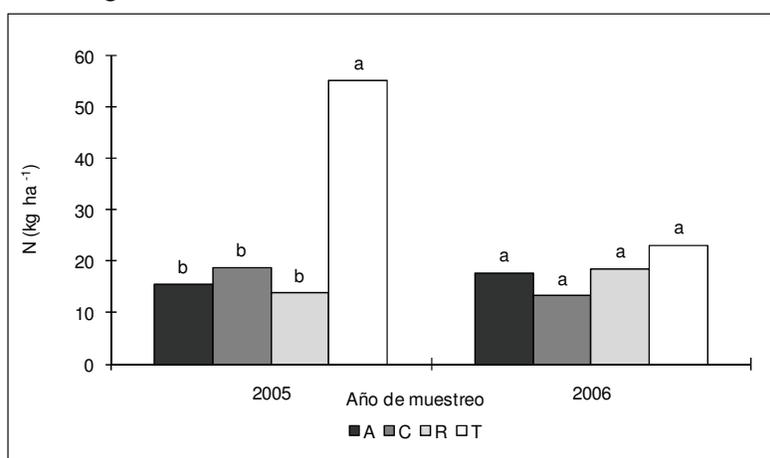


Figura 34: Contenido de nitrógeno en el suelo en los primeros 60 cm del perfil para los distintos tratamientos Avena (A), Centeno (C), Rye grass (R) y Testigo (T), evaluados en el estadio de madurez fisiológica en los dos años de muestreo. Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos para cada año de evaluación.

Los contenidos de N de nitratos en suelo más el N contenido en biomasa oscilaron entre 97 y 55 kg ha⁻¹ en 2005 y entre 60 y 23 kg ha⁻¹ en 2006 (Figura 35 a y b). Estos resultados permiten inferir sobre el importante uso de este nutriente por los CC, reduciendo de esta manera los riesgos de lixiviación, aspecto que constituye uno de los principales objetivos de la inclusión de CC en sistemas de agricultura continua.

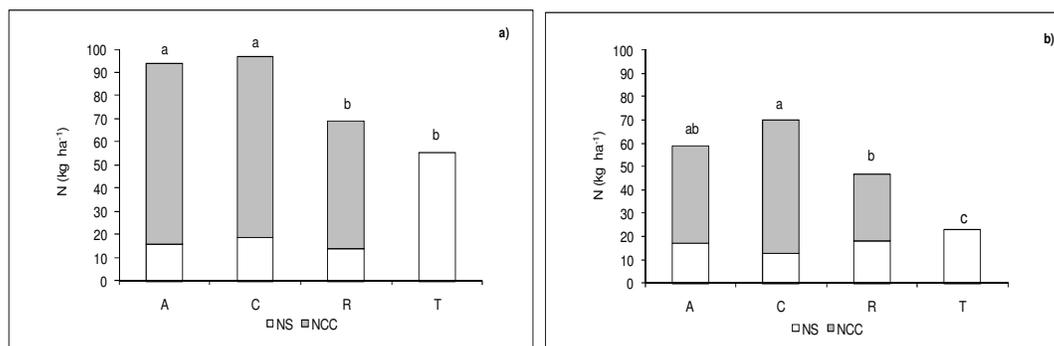


Figura 35. Contenido de nitrógeno al momento de secar los cultivos de cobertura (CC). (Ns) = Contenido de nitrógeno del suelo (0-60 cm) para los distintos tratamientos. (NCC)= Contenido de nitrógeno aportado por la biomasa producida por los CC. Avena (A), Centeno (C), Rye grass (R) y Testigo (T). a) Año 2005 y b) Año 2006. Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos para cada año de evaluación.

Efecto sobre la dinámica de malezas:

Las malezas predominantes en ambos periodos fueron las mismas, comprobándose variación de la proporción entre años: ortiga mansa (*Lamium amplexicaule*) 53 y 39%; perejilillo (*Bowlesia incana*) 11 y 17%; verónica (*Verónica sp*) 8 y 30%; pensamiento silvestre (*Viola tricolor*) 16 y 4%; Caapiqui (*Stellaria media*) 8 y 5% y bolsa del pastor (*Capsella bursa pastoris*) 4 y 5% en 2005 y 2006 respectivamente.

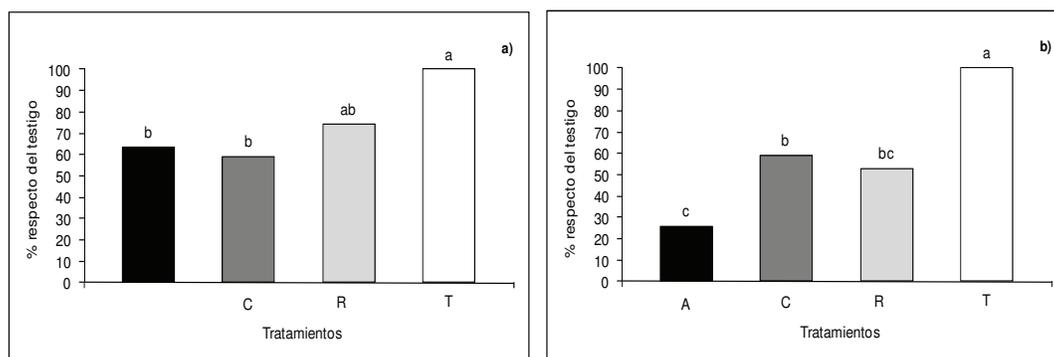


Figura 36: Malezas en los tratamientos con cultivos de cobertura en relación al tratamiento testigo (100%), Avena (A), Centeno (C), Rye grass (R) y Testigo (T), a) Año 2005 y b) Año 2006. Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos para cada año de evaluación.

En los dos años de evaluación los tratamientos con CC presentaron significativamente menos malezas que el testigo. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Sardiña et al. (2008) quienes en estudios desarrollados sobre un Haplustol Éntico (franco arenoso) de la región semiárida pampeana, comprobaron que la avena logró reducir el número de malezas dicotiledóneas en un 96 % y monocotiledóneas en 86% respecto de un tratamiento control (sin CC). Reicosky y Wames (1991) comprobaron similares resultados al incluir centeno en planteos de monocultivo de soja. En tanto que Fernández et al. (2007) en Haplustoles de la región semiárida pampeana también lograron reducir significativamente el número de malezas con la inclusión de rye grass como CC. Numerosos estudios muestran una relación entre cantidad de residuos en superficie y desarrollo de malezas. La Figura 37 muestra esta relación que resultó más significativa durante el segundo año, caracterizado por bajas precipitaciones. Fernández et al. (2007) encontraron una asociación similar entre número de malezas y el nivel de residuos de maíz durante el barbecho para cultivo de girasol.

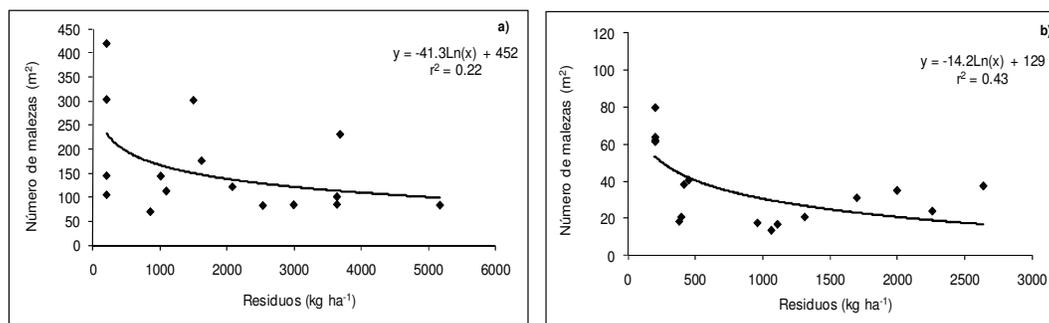


Figura 37: Número de malezas en función de los volúmenes de materia seca aportados por los cultivos de cobertura a) campaña 2005-2006 b) campaña 2006-2007.

Efectos sobre el rendimiento de soja:

La producción de materia seca de soja en R2 varió entre 1322 y 1929 kg ha⁻¹ y entre 4961 y 5517 kg ha⁻¹ para las campañas 2005 y 2006, respectivamente. Se registraron diferencias significativas en 2005 donde la materia seca evaluada sobre el testigo, si bien no difirió del antecesor centeno, fue significativamente mayor que los tratamientos con avena y rye grass (Tabla 12).

En relación con el rendimiento de grano, el mismo varió entre 2448 y 3620 kg ha⁻¹ y entre 3983 y 4730 kg ha⁻¹ para las campañas 2005 y 2006 respectivamente, no registrándose diferencias significativas entre los tratamientos. Excepto en la campaña 2005 en la que la soja sobre avena rindió significativamente menos ($p < 0,05$) que el resto de los tratamientos (Tabla 12).

Tabla 12: Rendimiento de grano de soja, materia seca y número de plantas por metro cuadrado en función de los distintos cultivos de cobertura antecesores, Avena (A), Centeno (C), Rye grass (R) y Testigo (T) Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos para cada campaña evaluada.

Campaña	Tratamientos	Plantas m ⁻²	Materia seca R2 kg ha ⁻¹	Granos m ⁻²	Peso de mil granos	Rendimiento kg ha ⁻¹
2005/2006	C	32.8 a	1545 ab	2042 a	171.70 a	3472 a
	A	35.1 a	1411 b	1534 a	172.01 a	2448 b
	R	36.8 a	1322 b	1876 a	167.08 a	3474 a
	T	35.5 a	1929 a	2124 a	164.84 a	3620 a
2006/2007	C	42.3 a	5517 a	3673 a	160.6 a	4730 a
	A	41.3 a	5270 a	3885 a	146.7 a	4561 a
	R	31.7 a	4961 a	3077 a	161.8 a	3983 a
	T	41.3 a	5446 a	3510 a	150.0 a	4209 a

Conclusión:

En este sitio los objetivos planteados al incluir CC fueron alcanzados en mayor grado por la especie centeno y parcialmente por la avena y el rye grass. Estas dos especies tuvieron un comportamiento aceptable durante el primer año (con un ciclo más húmedo) pero en el segundo año de evaluación fue centeno la única especie que presentó un volumen de biomasa considerable y significativamente mayor. Este comportamiento se vio reflejado en una mayor tasa de crecimiento y eficiencia de uso del agua.

Dorila.

Esta región se diferencia de las anteriores por presentar suelos con régimen Ustico. Además presenta una amplia variabilidad en la capacidad de retención de agua (CRA) de los suelos relacionada con el relieve (lomas y bajos de distinta textura) y/o por la aparición de un manto calcáreo a profundidades variables. Bajo este régimen de humedad las precipitaciones durante el ciclo de los cultivos no alcanzan para satisfacer los requerimientos de UC. El sitio en estudio está caracterizado por un perfil de suelo poco desarrollado (A, AC, C), con valores medios de MO (1,6 %), clasificándose dentro del orden de los Molisoles como Haplustol Éntico. En estos ambientes la inclusión de CC tiene por finalidad aumentar la cobertura superficial del suelo a fin de limitar los procesos erosivos (viento) y pérdidas directas de agua, aportando carbono para mantener y/o incrementar los niveles de MO, sin afectar el rendimiento del cultivo siguiente en la rotación.

En este sitio la experiencia se llevó a cabo en la campaña 2006 realizando las evaluaciones en los tratamientos testigo y centeno ya que la avena y el rye grass resultaron más sensibles al déficit hídrico y no desarrollaron de manera uniforme lo cual no posibilitó su objetiva evaluación.

Efecto sobre la dinámica de agua:

La Figura 38 a y b muestra la variación en el contenido hídrico del suelo en función del estadio fenológico del CC y del cultivo de soja. En la misma se observa que al momento de madurez fisiológica del CC en las profundidades de 0-60 y 60-140 cm del perfil los mayores contenidos de agua total fueron registrados en el tratamiento testigo encontrándose diferencias significativas entre éste y el CC ($p < 0,05$). Esto podría ser atribuido al consumo de agua por parte del CC. Al respecto Fernández et al. (2005) utilizando rye grass como CC en la región semiárida pampeana comprobaron una reducción importante en los contenidos de agua con respecto al tratamiento testigo. Por otra parte, Carfagno et al. (2008) en un suelo Haplustol Éntico de la región semiárida pampeana encontraron mayores contenidos de humedad volumétrica en el tratamiento sin cobertura y este presentaba diferencias significativas respecto de los tratamientos con centeno, avena y rye grass utilizados como CC. En tanto que Caviglia et al. (2007) trabajando con CC en un Argiudol Acuico de Paraná (Entre Ríos) encontró diferencias significativas entre el tratamiento avena utilizado como CC y el testigo, el cual tuvo pérdidas importantes de agua atribuibles al proceso de evaporación, por presentar menos cobertura.

En un muestreo realizado al momento de la siembra del cultivo de soja, en la profundidad de 60- 140 cm, la diferencia en el contenido hídrico del suelo fue de mayor magnitud que en el momento de madurez fisiológica, registrándose

los mayores valores de agua total sobre el tratamiento testigo encontrándose diferencias significativas ($p < 0,05$) entre éste y el tratamiento con CC (Figura 42 b). Por el contrario en la profundidad de 0-60 cm los mayores contenidos de agua total fueron registrados sobre el tratamiento con CC, no encontrándose diferencias con el testigo (Figura 38 a). Estas diferencias pueden ser explicadas por el mayor consumo de los CC en profundidad. En tanto que en los primeros 60 cm del perfil, el contenido hídrico fue mayor en el tratamiento con CC, debido posiblemente a las precipitaciones registradas en el periodo que fue desde madurez fisiológica a siembra de soja (115 mm) sumado a una mejora en la cobertura la cual reduce la evaporación y favorece la captación y retención de agua en el perfil, respecto del tratamiento testigo. En estadio de R2 del cultivo de soja el contenido hídrico del suelo en el tratamiento con CC alcanzó valores cercanos al PMP en todo el perfil. Esto podría explicarse por un mayor desarrollo por parte del cultivo de soja en este tratamiento. Por el contrario en el estadio de R8 el contenido hídrico de ambos perfiles alcanzó valores cercanos al 80 % de agua útil, debido a las importantes precipitaciones (315 mm) registradas en el periodo comprendido entre R2 y R8 (Figura 38: a y b).

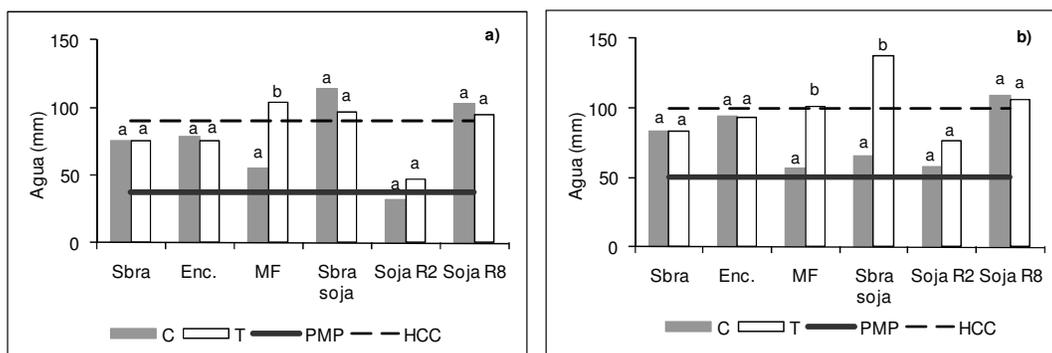


Figura 38: Contenido de agua total para el tratamiento testigo (T) y centeno (C) utilizado como cultivo de cobertura (CC), HCC=humedad a capacidad de campo PMP= humedad de punto de marchites permanente. Sbra= siembra del CC, Mac.= macollaje del CC, Enc.= encañazon del CC, MF= madurez fisiológica del CC. a) Corresponde a la profundidad de 0-60 cm y b) 60- 140 cm. Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos para cada momento de muestreo.

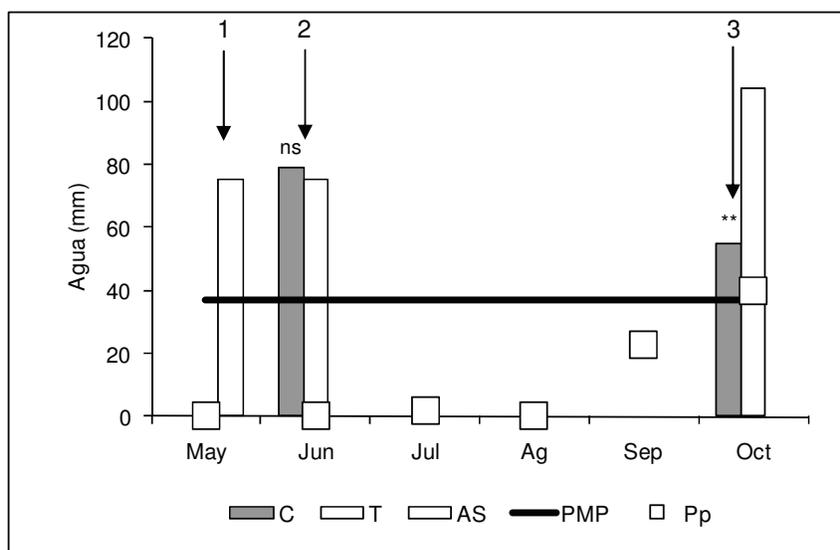


Figura 39: Contenido de agua total de 0-60 cm de profundidad para los tratamientos Centeno (C) y Testigo (T), AS = agua total a la siembra del C, PMP = punto de marchites permanente y Pp= precipitaciones mensuales durante el periodo de crecimiento del C. 1 = siembra del C, 2= macollaje del C, 3 = madurez fisiológica del C. Año 2006. ns= diferencias no significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos para cada momento de muestreo, **= diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre tratamientos para cada momento de muestreo.

Cuando se analizaron los contenidos de agua total discriminando en capas de 20 cm de espesor, se pudo establecer cierto grado de relación con el consumo por parte de los cultivos. En el muestreo realizado en macollaje del centeno los contenidos de agua total de este tratamiento variaron de 22 a 28 mm mientras que para el testigo los valores fueron 21 a 28 mm. Esto se puede atribuir a los bajos consumos de agua que la especie tiene hasta este estadio fenológico, (Figura 40 a). En el siguiente muestreo (Figura 40 b) correspondiente a madurez fisiológica del cultivo de centeno, los contenidos de agua total variaron entre 14 y 38 mm, encontrándose diferencias significativas entre los tratamientos en todos los espesores evaluados, a excepción de la capa que va de 40 a 60 cm de profundidad. A partir de los 60 cm de profundidad los contenidos de agua total del tratamiento centeno fueron similares a los contenidos hídricos de PMP.

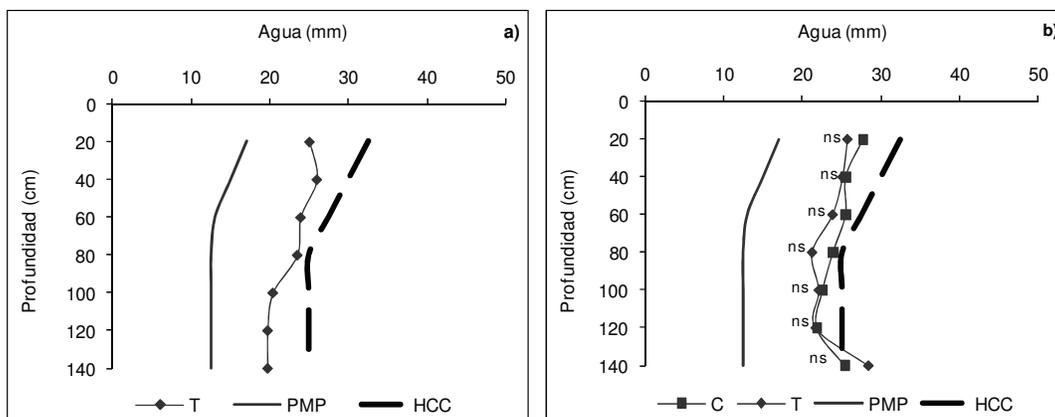


Figura 40: Contenido de agua del suelo (0- 140 cm de profundidad) para los tratamientos testigo (T) y Centeno (C), PMP = punto de marchites permanente, HCC = capacidad de campo. a) Muestreo a la siembra del C y b) Muestreo en macollaje del C. ns= diferencias no significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos para cada profundidad de muestreo

Al momento de la siembra del cultivo de soja, los contenidos hídricos variaron entre 14 y 44 mm comprobándose recarga parcial del perfil producto de una precipitación (115 mm) ocurrida en el periodo comprendido entre el secado del CC y la siembra del cultivo de soja (Figura 41 b). Por otra parte en el estadio R2 del cultivo de soja los contenidos de agua útil oscilaron de 3 a 21 mm resultando próximos a PMP. (Figura 42 a).

Cuando la soja alcanzó el estadio de R8 los contenidos de agua útil variaron entre 26 y 39 mm, no encontrándose diferencias significativas entre tratamientos (Figura 42 b).

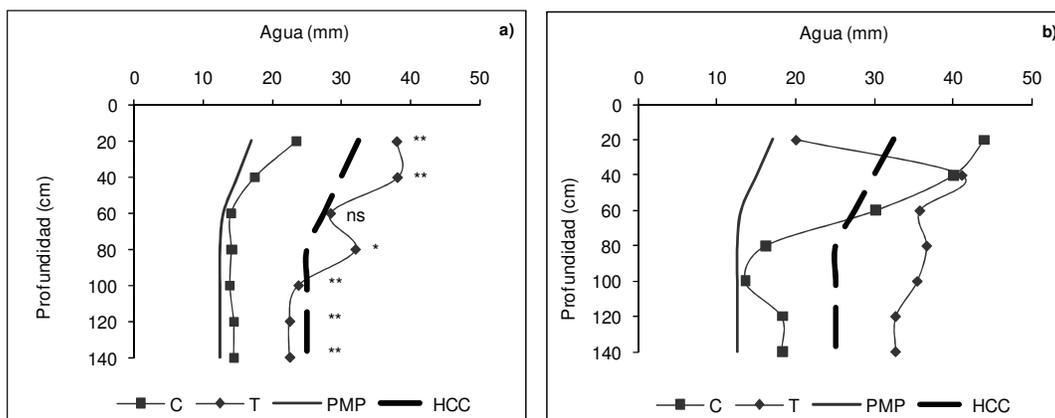


Figura 41: Contenido de agua del suelo (0- 140 cm de profundidad) para los tratamientos testigo (T) y Centeno (C), PMP = punto de marchites permanente, HCC = Capacidad de campo. a) Madurez fisiológica del C y b) Siembra del cultivo de soja ns= diferencias no significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos para cada profundidad de muestreo, * = diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos para cada profundidad de muestreo y ** = diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) entre tratamientos para cada profundidad de muestreo.

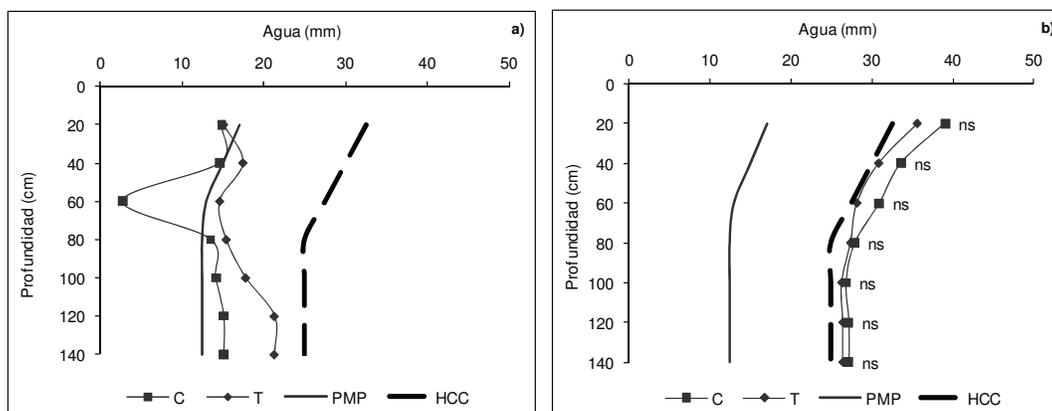


Figura 42: Contenido de agua del suelo (0- 140 cm de profundidad) para los tratamientos testigo (T) y Centeno (C), PMP = punto de marchites permanente, HCC = Capacidad de campo. a) Soja en estadio de R2 y b) Soja en estadio de R8. ns= diferencias no significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos para cada profundidad de muestreo.

Producción de Materia seca de los CC, Uso consuntivo, Eficiencia de uso de agua y Captura de nutrientes:

La única especie que desarrolló en este sitio fue el centeno, alcanzando una producción promedio de 4232 kg ha^{-1} de materia seca con una tasa de crecimiento diaria de $27.5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$. El UC fue de 88 mm, con una EUA de $50 \text{ kg materia seca ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. Determinaciones químicas realizadas sobre la biomasa aérea se muestran en la Tabla 14. Del análisis de esta tabla se deduce el importante aporte de C que pueden realizar los cereales de invierno establecidos como CC en Ustoles bajo planteos de agricultura continua.

El contenido de nutrientes en biomasa también fue significativo, particularmente de nitrógeno (80 kg ha^{-1}) valor que resulta coincidente con los citados por Smith et al. (1987), quienes utilizando centeno como CC mencionan producciones de materia seca que van desde 3500 a 5000 kg ha^{-1} con contenidos de 25 a $75 \text{ kg de nitrógeno ha}^{-1}$. La relación C/N de 23 resultó baja por tratarse de un cereal de invierno. Sin embargo resulta coincidente con valores citados por Ranells y Waggoner (1997).

Tabla 14: Contenidos de carbono, Nitrógeno, Fósforo y Azufre contenidos en la biomasa aérea de centeno.

kg ha ⁻¹	Carbono		Nitrógeno (kg ha ⁻¹)	Fósforo (kg ha ⁻¹)	Azufre (kg ha ⁻¹)
	kg ha ⁻¹ mm ⁻¹	kg ha ⁻¹ día ⁻¹			
1846	21	12	80	10	6

Efecto sobre la resistencia a la penetración:

Los valores de resistencia a la penetración se ubicaron por debajo del límite crítico de 2 Mpa, a partir del cual es condicionado el desarrollo radicular. En los dos momentos evaluados (secado del CC y R8 de soja) los mayores valores correspondieron al tratamiento testigo (Figura 43 a y 45 a) sin comprobarse relación significativa entre variaciones en la RP y los contenidos hídricos del suelo (Figuras 44 a y b. y 46 a y b). Similares resultados fueron obtenidos por Mapfumo y Chanasyk (1998) quienes no comprobaron relación significativa entre RP y contenido de agua, pero sí relación positiva con DA. Vepraskas (1988), trabajando con suelos de textura gruesa, también observó una mayor influencia de la DA, y del porcentaje de arena muy fina.

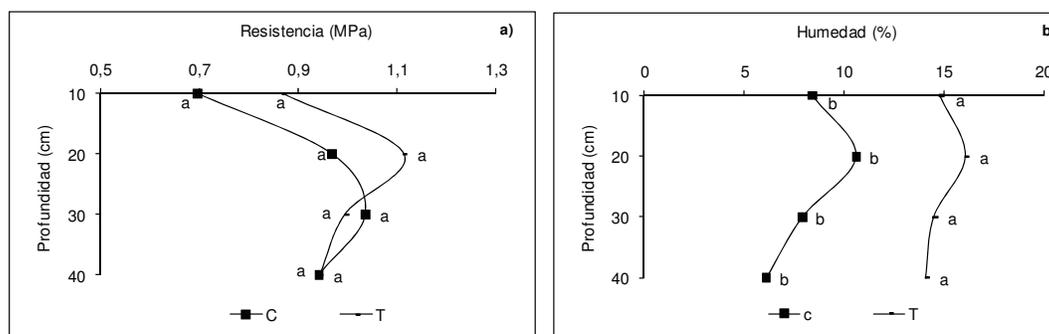


Figura 43: Resistencia a la penetración y humedad del suelo al momento del secado del centeno, figuras a y b respectivamente, para los tratamientos Centeno (C) y Testigo (T). letras diferentes muestran diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos para cada profundidad de muestreo.

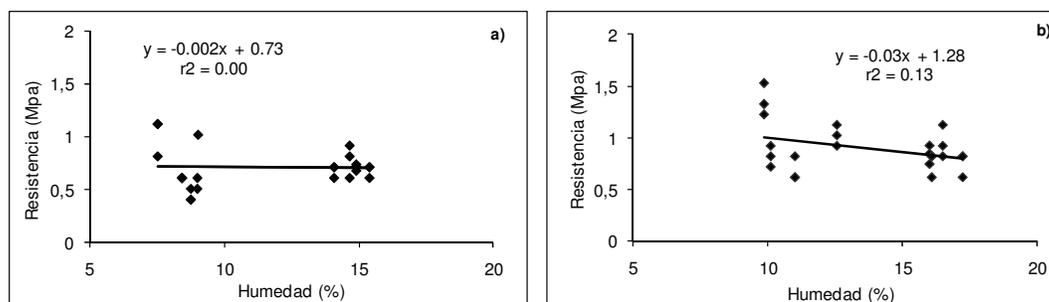


Figura 44: Resistencia a la penetración en función de la humedad el suelo al momento del secado del Centeno. a) 0-10 cm y b) 10-20 cm de profundidad del perfil.

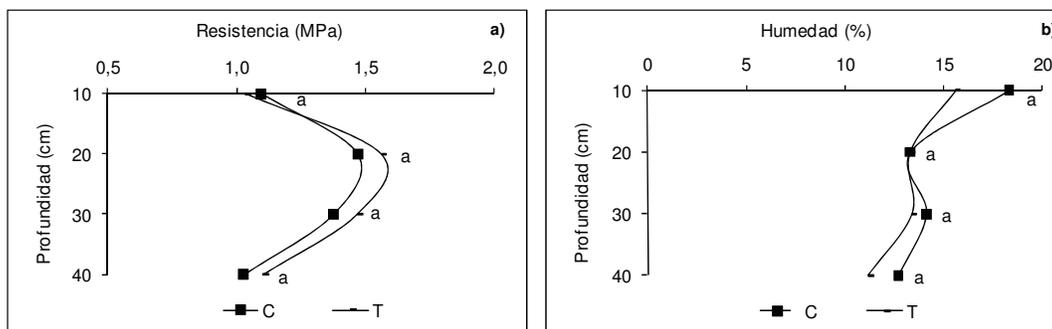


Figura 45: Resistencia a la penetración y humedad del suelo en el estado de R8 del cultivo de soja figuras a y b respectivamente, para los tratamientos Centeno (C) y Testigo (T). Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos para cada profundidad de muestreo.

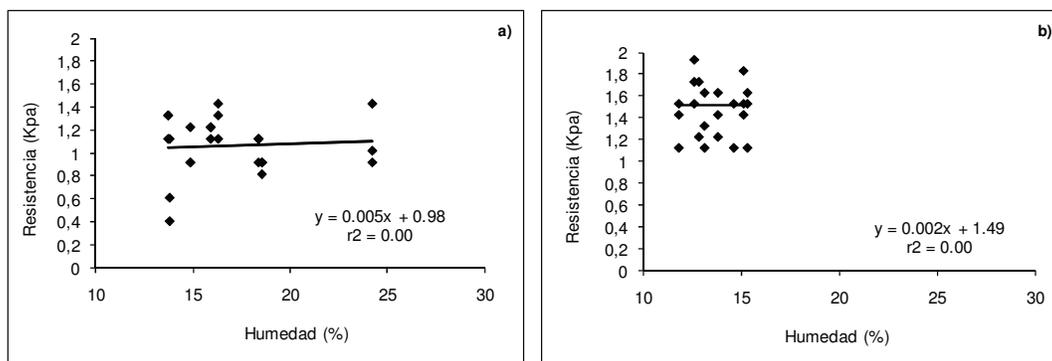


Figura 46: Resistencia a la penetración en Mpa en función del porcentaje de agua en el suelo en el estado de R8 de soja a) 0-10 cm y b) 10-20 cm de profundidad del perfil.

Efecto sobre la dinámica de nitrógeno:

El contenido de N – nitratos (0-60 cm) varió ampliamente ($13- 82 \text{ kg ha}^{-1}$) entre momentos de muestreo durante el barbecho y por efecto del CC. La diferencia entre tratamientos se pone más de manifiesto hacia el final del ciclo, con valores de 39 y 82 kg ha^{-1} de N para los tratamientos CC y T, respectivamente ($p < 0,05$), (Figura 47). Similares resultados fueron obtenidos por Nyakatawa et al. (2001) sobre un Paleudult Típico franco limoso en el norte de Alabama (USA) y Quiroga et al. (1999b) sobre Haplustoles Énticos de la región semiárida pampeana.

Cuando se realizó un análisis de nitrógeno global, (resultado de sumar el contenido de nitrógeno edáfico y el nitrógeno contenido en la biomasa aérea) se comprobó 24 % más de nitrógeno en el tratamiento con CC respecto del testigo (Figura 48). Este comportamiento podría deberse a que en el tratamiento testigo resulten mayores las pérdidas por lixiviación las cuales serían inferiores bajo CC al incorporarse el nutriente a biomasa.

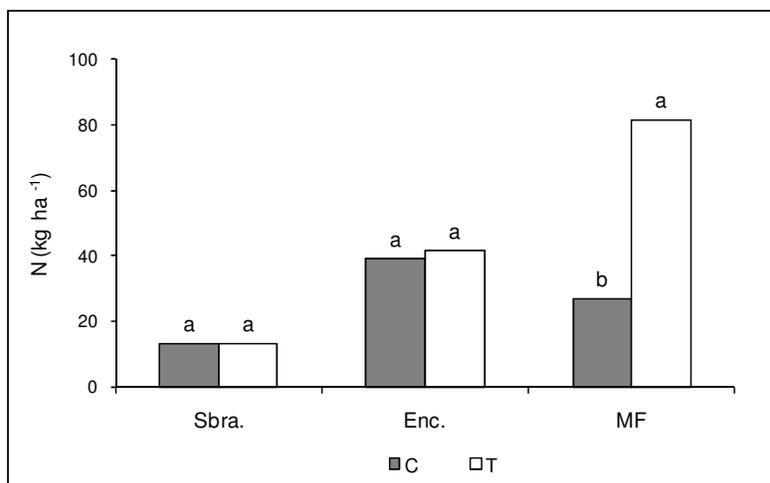


Figura 47: Contenido de nitrógeno en el suelo en los primeros 60 cm del perfil al momento de la Sbra= siembra, Enc.=encañazon y MF= madurez fisiológica del centeno (C). Testigo (T). Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos para cada momento de muestreo.

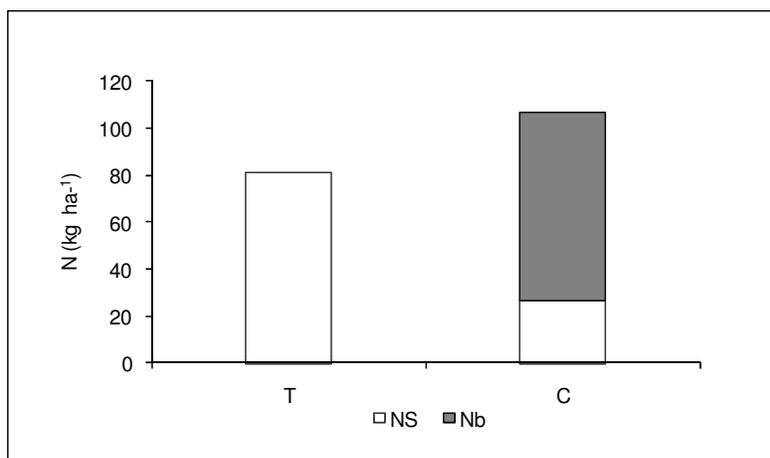


Figura 48: Contenido de nitrógeno al momento de secar el centeno utilizado como cultivo de cobertura. (Ns) = Contenido de nitrógeno del suelo (0-60 cm) para los distintos tratamientos. Centeno (C) y Testigo (T) (Nb)= Contenido de nitrógeno aportado por la biomasa producida por el C.

Efectos sobre el rendimiento de soja:

Tabla 15: Rendimiento en grano y sus componentes del cultivo de soja que sucedió a los tratamientos Testigo (T) y Centeno (C) en la rotación. Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.

Tratamientos	Plantas m ⁻²	Materia seca kg ha ⁻¹	Granos m ⁻²	Peso de mil granos	Rendimiento kg ha ⁻¹
T	28 a	3027 a	864 a	147,15 a	1271 a
C	29 a	2238 b	757 a	141,05 a	1069 a

El único parámetro del cultivo que presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos fue la producción de materia seca en R2, siendo 27 % menor cuando soja era precedida por CC (Tabla 15). El rendimiento de granos fue superior en el tratamiento testigo pero las diferencias no fueron significativas (Tabla 15). Estos datos son similares a los encontrados por Capurro et al. (2007) y Álvarez et al. (2006) los cuales han encontrado valores de rendimiento de soja iguales o mayores en tratamientos que incluían CC como antecesores.

Esta compensación en el rendimiento podría explicarse por las precipitaciones ocurridas en el periodo crítico del cultivo que fueron de aproximadamente 190 mm. El peso de mil granos y los granos m^{-2} fueron mayores en el tratamiento testigo pero al igual que el rendimiento de grano, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos

Conclusión:

Los resultados obtenidos en este sitio confirman que este tipo de ambientes es limitante para el uso de algunas especies de CC. El centeno fue la especie de mejor comportamiento ante condiciones de déficit hídrico, alcanzando producciones aceptables de materia seca y alta eficiencia en el uso de agua, generando una importante cobertura (4200 kg de materia seca ha^{-1}) que contribuyó a proteger el suelo de procesos erosivos y aportar C (1846 kg ha^{-1}) sin afectar el rendimiento del cultivo de soja que lo sucedió.

CAPITULO INTEGRADOR

Los resultados de la presente tesis muestran la influencia del ambiente caracterizada principalmente por el régimen hídrico de los suelos (Ustol vs. Udol) determinado para cada sitio bajo estudio (CRA + precipitaciones) y también sobre el impacto de las distintas especies utilizadas como CC sobre la producción de materia seca. A manera de ejemplo, los resultados muestran que la producción de materia seca de las 3 especies evaluadas estuvo estrechamente relacionada con la disponibilidad del agua durante el desarrollo de los CC.

El contenido de agua total al momento de la siembra hasta los 140 cm de profundidad logró explicar un 57 % de la variabilidad de la producción, mientras que el contenido de agua total a la siembra más el agua aportada por las precipitaciones durante el ciclo de desarrollo de los CC, explicó un 89 % de la variabilidad (Figura 49).

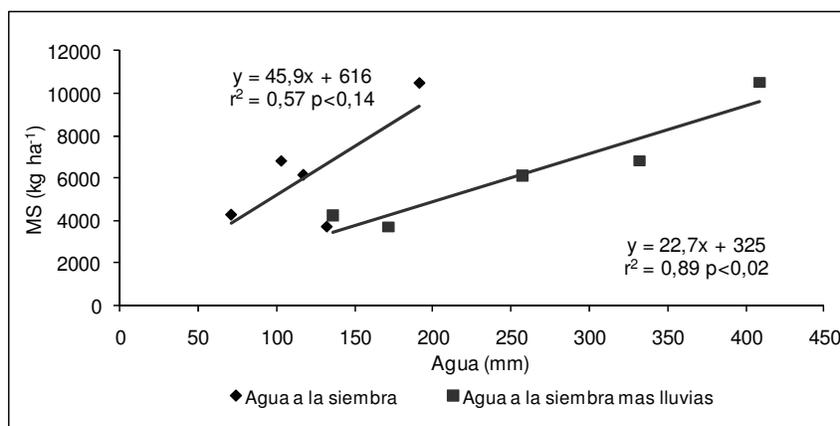


Figura 49: Producción de materia seca en función del agua total al momento de la siembra de los cultivos de cobertura (CC) y del agua total al momento de la siembra de los CC más las precipitaciones registradas durante el periodo de desarrollo de los CC.

Estos resultados demuestran que si bien los contenidos de agua total en el perfil del suelo (remanentes al momento de la cosecha del cultivo de verano) son importantes para decidir la siembra de un CC, las precipitaciones ocurridas durante el ciclo de desarrollo de los mismos tiene una contribución preponderante en la generación de materia seca. Ambos parámetros deberían ser considerados al momento de decidir la factibilidad de realizar una práctica para generar cobertura. Dado a la imposibilidad de conocer previamente las precipitaciones, sería de mucha utilidad a la hora de tomar decisiones el uso de programas probabilísticos, que a partir de registros históricos permiten calcular la probabilidad de ocurrencia de precipitación.

La producción de materia seca de los CC en los distintos sitios evaluados varió entre 1226 kg ha⁻¹ y 10.500 kg ha⁻¹ (Figura 50). Estos resultados concuerdan con lo planteado en la primer hipótesis de este estudio.

En todos los casos estudiados el centeno fue la especie que presentó una mayor producción de materia seca, seguido por la avena y el rye grass, aunque con valores absolutos diferentes según el sitio evaluado. La tendencia general fue a un aumento en la producción de materia seca a medida que se incrementó la oferta hídrica (agua total a la siembra hasta los 140 cm de profundidad + las precipitaciones). Estas asociaciones explicaron un 78, 70 y 73 % para el centeno, la avena y el rye grass, respectivamente (Figura 50).

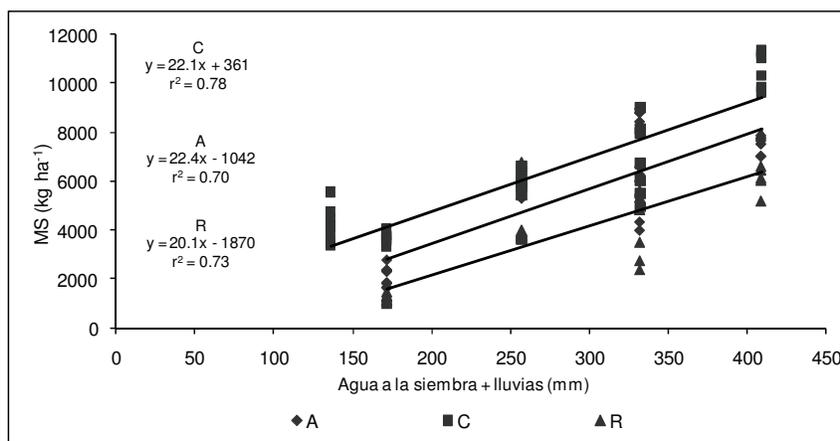


Figura 50: Producción de Materia seca al momento de secado de los cultivos de cobertura (CC) Avena (A), Centeno (C) y Rye grass (R) en función del agua total a la siembra de los CC más las precipitaciones ocurridas durante el ciclo de desarrollo de los CC.

La mayor variabilidad en la producción de materia seca se dio dentro del mismo sitio, entre los años de evaluación. En el año 2006 tanto en Pinto como en Villegas los valores registrados de materia seca fueron inferiores al año 2005. Esto podría ser explicado por las menores precipitaciones ocurridas en el año 2006 (22 y 70 % menores para los sitios de Pinto y Villegas, respectivamente). Zhu et al. (1991) obtuvieron resultados similares en un suelo de textura franco limosa en el estado de Missouri (USA). Ellos comprobaron que la producción de materia seca de los CC se postergó en el tiempo debido a una menor disponibilidad de agua de lluvia a lo largo de dos campañas contrastantes en cuanto al volumen total de precipitaciones.

Los resultados de este estudio indicarían que el centeno es una especie que tiene mejor comportamiento aún en años con escasas precipitaciones y en ambientes donde la economía del agua es fundamental.

Los contenidos de agua útil al momento del secado del CC variaron entre 50 y 206 mm y entre 8 y 223 mm para el tratamiento testigo y CC, respectivamente (Figura 51).

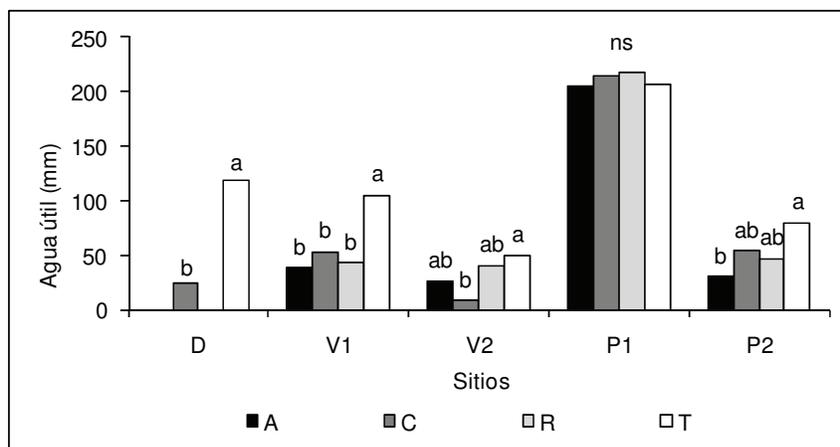


Figura 51: Contenido de agua útil al momento de secado de los cultivos de cobertura hasta 140 cm. de profundidad para los tratamientos Avena (A) Centeno (C) Rye grass (R) y Testigo (T) de los 3 sitios evaluados Dorila 2006 (D); Villegas 2005 (V 1); Villegas 2006 (V 2); Pinto 2005 (P1) y Pinto 2006 (P2). Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos para cada sitio y año de muestreo.

Si bien los CC en el año 2005 tuvieron altas producciones de materia seca dejando los perfiles con óptimos contenidos de agua para la siembra de soja, en el año 2006 con condiciones hídricas más limitantes y de acuerdo al sitio evaluado, la situación fue más crítica (por ejemplo para los sitios de Villegas y Dorila). Es por ello que sería importante incorporar estrategias de manejo, como el momento del secado y la fertilización, ambas prácticas podrían representar un aporte tecnológico importante y permitirían utilizar de una manera más eficiente el agua, alcanzando una misma producción de materia seca pero en menor periodo, lo cual posibilitaría adelantar el momento de secado del CC. (Fernández et al., 2007; Scianca et al., 2009).

En este estudio se comprobó que los diferentes ambientes tienen distintos grados de condicionamiento para la inclusión de los CC. Por ejemplo, en Luan Toro no fue posible la implantación de los CC, lo cual supondría un límite ambiental para la realización de CC (régimen Ustico en transición al Aridico).

En Dorila el régimen hídrico condicionaría sólo la inclusión de algunas especies. En el caso de este estudio fue el centeno la especie que logró implantarse uniformemente y aportó volúmenes significativos de cobertura, alcanzando de este modo uno de los objetivos de esta tesis.

En los dos sitios restantes (Villegas y Pinto) las 3 especies lograron implantarse satisfactoriamente y aportaron residuos al suelo, pero los mayores niveles de producción fueron registrados con la especie centeno.

El UC de los CC varió entre 88 y 277 mm, registrándose diferencias entre años > que entre los sitios > que entre especies. Centeno fue en general más eficiente (40 kg de materia seca $ha^{-1} día^{-1}$, 39 kg de materia seca $ha^{-1} mm^{-1}$) respecto de avena (32 kg de materia seca $ha^{-1} día^{-1}$; 26 kg materia seca ha^{-1}

mm⁻¹) y rye grass (22 kg de materia seca ha⁻¹ día⁻¹, 22 kg materia seca ha⁻¹ mm⁻¹).

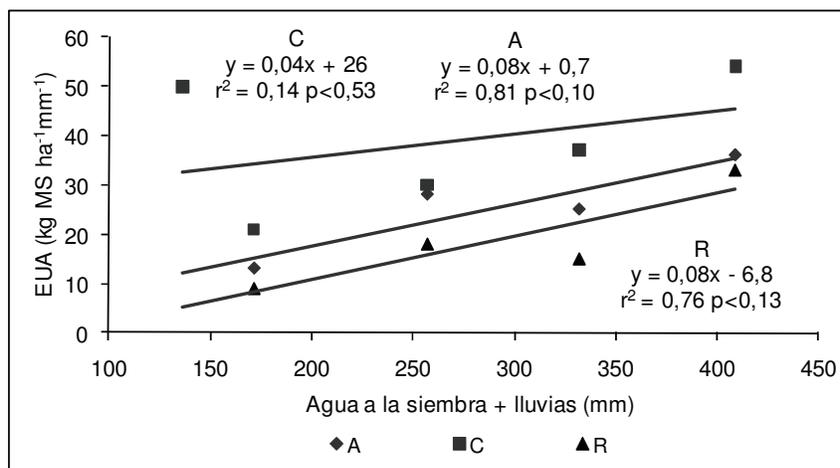


Figura 52: Eficiencia del uso del agua (EUA) de los cultivos de cobertura (CC): Avena (A), Centeno (C) y Rye grass (R) en función del agua total a la siembra de los CC más las precipitaciones ocurridas durante el ciclo de desarrollo de los CC.

Además, es importante destacar que en ambientes con mayores niveles de precipitaciones, las 3 especies evaluadas como CC pueden ser utilizadas para cumplir con los objetivos planteados. Por ejemplo, en Pinto en un año con buenas precipitaciones, atrasar un mes el secado del cultivo de avena produjo incrementos significativos en la producción de materia seca. Con esta misma estrategia de manejo para el cultivo de centeno no se logró incrementar la producción de materia seca, y provocó además una disminución en la EUA y un aumento en la relación C/N dado que esta especie por su mayor precocidad inicia la etapa reproductiva sin incrementar la biomasa. En este tipo de ambientes hay más posibilidades de seleccionar entre diferentes especies invernales para ser utilizadas como CC.

Los contenidos de N-NO₃⁻ en el suelo variaron entre 12 y 81 kg ha⁻¹ (Figura 53), registrándose los mayores valores en el tratamiento testigo en todos los sitios. Este comportamiento es atribuido a la ausencia de vegetación durante el periodo de barbecho en los tratamientos sin CC. Estos resultados permiten afirmar la segunda hipótesis de trabajo de este estudio. Similares resultados fueron obtenidos por Nyakatawa et al. (2001) sobre un Paleudult Típico franco limoso en el norte de Alabama (USA) y por Quiroga et al. (1999b) sobre Haplustoles Énticos de la región semiárida pampeana.

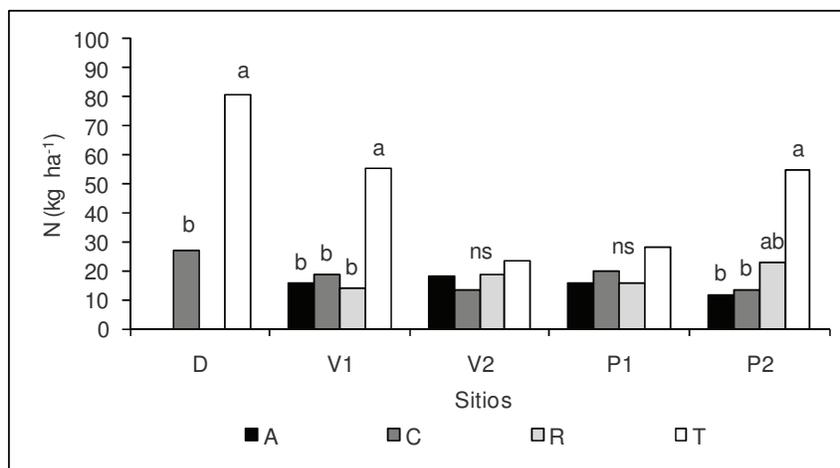


Figura 53: Contenido de $N-NO_3^-$ al momento de secado de los cultivos de cobertura (CC) para los tratamientos Avena (A), Centeno (C), Rye grass (R) y Testigo (T) en los 3 sitios evaluados. Dorila 2006 (D); Villegas 2005 (V 1); Villegas 2006 (V 2); Pinto 2005 (P1) y Pinto 2006 (P2). Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos para cada sitio y año de muestreo.

En un primer análisis estos resultados desalentarían el uso de esta práctica, pero al evaluar el nitrógeno total (N edáfico + N presente en la biomasa aérea de los CC) se observa que la oferta de N es mayor en los tratamientos con CC (Figura 54). Esto se debe a que los CC capturan nitrógeno que está en la solución del suelo (potencialmente lixiviable) y lo dejan en la superficie del suelo en una forma orgánica con baja relación C/N (menor de 30) que puede ser utilizada en el mediano plazo por los cultivos que siguen en la rotación (Ranells y Wagger, 1997). Reicosky y Archer (2005) mencionan que una característica deseable de esta práctica es la transferencia de N orgánico al sistema, ya que el mismo es utilizado por las plantas de una manera más eficiente que el nitrógeno suministrado por los fertilizantes químicos. Es importante destacar que dentro de las especies evaluadas en este estudio, el centeno tuvo un mejor comportamiento en cuanto a la captura de nitrógeno y esto se debió a su alta capacidad de generar biomasa, fijar carbono y capturar nutrientes. El contenido de N en la biomasa mostró una relación positiva con la oferta total de agua para los CC (agua total a la siembra de los CC más precipitaciones ocurridas durante el ciclo de los CC) (Figura 54). La mayor captura de nitrógeno en los sitios con altas precipitaciones, permitiría capturar en la biomasa, nutrientes móviles, como es el caso del nitrógeno, que están muy expuestos a los procesos de lixiviación hacia capas más profundas del perfil donde no pueden ser alcanzados por las raíces de los cultivos (Figura 55).

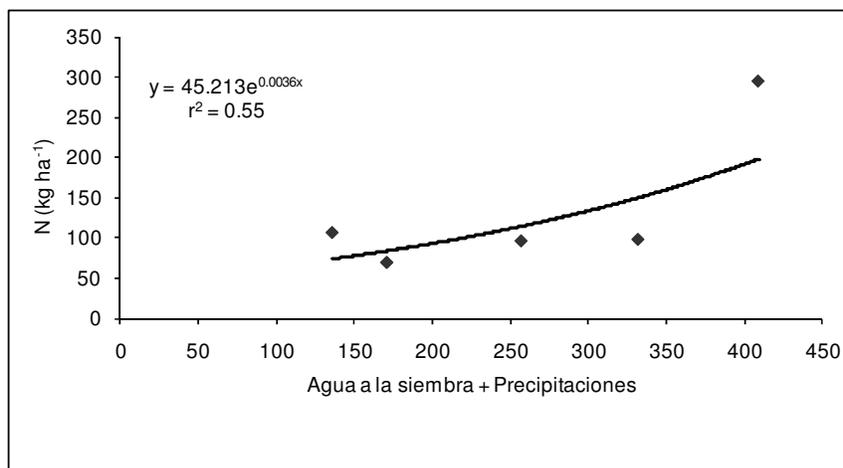


Figura 54: Contenido de nitrógeno (N) total [(contenido de nitrógeno edáfico (0-60 cm) mas el contenido de nitrógeno en la biomasa aérea de centeno utilizado como cultivo de cobertura (CC)] en función del contenido de agua total en (mm) (agua al momento de la siembra de los CC más las precipitaciones registradas durante el periodo de desarrollo de los mismos).

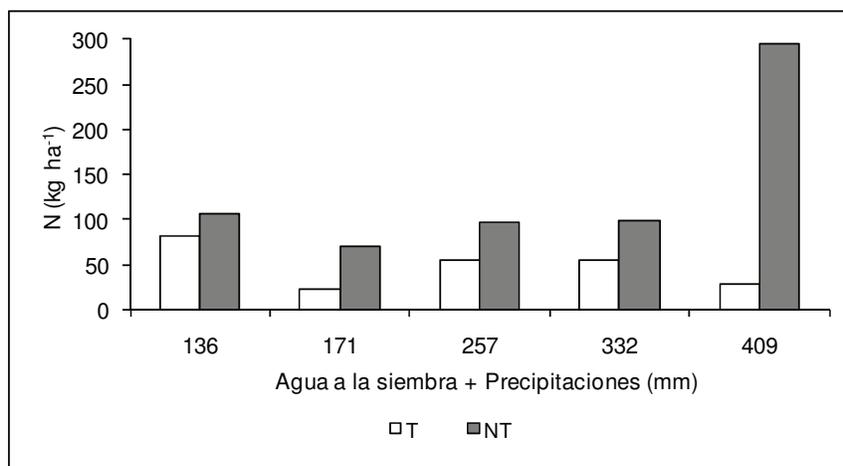


Figura 55: Contenido de nitrógeno en función del agua total al momento de la siembra de los cultivos de cobertura (CC) más las precipitaciones registradas durante el periodo de desarrollo de los mismos. T= Contenido de nitrógeno edáfico bajo el tratamiento Testigo, NT= Sumatoria del contenido de nitrógeno edáfico y el contenido de nitrógeno en la biomasa aérea de centeno utilizado como CC.

En cuanto al efecto de los CC sobre las malezas solo fue evaluado en Villegas y se observó que en los dos años de evaluación los tratamientos con CC presentaron significativamente menos malezas que el testigo. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Sardiña et al. (2008) y permiten confirmar la 3 hipótesis de este estudio.

Los rendimientos del cultivo sucesor a los CC variaron entre 1070 y 5418 kg ha⁻¹ para los tratamientos con centeno como CC y entre 1271 y 5240 kg ha⁻¹ para los tratamientos testigos (Figura 56), no registrándose diferencias significativas entre ambos tratamientos.

Los rendimientos de soja sobre antecesor centeno siempre fueron iguales o mayores que en los testigos. Estos resultados coinciden con los publicados por Capurro et al. (2007) y Álvarez et al. (2006 y 2008).

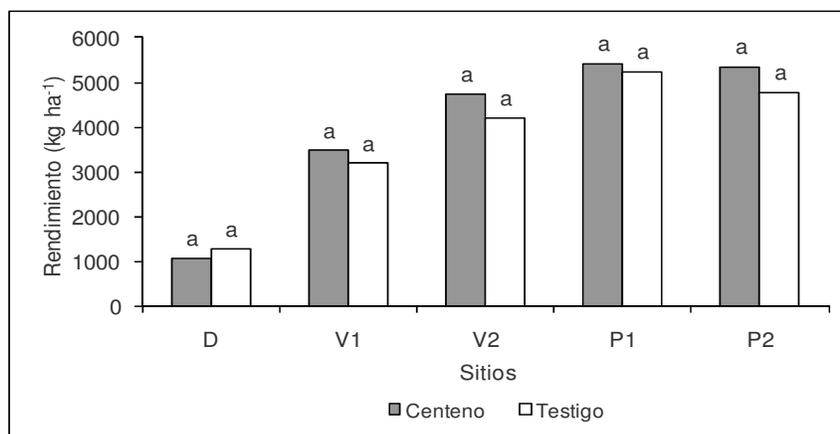


Figura 56: Rendimiento del cultivo de soja sobre Centeno y Testigo (para los 3 sitios evaluados Dorila 2006 (D); Villegas 2005 (V 1); Villegas 2006 (V 2); Pinto 2005 (P1) y Pinto 2006 (P2). Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.

Las precipitaciones ocurridas entre el periodo comprendido desde la siembra del cultivo de soja hasta el estadio de R2 lograron explicar un 94 % del rendimiento del cultivo. Sin embargo, cuando se amplió el análisis del periodo hasta el estadio de R8 del cultivo de soja, el valor de asociación entre estas variables fue de tan solo el 78% (Figura 57). Estos datos preliminares nos permiten ilustrar sobre la importancia que tiene el agua en los primeros estadios del cultivo hasta R2.

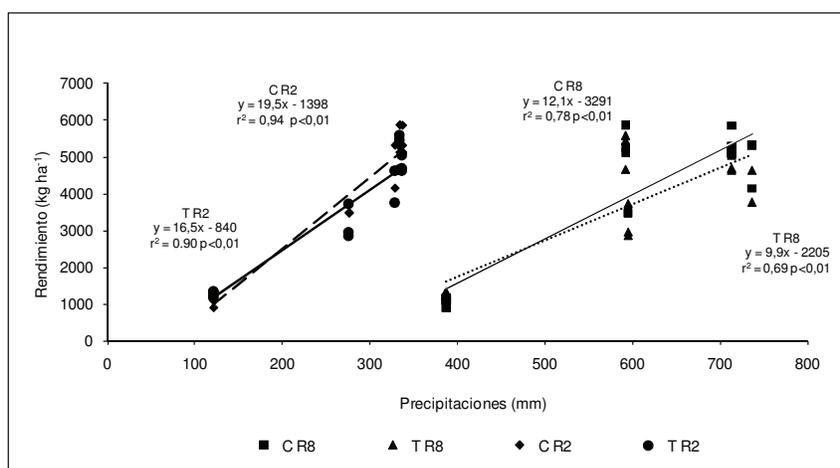


Figura 57: Rendimiento de soja en función de las precipitaciones registradas durante dos periodos: Siembra - R2 vs. siembra - R8 para los tratamientos Centeno(C) y Testigo (T). La línea de tendencia llena corresponde al tratamiento T y la línea de tendencia punteada corresponde al tratamiento C.

Cuando se analiza la CRA de cada sitio y la precipitación que puede ocurrir con probabilidades del 50 y del 80 % calculados con una serie de datos de los últimos 15 años (Figura 58), se pueden definir ambientes aptos o condicionantes para la utilización de CC.

Los sitios Pinto y Villegas con una probabilidad del 80 % de ocurrencia de una precipitación de 230 y 130 mm respectivamente serían aptos para realizar CC con todas las especies evaluadas; por el contrario en Dorila para la misma probabilidad de ocurrencia de una precipitación de 100 mm, el ambiente condiciona en forma marcada la elección de la especie ya que únicamente el centeno logra cumplir con los objetivos buscados.

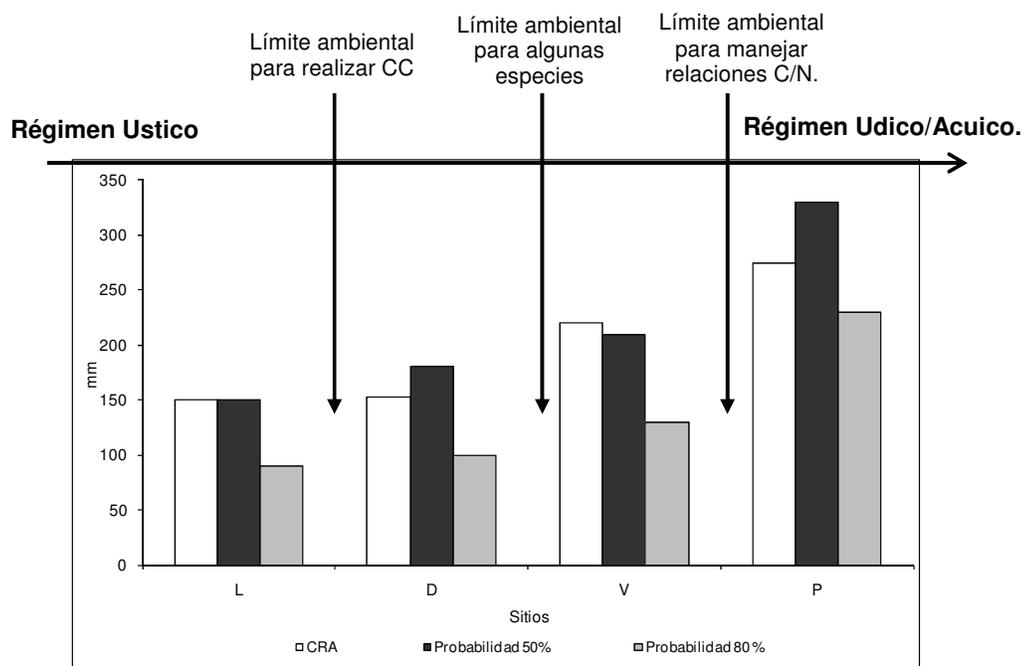


Figura 58: Capacidad de retención de agua (CRA) y Precipitaciones ocurridas durante el periodo de barbecho (abril- septiembre) para una probabilidad del 50 y 80% calculados con las series de 15 años de datos para los 4 sitios bajo estudio. Luan Toro (L); Dorila (D); Villegas (V); y Pinto (P).

En el otro extremo se localiza Luan Toro con una probabilidad del 80 % de ocurrencia de una precipitación de 90 mm para años normales. En este caso no sería aconsejable el uso de CC ya que ninguna de las especies evaluadas logra implantarse. Otro aspecto a tener en cuenta es que si bien en Villegas y en Pinto se pueden utilizar diferentes especies, en este último caso como el agua es menos limitante se puede prolongar el ciclo de los CC, logrando de esta manera aumentar la relación C/N en busca de una mayor persistencia de los residuos. A modo de ejemplo en un estudio realizado por Ferri et al. (Comunicación personal) puede verse como evoluciona la relación proteína bruta, carbohidratos no estructurales a medida que avanza el estadio fenológico de dos variedades de centeno sobre un suelo franco arenoso en la localidad de Santa Rosa, La Pampa (Figura 59). En la misma se observa que a medida que avanza el estadio fenológico del centeno la relación proteína bruta/

carbohidratos no estructurales (PB/CNES) se hace menor, esto le confiere más persistencia en el tiempo al residuo. Esta estrategia de manejo lleva a un mayor consumo de agua pero en este sitio en particular no se afectaría el rendimiento del cultivo siguiente.

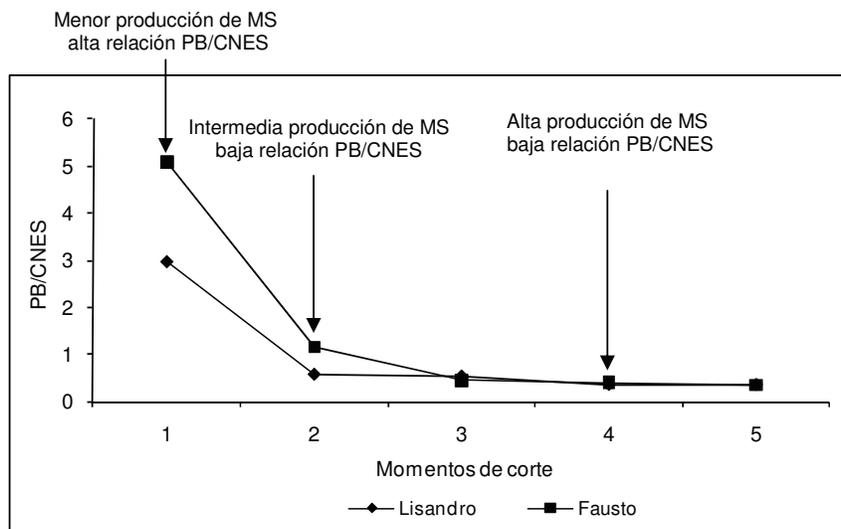


Figura 59: Relación proteína bruta vs. carbohidratos no estructurales (PB/CNES), presentes en la biomasa aérea de dos cultivares de centeno (Lisandro y Fausto) en función del momento de corte (1= 12/04, 2= 03/05, 3= 24/05, 4= 14/06 y 5= 05/07). MS= materia seca. Adaptado de Ferri y colaboradores.

Tanto la CRA como la probabilidad de ocurrencia de las precipitaciones constituyen una valiosa información que resulta estratégica para la toma de decisiones al momento de evaluar la conveniencia o no de incluir CC en la rotación.

Las CRA para los cuatro sitios estudiados variaron desde 150 hasta 275 mm considerando una profundidad de 140 cm, mientras que los milímetros aportados por las precipitaciones durante el periodo de barbecho en los últimos 15 años para una probabilidad de ocurrencia del 80% fueron de 130 a 200 mm. Por dicho motivo, ninguno de los sitios pudo recargar en su totalidad el perfil del suelo durante el periodo de barbecho. No obstante, si bien en Pinto la recarga del perfil fue del 80 % de la CRA, la cantidad de milímetros que ello representa (220 mm) no es condicionante para realizar los CC. Cuando se trabaja con una probabilidad de ocurrencia del 50 % en Luan Toro se logra recargar el perfil del suelo y en Dorila y Pinto se registra un exceso de 27 y 55 mm, respectivamente.

Por lo expuesto hasta aquí surge la necesidad de considerar, en futuros estudios, cierto orden jerárquico entre los factores que inciden sobre la productividad de los cultivos y las propiedades de los Molisoles de las regiones

semiárida y subhúmeda pampeana. No resulta conveniente realizar estudios sobre la nutrición de los cultivos o evaluar los efectos del manejo (ejemplo sistemas de rotaciones, CC) sin considerar previamente el régimen hídrico de los suelos. El mismo no sólo varía en la región a través del gradiente de precipitaciones (de Este a Oeste) sino que además estaría fuertemente condicionado por el espesor y la composición granulométrica de los suelos, pudiendo variar significativamente entre lotes de un mismo productor. Estudios de esta naturaleza hoy en día tienden a ser imprescindibles para el desarrollo de una agricultura de precisión y para el manejo sustentable de los recursos en esta región pampeana. Estudios futuros deben, en el largo plazo, contemplar el impacto de la incorporación de CC sobre la mejora en las propiedades físicas y químicas del suelo (estabilidad estructural, porosidad, infiltración, materia orgánica total y joven) en sistemas agrícolas de la región semiárida y subhúmeda pampeana dedicados al cultivo de soja.

BIBLIOGRAFÍA

Analytical Software. 2000. Statistix 8. User's manual. Analytical Software, Tallahassee, FL. USA, 359 p.

Álvarez C.; Barraco M.; Díaz- Zorita M.; Pecorari C. 2005. Uso de cultivos de cobertura con base soja en el noroeste bonaerense: resultados de dos años de evaluación. *En: INTA. EEA Villegas. Día de campo: Jornada Profesional Agrícola 2005. Villegas, 17 de febrero de 2005. pp. 17-25.*

Álvarez, C.; Scianca, C.; Barraco, M.; Díaz- Zorita M. 2006. Impacto de cereales de cobertura sobre propiedades edáficas y producción de soja. *En: Actas. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. I Reunión de suelos de la región Andina. Salta-Jujuy, 19 al 22 de setiembre de 2006. 1 Cd-Rom.*

Álvarez, C.; Scianca, C.; Barraco, M.; Díaz-Zorita, M. 2008. Impacto de diferentes secuencias de cultivos en siembra directa sobre propiedades edáficas en Hapludoles de la pampa arenosa. *En: Resúmenes. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del suelo. Potrero de los Funes, San Luis, 13 al 16 de mayo de 2008. p.381.*

Bielinski, M.S; Gilreath, J.; Arbona R.; Pinentel A. 2005. La estadística no paramétrica para el análisis e interpretación de estudios de plagas: alternativas al análisis de varianza. *En: Manejo Integrado de Plagas y Agro ecología (Costa Rica). Hoja Técnica N° 51, pp. 83-89.*

Bilbro, J.D. 1991. Cover crops for wind erosion control in semiarid regions. *En: Hargrove, W.L. (Ed.) Cover crops for clean water: The proceedings of an international conference. Jackson, Tennessee, 9 al 11 de abril de 1991. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, pp.36-38*

Blake, P. 1991. Measuring cover crop soil moisture competition in north coastal California vineyards. *En: Hargrove, W.L. (Ed.) Cover crops for clean water: The proceedings of an international conference. Jackson, Tennessee, 9 al 11 de abril de 1991. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, pp.39-40*

Bray, R.H.; Kurtz, L.T. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *En: Soil Science 59, pp. 39-45.*

Busscher W.; Bauer, P.; Camp, C.; Sojka, R. 1997. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. *En: Soil and Tillage Research 43, pp. 205-217.*

Cáceres Díaz, R.; Gutierrez, J.; Luque, R.; Petkoff Bankoff, J. 2008. Abonos verdes en el monocultivo de algodón con siembra convencional y su efecto sobre la resistencia mecánica a la penetración. *En: Resúmenes. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del suelo. Potrero de los Funes, San Luis, 13 al 16 de mayo de 2008. AACCS, Buenos Aires. 1 Cd-Rom.*

Capurro, J.; Surjack, J.; Andriani, J.; Dickie, M.; Gonzalez, M.; Vernizzi, A. 2007. Evaluación de cultivos de cobertura. *En: Soja 2007. Oliveros: Ediciones INTA. Para mejorar la producción N° 36, pp. 148-152.*

Carfagno P.; Eiza, M.; Quiroga, A.; Babinec, F. 2008 Cultivos de cobertura. Efectos sobre la dinámica del agua en el suelo. *En: Resúmenes. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del suelo. Potrero de los Funes, San Luis, 13 al 16 de mayo de 2008. 1 Cd-Rom.*

Carof, M.; Tourdonnet, S.; Saulas, P.; Le Floch, D.; Roger-Estrade, J. 2007. Undersowing wheat with different living mulches in a no-till system. II. Competition for light and nitrogen. *En: Agronomy for Sustainable Development 27, pp. 357-365.*

Caviglia, O.; Melchiori, R.; Sasal, M.; Van Opstal, N.; Gregorutti, V.; Wilson, M; Indelangelo, N. 2007. Producción de materia seca, balance hídrico y porosidad edáfica en cultivos de cobertura antecesores de la soja de primera. *En: Actualización técnica cultivos de invierno. Paraná: Ediciones INTA. Serie extensión No. 42, pp. 45-50.*

Chaudhary, M.; Gajri, P.; Prihar, S.; Khera, R. 1985. Effect of deep tillage on soil physical properties and maize yields on coarse textured soils. *En: Soil and Tillage Research 6(1), pp. 31-44*

Chenu, C.; Le Bissonnais, Y.; Arrouays, D. 2000. Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. *En: Soil Science Society of America Journal 64, pp. 1479–1486.*

Ding G.; Liu, X.; Herbert, S.; Novak, J.; Dula, A.; Xing, B. 2006. Effect of cover crop management on soil organic matter. *En: Geoderma 130, pp. 229-239*

Duarte, G. 2002. Modelos de producción en la región de la pampa arenosa. *En: Díaz-Zorita M.; Duarte, G. (Eds.) Manual práctico para el cultivo de girasol. Buenos Aires: Hemisferio Sur. pp. 281-297.*

Drganc, D.; Ferreyra, M.; Corrales, A.; Gutierrez, N.; Venialgo, C. 2000. Caracterización de la resistencia mecánica a la penetración de suelos del

dorsal agrícola chaqueño sometidos a labranza cero. En: Universidad Nacional del Noroeste. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2000, A-08.

Etchevere, P. 1976. Normas de Reconocimiento de Suelos. Pub. INTA. Castelar. 97 pg.

Elliott J.A.; Efetha, A.A. 1999. Influence of tillage and cropping system on soil organic matter, structure and infiltration in a rolling landscape. *En: Canadian Journal of Soil Science* 79, pp. 457-463.

Eiza, M.; Studdert, G.; Fioriti, N.; Domínguez, G. 2006. Estabilidad de agregados y materia orgánica total y particulada en Molisoles de Balcarce. *En: Actas. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. I Reunión de suelos de la región Andina. Salta-Jujuy, 19 al 22 de setiembre de 2006. 1 Cd-Rom.*

Fernández, R.; Funaro, D.; Quiroga, A. 2005. Influencia de cultivos de cobertura en el aporte de residuos, balance de agua y contenido de nitratos. *En: Aspectos del manejo de los suelos en sistemas mixtos de las regiones semiárida y subhúmeda Pampeana. Anguil: Ediciones INTA. Boletín de divulgación técnica N° 87, pp.25-31*

Fernández, R. 2007. Efecto de la cobertura del suelo durante el barbecho para cultivos estivales en la región semiárida. Tesis Magíster en Agronomía. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, 2 v.

Fernández, R.; Quiroga, A.; Arena, F.; Antonini C.; Saks, M . 2007. Contribución de los cultivos de cobertura y las napas freáticas a la conservación del agua, uso consuntivo y nutrición de cultivos . *En: Quiroga, A.; Bono, A. (Eds.). Manual de fertilidad y evaluación de suelos. Anguil: Ediciones INTA. Cap. 5, pp. 51-59*

Fernández-Quintanilla, C.; García Torres, L. 1989. Interferencia entre las malas hierbas y los cultivos. *En: García Torres, L.; Fernández-Quintanilla, C. (Eds.) Fundamentos sobre malas hierbas y herbicidas. Mundi-Prensa, Madrid, pp. 73-84.*

Fisk, J.; Hesterman, O.; Shrestha, A.; Kells, J.J.; Harwood, R.R.; Squire, J.M.; Sheaffe, C.C. 2001. Weed Suppression by Annual Legume Cover Crops in No-Tillage Corn. *En: Agronomy Journal* 93, pp. 319-325.

Franzluebbers, A.J. 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *En: Soil and Tillage Research* 66(2), pp. 95-106.

- Galantini, J. 2008. Cereales de invierno como cultivo de cobertura: su contribución al balance de carbono. En: VII Congreso Nacional de trigo, V Simposio Nacional de Cereales de siembra otoño-invernal, I Encuentro del MERCOSUR. Santa Rosa (La Pampa), 2 al 4 de julio de 2008. INTA-Universidad Nacional de La Pampa, Santa Rosa.
- Hendrix, P.F.; Franzluebbbers, A.J.; McCracken, D.V. 1998. Management effects on C accumulation and loss in soils of the southern Appalachian Piedmont of Georgia. *En: Soil and Tillage Research* 47, pp. 245-251.
- Hoyt, G.; Waggoner, M.; Crozier, C.; Ranells, N. 2004. Soil Facts: Winter annual cover crops. North Carolina Cooperative Extension Service, North Carolina, 9 p.
- Kuo, S.; Jellum E. 2002. Influence of Winter Cover Crop and Residue management on soil Nitrogen availability and corn. *En: Agronomy Journal* 94, pp. 501-508.
- Krüger H. 1996. Compactación en Haplustoles del sudoeste bonaerense (Argentina) bajo cuatro sistemas de labranza. *En: Ciencia del Suelo* 14, pp. 104-106.
- Liebman, M.; Davis A.S. 2000. Integration of soil, crop, and weed management in low- external- input farming systems. *En: Weed Research*. 40, pp. 27-47.
- Lopez, M.; Arrue, J. 1997. Growth, yield and water use efficiency of winter barley in response to conservation tillage in semi-arid region of Spain. *En: Soil and Tillage Research*. 44, pp. 35- 54.
- Mapfumo, E.; Chanasyk, D. 1998. Guidelines for safe trafficking and cultivation, and resistance–density–moisture relations of three disturbed soils from Alberta. *En: Soil and Tillage Research*. 46(3-4), pp. 193-202
- Mathews O., T. Army. 1960. Moisture storage on fallow wheatland in the great plains. *Soi Science Society of America Proceedings*. 24: 414-418.
- Mohler, C.L.; Teasdale, J.R. 1993. Response of weed emergence to rate of vicia villosa Roth and secale cereale L. residue. *En: Weed Research* 33, pp. 487-499.
- Nyakatawaa, E.Z.; Reddy, K.C; Sistanib K.R. 2001. Tillage, cover cropping, and poultry litter effects on selected soil chemical properties. *En: Soil and Tillage Research* 58, pp. 69-79.

Octave 3.0.1. 2008. Disponible en <http://www.gnu.org/software/octave/> [Fecha de acceso: 9 de junio de 2009].

Odhiambo, J.; Bomke, A. 2001. Grass and legume cover crop effects on dry matter and nitrogen accumulation. *En: Agronomy Journal* 93, pp. 299-307.

O' Sullivan M.; Dickson, J.; Cambell, D. 1987. Interpretation and presentation of cone resistance data in tillage and traffic studies. *En: European Journal of Soil Science* 38, pp. 137-148.

Pabin J.; Lipiec, J.; Wlodek, S.; Biskupsky, A.; Kaus, A. 1998. Critical soil bulk density and strength for pea root growth as related to other soil factors. *Soil and Tillage Research* 43, pp. 206-208.

Quiroga, A.; Buschiazzo, D.; Peinemann, N. 1999(a). Soil compaction is related to management practices in the semi-arid Argentine pampas. *En: Soil and Tillage Research* 52(1-2), pp. 21-28.

Quiroga, A.; Ormeño, O.; Bono, A.; Rodríguez, N.; Montoya, J.; Babinec, F. 1999(b). Aspectos del manejo de suelo y productividad del girasol en la región semiárida pampeana. Anguil: Ediciones INTA. Boletín de divulgación técnica N° 64, 29p.

Ranells, N.; Waggar, M. (1997) Grass-Legume Bicultures as Winter Annual Cover Crops. *En: Agronomy Journal* 89, pp. 659-665.

Reicosky D.; Wames D. 1991 . Evapotranspiración and nitrogen accumulation in a winter rye cover crop in the Northern Corn Belt. In Cover crops for clean water. *En: Hargrove, W.L. (Ed.) Cover crops for clean water: The proceedings of an international conference. Jackson, Tennessee, 9 al 11 de abril de 1991. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa. pp.74-75*

Reicosky, D.; Archer, D. 2005 . Cuantificación agronómica de l aumento de materia orgánica del suelo en siembra directa. *En: XIII Congreso AAPRESID. Rosario, Santa Fe , 9-12 de agosto de 2005.*

Reicosky D. 2007. Beneficios ambientales globales del manejo del carbono del suelo. XII Congreso AAPRESID, pp 41-48.

Restovich, S.; Andriulo, A.; Améndola, C. 2008 a. Definición del momento de secado de diferentes cultivos de cobertura en la secuencia soja-maiz. *En: XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes, San Luis, 13 al 16 de mayo 2008. 1 Cd-Rom.*

Restovich, S.; Andriulo, A.; Torti, M. 2008 b. Destino del nitrógeno edáfico luego de la cosecha del maíz con diferentes cultivos de cobertura utilizados como antecesores bajo siembra directa en la Pampa Ondulada. *En: XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes, San Luis, 13 al 16 de mayo 2008. 1 Cd-Rom.*

Ronconi, A.; Silvestre, P.; Saluzzio, M.; De Batista, J. 2008. Efectos de cultivo de cobertura con distinta duracion de barbecho químico. *En: XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes, San Luis, 13 al 16 de mayo 2008. 1 Cd-Rom.*

Rufo, M.L. 2003. Factibilidad de inclusión de cultivos de cobertura en Argentina. *En: Actas. XI Congreso de AAPRESID. Rosario, Santa Fe, 26 al 29 de agosto de 2003. pp.171-176.*

Sá Pereira, E.; Quiroga, A.; Galantini, J. 2008. Posibilidades de utilización de gramíneas y leguminosas invernales como cultivos de cobertura. *En: VII Congreso Nacional de trigo, V Simposio Nacional de Cereales de siembra otoño-invernal, I Encuentro del MERCOSUR. Santa Rosa, La Pampa, 2 al 4 de julio de 2008.*

Sainju, U.M.; Singh, B.P.; Whitehead, W.F. 1998. Cover crop root distribution and its effects on soil nitrogen cycling. *En: Agronomy Journal 90, pp. 511-518.*

Sainju, U.; Schomberg, H.; Singh, B.; Whitehead, W.; Tillman, P.; Lachnicht-Weyers, S. 2007. Cover crop effect on soil carbon fractions under conservation tillage cotton. *En: Soil and Tillage Research 96, pp. 205-218.*

Sardiña, C.; Guerrero, L.; Orelia, M.; Quiroga, A. 2008. Cultivo de cobertura, efectos de la fertilización sobre la producción de biomasa, eficiencia de uso del agua y el cultivo sucesor. *En: VII Congreso Nacional de trigo, V Simposio Nacional de Cereales de siembra otoño-invernal, I Encuentro del MERCOSUR. Santa Rosa, La Pampa, 2 al 4 de julio de 2008.*

Sasal, M.; Andriulo, A. 2005. Cambios en la porosidad edáfica bajo siembra directa por la introducción de raphanus sativus L. (Nabo forrajero). *En: RIA, Revista de Investigaciones gropecuarias 34(3), pp 131-150.*

Satorre E. 2003. Las posibilidades ambientales y tecnológicas de la pradera pampeana para la producción de granos. *En: Bolsa de Cereales de Buenos Aires (Ed). Las Ciento y Una: "Hacia los 100 millones de toneladas de granos y la exportación de 1 millón de toneladas de carne. Buenos Aires: Bolsa de Cereales, pp 37-38.*

Scianca C.; Álvarez, C.; Barraco, M.; Pérez, M.; Quiroga, A. 2006. Cultivos de cobertura en sistemas orgánicos. Aporte de carbono y dinámica de malezas. *En: XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. I Reunión de suelos de la región Andina. Salta-Jujuy, 19 al 22 de setiembre de 2006, pp. 370.*

Scianca, C.; Barraco, M.; Álvarez, C. 2009. Estrategias de manejo de centeno utilizado como cultivo de cobertura en un Argiudol Típico del noroeste bonaerense. *En: INTA. EEA Villegas. Memoria técnica 2007-2008. pp. 25-28.*

Smith, M.; Frye, W.; Varco, J. 1987. Legume winter cover crops. *En: Stewart, B.A. (Ed.) Advances in soil science. New York: Springer-Verlag. Vol. 7, pp. 95-139.*

Strock, J.; Porter, P.; Russelle, M. 2004. Cover cropping to reduce nitrate loss through subsurface drainage in the northern U.S. Corn Belt. *En: Journal of Environmental Quality 33, pp. 1010-1016*

Teasdale, J.R. 1996. Contribution of cover crops to weed management in sustainable agricultural systems. *En: Journal of Production Agriculture 9, pp. 475-479.*

Tisdale, S. 1991. Fertilidad de Suelos y Fertilizantes. México D.F: Limusa. 760p.

Unger, P.; Jones, O. 1998. Long-term tillage and cropping systems affect bulk density and penetration resistance of soil cropped to dryland wheat and grain sorghum. *En: Soil and Tillage Research 45, pp. 39-57.*

Vepraskas, M. 1988. Bulk density values diagnostic of restricted root growth in coarse-textured soils. *En: Soil Science Society of America Journal 52, pp. 1117-1121.*

Walkley, A.; Black, T.A. 1934. An examination of the Degtjaerff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *En: Soil Science 37, pp. 29-38.*

Wander, M.M.; Traina, S.J. 1996. Organic fractions from organically and conventionally managed soils: I. Carbon and nitrogen distribution. *En: Soil Science Society of America Journal 60, pp. 1081-1087.*

Weil, R.R.; Magdoff, F. 2004. Significance of soil organic matter to soil quality and health. *En: Magdoff, F.; Weil, R.R. (ed). Soil organic matter in sustainable agriculture. Boca Raton, FL.: CRC Press. pp. 1-43*

West, P.; Ramachandran T. 1966. Spectrophotometric of nitrate using chromotropic acid. *Anal. Chim. Acta* 35: pp. 317- 324.

Zaniboni, C.; Landa, R. 2008 Caracterización productiva del área de influencia de la Estación Experimental Agropecuaria Villegas. En: INTA. EEA Villegas. Memoria técnica 2007-2008. pp.100 -108.

Zhu, J.; Gantzer, C.; Anderson, S.; Beuselinck P.; Alberts E. 1991. Water use evaluation of winter cover crops for no-till soybeans. En: *Journal of soil and water conservation* 46(6), pp. 446-449.

Anexo Tablas

Agua útil.

Tabla 1: Agua útil (mm) hasta 140 cm de profundidad en capas de 20 cm a la siembra del CC para el sitio General Pinto año 2005 promedios de los 3 bloques y desvíos estándares.

Profundidad	Siembra	
	Prom.	Desv.
20	26	3
40	27	2
60	28	7
80	26	7
100	26	10
120	29	12
140	29	12

Tabla 2: Agua útil (mm) hasta 140 cm de profundidad en capas de 20 cm en el estadio de macollaje de los CC para el sitio General Pinto año 2005 promedio de 3 bloques y desvíos estándares. A (avena), C (centeno), R (rye grass) y T (testigo).

Profundidad	A		C		R		T	
	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.
20	24	0.85	24	3.33	24	5.07	26	5.98
40	29	3.42	27	3.06	28	2.08	28	1.71
60	32	5.86	25	1.29	28	1.18	28	3.09
80	32	2.91	27	1.55	29	0.62	29	2.59
100	32	2.9	27	1.56	29	0.63	29	2.58
120	32	2.9	27	1.56	29	0.63	29	2.58
140	32	2.9	27	1.56	29	0.63	29	2.58

Tabla 3: Agua útil (mm) hasta 140 cm de profundidad en capas de 20 cm en el estadio de encañazon de los CC para el sitio General Pinto año 2005 promedio de 3 bloques y desvíos estándares. A (avena), C (centeno), R (rye grass) y T (testigo).

Profundidad	A		C		R		T	
	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.
20	23	3	21	1	21	2	26	2
40	21	2	23	2	28	5	30	5
60	26	1	26	4	26	3	28	2
80	29	1	28	3	29	1	31	4
100	29	0	28	4	34	3	29	2
120	29	0	28	4	34	3	29	2
140	29	0	28	4	34	3	29	2

Tabla 4: Agua útil (mm) hasta 140 cm de profundidad en capas de 20 cm en el estadio de madurez fisiológica de los CC para el sitio General Pinto año 2005 promedio de 3 bloques y desvíos estándares. A (avena), C (centeno), R (rye grass) y T (testigo).

Profundidad	A		C		R		T	
	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.
20	24	5	18	5	22	4	24	2
40	27	1	30	5	28	1	29	1
60	27	2	28	6	28	3	27	2
80	32	3	35	7	35	7	32	5
100	32	3	35	7	35	7	32	5
120	32	3	35	7	35	7	32	5
140	32	3	35	7	35	7	32	5

Tabla 5: Agua útil (mm) hasta 140 cm de profundidad en capas de 20 cm en el estadio de soja R2 para el sitio General Pinto año 2005 promedio de 3 bloques y desvíos estándares. A (avena), C (centeno), R (rye grass) y T (testigo).

Profundidad	A		C		R		T	
	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.
20	15	2	12	3	13	4	13	4
40	21	2	18	0	20	2	19	5
60	22	2	21	4	20	3	22	3
80	23	1	23	6	22	3	25	3
100	23	1	23	6	22	3	25	3
120	23	1	23	6	22	3	25	3
140	23	1	23	6	22	3	25	3

Tabla 6: Agua útil (mm) hasta 140 cm de profundidad en capas de 20 cm en el estadio de soja R8 para el sitio General Pinto año 2006 promedio de 3 bloques y desvíos estándares. A (avena), C (centeno), R (rye grass) y T (testigo).

Profundidad	A		C		R		T	
	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.
20	32	7	26	3	27	5	25	1
40	26	4	25	3	26	4	25	0
60	20	4	16	1	21	1	17	1
80	14	3	11	0	14	3	11	2
100	12	1	10	2	11	0	12	3
120	12	1	10	2	11	0	12	3
140	12	1	10	2	11	0	12	3

Tabla 7: Agua útil (mm) hasta 140 cm de profundidad en capas de 20 cm a la siembra del CC para el sitio General Pinto año 2006 promedios de los 4 bloques y desvíos estándares.

Profundidad	Siembra	
	Prom.	Desv.
10	10	1.3
20	9	0.5
30	9	0.8
40	9	0.5
60	16	2.0
80	12	3.2
100	12	0.8
120	12	0.8
140	12	0.8

Tabla 8: Agua útil (mm) hasta 140 cm de profundidad en capas de 20 cm en el estadio de macollaje de los CC para el sitio General Pinto año 2006 promedios de los 4 bloques y desvíos estándares. A (avena), C (centeno), R (rye grass) y T (testigo).

Profundidad	A		C		R		T	
	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.
10	2	1.98	0	0.21	4	0.39	3	2.00
20	4	0.70	0	0.58	5	0.59	5	1.03
30	5	1.24	1	1.35	6	0.95	6	1.41
40	6	1.23	1	1.36	6	0.69	6	0.24
60	8	2.30	1	2.05	8	1.04	8	1.36
80	4	1.88	3	4.01	4	1.37	5	0.98
100	6	2.76	5	2.45	5	2.31	7	1.94
120	11	2.88	9	2.56	9	1.67	11	3.74
140	11	2.88	9	2.56	9	1.67	11	3.74

Tabla 9: Agua útil (mm) hasta 140 cm de profundidad en capas de 20 cm en el estadio de encañazon de los CC para el sitio General Pinto año 2006 promedios de los 4 bloques y desvíos estándares. A (avena), C (centeno), R (rye grass) y T (testigo).

Profundidad	A		C		R		T	
	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.
10	1	1.2	0	0.0	1	0.5	4	3.6
20	1	1.4	0	0.0	1	1.2	6	3.9
30	1	1.4	0	0.2	1	1.9	5	4.3
40	1	1.6	0	0.4	1	1.7	6	1.8
60	1	1.5	0	0.5	2	2.4	9	3.3
80	2	3.8	0	0.0	2	2.4	4	1.7
100	2	2.5	2	2.0	2	3.4	4	3.1
120	3	2.2	4	2.4	9	5.5	4	1.0
140	3	2.2	4	2.4	9	5.5	4	1.0

Tabla 10: Agua útil (mm) hasta 140 cm de profundidad en capas de 20 cm en el estadio de madurez fisiológica de los CC para el sitio General Pinto año 2006 promedios de los 4 bloques y desvíos estándares. A (avena), C (centeno), R (rye grass) y T (testigo).

Profundidad	A		C		R		T	
	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.
20	3	3.48	9	5.23	3	6.84	15	9.25
40	6	4.04	12	4.74	12	4.46	18	8.82
60	6	3.42	11	6.16	11	1.37	15	4.97
80	3	0.54	5	1.22	5	2.16	7	2.75
100	3	1.51	5	2.29	4	1.18	7	2.75
120	6	2.13	8	2.99	7	1.82	8	4.39
140	6	2.13	8	2.99	7	1.82	8	4.39

Tabla 11: Agua útil (mm) hasta 140 cm de profundidad en capas de 20 cm en el estadio de soja R2 para el sitio General Pinto año 2007 promedios de los 4 bloques y desvíos estándares. A (avena), C (centeno), R (rye grass) y T (testigo).

Profundidad	A		C		R		T	
	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.
20	18	2.18	22	11.97	20	1.43	19	1.39
40	16	6.2	14	7.83	18	3.42	18	2.04
60	11	2.8	4	5.27	13	5.51	6	5.21
80	3	2.24	0	0.84	3	3.77	1	2.05
100	1	1.6	5	9.01	1	0.92	0	0.26
120	3	1.54	2	1.84	2	1.75	2	1.45
140	3	1.54	2	1.84	2	1.75	2	1.45

Tabla 12: Agua útil (mm) hasta 140 cm de profundidad en capas de 20 cm en el estadio de soja R8 para el sitio General Pinto año 2007 promedios de los 4 bloques y desvíos estándares. A (avena), C (centeno), R (rye grass) y T (testigo).

Profundidad	A		C		R		T	
	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.
20	21	24	28	28	28	28	28	28
40	23	21	27	27	27	27	26	26
60	20	17	19	19	19	19	21	21
80	15	56	18	18	18	18	16	16
100	20	20	17	17	17	17	20	20
120	20	20	17	17	17	17	20	20
140	20	20	17	17	17	17	20	20

Tabla 13: Agua útil (mm) hasta 140 cm de profundidad en capas de 20 cm a la siembra de los CC para el sitio General Villegas año 2005 promedios de los 3 bloques y desvíos estándares.

Profundidad	Siembra	
	Prom.	Desv.
20	9	1.72
40	19	0.34
60	16	1.56
80	12	0.82
100	18	2.34
120	20	1.86
140	23	4.2

Tabla 14: Agua útil (mm) hasta 140 cm de profundidad en capas de 20 cm en el estadio de madurez fisiológica de los CC para el sitio General Villegas año 2005 promedios de los 3 bloques y desvíos estándares. A (avena), C (centeno), R (rye grass) y T (testigo).

Profundidad	A		C		R		T	
	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.
20	0	0	0	0	0	0	5	6.09
40	0	1.31	0	3.35	0	3.75	16	4.48
60	0	3.14	0	8.23	0	1.25	17	2.57
80	0	0	0	0	0	0	14	6.79
100	2	0	10	0	5	0	12	6.79
120	14	0	15	0.84	15	0	17	6.49
140	22	1.35	27	3.35	23	4.02	23	3.4

Tabla 15: Agua útil (mm) hasta 140 cm de profundidad en capas de 20 cm a la siembra del cultivo de soja para el sitio General Villegas año 2005 promedios de los 3 bloques y desvíos estándares. A (avena), C (centeno), R (rye grass) y T (testigo).

Profundidad	A		C		R		T	
	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.
20	0	0	2	2.68	2	3.51	16	2.54
40	0	1.78	0	4.59	0	4.02	18	0.98
60	0	1.28	0	3.98	0	6.04	18	0.89
80	2	0	0	0	1	0	12	5.35
100	4	0	6	0	5	0	7	8.1
120	11	3.13	14	0	12	2.02	14	6.09
140	18	2.87	20	3.56	20	5.13	20	5

Tabla 16: Agua útil (mm) hasta 140 cm de profundidad en capas de 20 cm en el estadio de soja R8 para el sitio General Villegas año 2006 promedios de los 4 bloques y desvíos estándares. A (avena), C (centeno), R (rye grass) y T (testigo).

Profundidad	A		C		R		T	
	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.
20	8	2.26	6	4.19	6	2.03	8	2.58
40	14	1.42	12	3.58	13	1.13	15	1.08
60	13	2.06	12	5.18	14	1.62	16	5.65
80	10	3.31	11	5.54	13	5.45	13	5.18
100	10	4.27	13	10.65	10	4.04	10	4.81
120	11	4.35	12	7.37	12	5.48	11	4.94
140	11	4.35	12	7.37	12	5.48	11	4.94

Tabla 17: Agua útil (mm) hasta 140 cm de profundidad en capas de 20 cm en el estadio de macollaje de los CC para el sitio General Villegas año 2006 promedios de los 4 bloques y desvíos estándares. A (avena), C (centeno), R (rye grass) y T (testigo).

Profundidad	A		C		R		T	
	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.
20	8	2.26	9	7.62	9	4.72	11	7.78
40	11	4.35	11	4.3	9	5.67	13	3.31
60	14	2.52	12	5.15	14	1.76	15	2.91
80	13	4.08	10	4.52	12	5.04	12	4.09
100	10	3.59	10	5.71	11	4.56	10	5.39
120	10	4.13	14	9.89	11	5	11	4.8
140	10	4.13	14	9.89	11	5	11	4.8

Tabla 18: Agua útil(mm) hasta 140 cm de profundidad en capas de 20 cm en el estadio de madurez fisiológica de los CC para el sitio General Villegas año 2006 promedios de los 4 bloques y desvíos estándares. A (avena), C (centeno), R (rye grass) y T (testigo).

Profundidad	A		C		R		T	
	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.
10	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
20	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
30	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
40	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
60	0	0.0	0	0.0	5	5.0	10	4.3
80	3	6.2	1	2.2	8	6.3	11	9.5
100	5	9.7	2	3.3	6	7.3	10	8.7
120	9	6.7	3	4.3	10	6.2	9	6.3
140	9	6.7	3	4.3	10	6.2	9	6.3

Tabla 19: Agua útil (mm) hasta 140 cm de profundidad en capas de 20 cm al momento de la siembra de soja para el sitio General Villegas año 2006 promedios de los 4 bloques y desvíos estándares.

Profundidad	Siembra soja	
	Prom.	Desv.
20	25	3.0
40	25	2.7
60	25	1.3
80	18	5.0
100	16	5.1
120	18	6.8
140	18	6.8

8

Tabla 20: Agua útil (mm) hasta 140 cm de profundidad en capas de 20 cm en el estadio R2 de soja para el sitio General Villegas año 2007 promedios de los 4 bloques y desvíos estándares. A (avena), C (centeno), R (rye grass) y T (testigo).

Profundidad	A		C		R		T	
	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.
20	14	2.85	10	4.35	9	2.5	9	3.65
40	14	4.23	8	6.14	8	4.6	9	5.47
60	13	4.84	9	7.57	7	2.95	7	2.39
80	12	5.99	10	8.08	10	3.69	8	6.78
100	14	6.68	13	2.09	15	4.28	15	8.29
120	20	5.41	18	5.08	19	4.69	19	7.83
140	20	5.41	18	5.08	19	4.69	19	7.83

Tabla 21: Agua útil (mm) hasta 140 cm de profundidad en capas de 20 cm en el estadio R8 de soja para el sitio General Villegas año 2007 promedios de los 4 bloques y desvíos estándares. A (avena), C (centeno), R (rye grass) y T (testigo).

Profundidad	A		C		R		T	
	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.
10	5	0.9	11	2.8	5	2.0	8	4.9
20	7	2.6	9	2.2	6	1.5	8	1.7
30	7	2.4	9	2.2	7	0.8	8	2.1
40	9	1.1	10	2.4	9	1.0	11	2.0
60	20	1.8	22	2.2	20	1.4	22	2.4
80	23	2.2	24	1.7	27	5.9	24	3.4
100	29	1.3	28	7.2	29	2.5	26	6.5
120	29	11.0	29	11.6	33	3.1	30	3.7
140	29	11.0	29	11.6	33	3.1	30	3.7

Tabla 22: Agua útil (mm) hasta 140 cm de profundidad en capas de 20 cm a la siembra de los CC para el sitio Dorila año 2006 promedios de los 4 bloques y desvíos estándares.

Profundidad	Siembra	
	Prom.	Desv.
20	13	2.8
40	14	0.7
60	12	0.7
80	11	1.4
100	8	2.8
120	7	0.0
140	7	0.0

Tabla 23: Agua útil (mm) hasta 140 cm de profundidad en capas de 20 cm en el estadio de macollaje de los CC para el sitio Dorila año 2006 promedios de los 4 bloques y desvíos estándares. C (centeno) y T (testigo).

Profundidad	C		T	
	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.
20	16	5.45	14	1.77
40	13	3.21	13	0.38
60	13	1.8	11	0.83
80	21	14.26	9	2.17
100	10	0.53	10	2.99
120	9	0.88	9	3.55
140	13	3.9	16	5.69

Tabla 24: Agua útil (mm) hasta 140 cm de profundidad en capas de 20 cm en el estadio de madurez fisiológica de los CC para el sitio Dorila año 2006 promedios de los 4 bloques y desvíos estándares. C (centeno) y T (testigo).

Profundidad	C		T	
	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.
10	4	0.8	12	0.7
20	7	1.5	14	0.7
30	4	2.0	14	2.6
40	1	0.5	11	0.9
60	2	1.1	16	10.7
80	2	0.6	20	8.8
100	1	0.9	11	1.0
120	2	1.4	10	1.8
140	2	1.4	10	1.8

Tabla 25: Agua útil (mm) hasta 140 cm de profundidad en capas de 20 cm en el estadio de R8 del cultivo de soja para el sitio Dorila año 2007, promedios de los 4 bloques y desvíos estándares. C (centeno) y T (testigo).

Profundidad	C		T	
	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.
10	16	5.1	13	2.8
20	10	1.8	10	1.5
30	11	0.7	11	1.2
40	10	2.3	8	1.1
60	18	2.9	16	2.8
80	15	1.6	15	1.8
100	14	1.4	14	1.7
120	15	2.4	14	1.1
140	15	2.4	14	1.1

Tabla 26: Agua útil (mm) hasta 140 cm de profundidad en capas de 20 cm a la siembra de los CC para el sitio Luan Toro año 2006 promedios de los 4 bloques y desvíos estándares.

Profundidad	Siembra	
	Prom.	Desv.
20	13	1.7
40	9	4.8
60	10	2.4
80	8	2.2
100	14	5.6
120	31	5.6
140	31	5.6

Tabla 27: Agua útil (mm) hasta 140 cm de profundidad en capas de 20 cm al momento que se dio de baja el ensayo para el sitio Luan Toro año 2006 promedios de los 3 bloques y desvíos estándares.

Profundidad	Pérdida del ensayo	
	Prom.	Desv.
20	1	1.0
40	6	2.0
60	8	2.0
80	7	1.5
100	7	1.5

Materia Seca de los cultivos de cobertura

Tabla 28: Materia seca (kg ha^{-1}) producida por los CC A (avena), C (centeno) y R (rye grass) en los distintos momentos de evaluación año 2005 Gral Pinto. Promedios de 3 bloques y desvíos estándar.

Momento	Tratamiento	Materia seca	Desvío Estándar
Macollaje	A	2756	476
	C	1569	182
	R	776	116
Encañazon	A	2891	370
	C	3138	169
	R	2035	304
Madures fisiológica	A	7447	361
	C	10567	733
	R	6384	909

Tabla 29: Materia seca (kg ha^{-1}) producida por los CC A (avena), C (centeno) y R (rye grass) en los distintos momentos de evaluación año 2006 Gral Pinto. Promedios de 3 bloques y desvíos estándar.

Momento	Tratamiento	Materia seca	Desvío Estándar
Macollaje	A	1304	348
	C	2349	1050
	R	1001	259
Encañazon	A	4029	696
	C	6092	945
	R	2141	584
Madures fisiológica	A	6653	1931
	C	6789	2208
	R	4357	1289

Tabla 30: Materia seca (kg ha^{-1}) producida por los CC A (avena), C (centeno) y R (rye grass) al momento del secado de los CC año 2005 y 2006 Gral Villegas. Promedios de 3 bloques y desvíos estándar.

Año	Tratamiento	Materia seca	Desvío estándar
2005	A	6080	470
	C	6127	502
	R	3800	143
2006	A	2086	328
	C	3670	178
	R	1226	134

Tabla 31: Materia seca (kg ha^{-1}) producida por el CC C (centeno) al momento del secado de los CC año 2006 Dorila. Promedios de 4 bloques y desvíos estándar.

Fecha	Tratamiento	Materia seca	Desvío estándar
Madurez fisiológica	C	4232	701

Materia Seca de Soja

Tabla 32: Materia seca (kg ha^{-1}) producida por el cultivo de soja que sucedió a los tratamientos con CC A (avena), C (centeno), R (rye grass) y T (testigo) en los estadios R1 y R3 año 2005 Gral Pinto. Promedios de 3 bloques y desvíos estándar.

Momento	Tratamientos	Materia seca	Desvio Estándar
R1	A	1076	190
	C	1413	242
	R	969	120
	T	1797	99
R3	A	3462	580
	C	3364	96
	R	2824	74
	T	3835	335

Tabla 33: Materia seca (kg ha^{-1}), altura de plantas y número de plantas por metro lineal del cultivo de soja que sucedió a los tratamientos con CC A (avena), C (centeno), R (rye grass) y T (testigo) en el estadio de R1 año 2006 Gral Pinto Promedios de 4 bloques y desvíos estándar.

Momento	Tratamiento	Materia seca		Altura cm		Nº de plantas metro lineal	
		Promedio	Desvio Estándar	Promedio	Desvio Estándar	Promedio	Desvio Estándar
R1	A	5311	468	76	5.7	19	3.2
	C	5061	374	83	3.6	18	2.6
	R	5017	1270	77	2.0	19	2.2
	T	5774	221	78	4.4	22	1.0

Tabla 34: Materia seca (kg ha^{-1}) y número de plantas por metro lineal del cultivo de soja que sucedió a los tratamientos con CC A (avena), C (centeno), R (rye grass) y T (testigo) en el estadio de R1 año 2006 Gral Villegas. Promedios de 3 bloques y desvíos estándar.

Tratamiento	Materia seca		Nº de plantas metro lineal	
	Promedio	desvío estándar	Promedio	desvío estándar
A	1411	96	20	1
C	1546	171	18	2
R	1322	283	21	4
T	1929	361	22	1

Tabla 35: Materia seca (kg ha^{-1}), altura de plantas y número de plantas por metro lineal del cultivo de soja que sucedió a los tratamientos con CC A (avena), C (centeno), R (rye grass) y T (testigo) en el estadio de R1 año 2007 Gral Villegas. Promedios de 4 bloques y desvíos estándar.

Momento	Tratamiento	Materia seca ⁻¹		Altura cm		Nº de plantas metro lineal	
		Promedio	Desvío Estándar	Promedio	Desvío Estándar	Promedio	Desvío Estándar
R1	A	5270	387	85	4.5	20.5	2.4
	C	5517	503	86	3.3	23.0	2.2
	R	4961	479	83	4.8	22.8	3.9
	T	5446	371	87	4.2	24.3	4.1

Tabla 36: Materia seca (kg ha⁻¹) y número de plantas por metro lineal del cultivo de soja que sucedió a los tratamientos C (centeno) y T (Testigo) en el estadio de R1 año 2007 Dorila Promedios de 2 bloques y desvíos estándar.

Tratamientos	Materia seca soja		Número de plantas metro lineal	
	Promedio	Desvío Estándar	Promedio	Desvío Estándar
C	16.5	3.5	2238	124
T	18.5	2.1	3027	351

Contenido de nutrientes presentes en la Materia seca de los CC.

Tabla 37: Contenido de carbono (C), nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) en Kg ha⁻¹ evaluados en la materia seca producida por los tratamientos avena (A), centeno (C) y rye grass (R) al momento del secado de los CC Gral. Pinto año 2005 promedios de 4 bloques y desvíos estándar.

Tratamientos	C		N		P		S	
	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.
A	3164	65	219	16.0	18.6	1.4	11.5	0.9
C	4526	66	275	32.1	29.8	0.5	29.4	1.1
R	2688	25	237	6.5	19.0	0.7	20.0	0.8

Tabla 38: Contenido de carbono (C), nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) en Kg ha⁻¹ evaluados en la materia seca producida por los tratamientos avena (A), centeno (C) y rye grass (R) en los momentos de encañazón y secado de los CC Gral. Pinto año 2006. Promedios de 4 bloques y desvíos estándar.

Momento	Tratamientos	C		N		P		S	
		Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.
Encañazón	A	1744	32.6	69	13.2	5.7	0.15	5.6	1.5
	C	2676	47.2	100	12.2	8.6	0.72	7.6	1.8
	R	927	20.1	39	7.3	3.1	0.15	3.0	0.5
Madurez fisiológica	A	2826	26.2	111	14.0	11.5	0.4	7.9	0.6
	C	2938	36.8	85	20.3	13.1	0.5	6.0	0.5
	R	1797	12.0	76	3.7	8.7	0.3	5.3	0.5

Tabla 39: Contenido de carbono (C), nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) en Kg ha⁻¹ evaluados en la materia seca producida por los tratamientos avena (A), centeno (C) y rye grass (R) al momento del secado de los CC Gral. Villegas año 2005 promedios de 4 bloques y desvíos estándar.

Tratamientos	C		N		P		S	
	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.
A	2584	39.5	79	6.0	6.31	0.76	5.60	1.81
C	2627	5.2	78	4.9	5.80	0.77	6.02	0.50
R	1586	6.9	56	2.4	5.23	0.59	5.21	0.87

Tabla 40: Contenido de carbono (C), nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) en Kg ha⁻¹ evaluados en la materia seca producida por los tratamientos avena (A), centeno (C) y rye grass (R) al momento del secado de los CC Gral. Villegas año 2006 promedios de 4 bloques y desvíos estándar.

Tratamientos	C		N		P		S	
	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.
A	880	9.0	42	3.5	2.15	0.30	1.92	0.23
C	1574	31.7	57	3.6	5.03	0.35	2.84	0.43
R	503	11.0	29	2.1	1.21	0.28	1.36	0.04

Tabla 41: Contenido de carbono (C), nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) en Kg ha⁻¹ evaluados en la materia seca producida por el cultivo de centeno al momento del secado del mismo Dorila año 2006. Promedios de 4 bloques y desvíos estándar.

C		N		P		S	
						Promedio	Desvío estándar.
1847	27.9	80	7.8	9.65	1.96	5.99	0.88

Resistencia a la penetración

Tabla 42: Valores de resistencia a la penetración (MPa) medidos con penetrometro de golpe en capas de 5 cm hasta la profundidad de 40 cm al momento de la siembra de los CC Gral. Pinto año 2006. Promedio de 2 bloques y desvío estándar.

Profundidad	Siembra	
	Prom.	Desv.
5	0.89	0.26
10	1.02	0.13
15	0.98	0.25
20	0.89	0.52
25	0.90	0.73
30	0.92	0.94
35	0.95	1.16
40	0.98	1.37

99

Tabla 43: Valores de resistencia a la penetración (MPa) medidos con penetrometro de golpe en capas de 5 cm hasta la profundidad de 40 cm al momento de macollaje de los CC Gral. Pinto año 2006. Promedio de 2 bloques y desvío estándar. A (avena), C (centeno), R (rye grass) y T (testigo).

Profundidad	A		C		R		T	
	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.
5	1.75	0.27	2.40	0.36	1.61	0.41	1.31	0.31
10	2.02	0.31	2.77	0.69	2.09	0.45	1.23	0.29
15	1.75	0.31	2.43	0.65	1.79	0.22	1.12	0.34
20	1.49	0.48	1.80	0.62	1.26	0.19	0.94	0.26
25	1.17	0.41	1.40	0.53	1.01	0.12	0.75	0.14
30	0.90	0.31	1.04	0.36	0.73	0.17	0.63	0.12
35	0.75	0.19	0.84	0.26	0.68	0.10	0.53	0.07
40	0.65	0.09	0.70	0.31	0.60	0.08	0.49	0.07

Tabla 44: Valores de resistencia a la penetración (MPa) medidos con penetrómetro de golpe en capas de 5 cm hasta la profundidad de 40 cm al momento de encañazon de los CC Gral. Pinto año 2006. Promedio de 4 bloques y desvío estándar. A (avena), C (centeno), R (rye grass) y T (testigo).

Profundidad	A		C		R		T	
	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.
5	2.29	0.51	2.11	0.76	1.78	0.25	1.16	0.61
10	2.67	0.72	3.11	1.12	2.48	0.73	1.01	0.44
15	2.84	0.65	3.01	0.85	2.64	0.71	0.89	0.41
20	2.72	0.75	2.52	0.45	2.34	0.76	0.73	0.26
25	2.38	0.52	2.08	0.36	1.90	0.71	0.60	0.18
30	1.97	0.45	1.75	0.31	1.52	0.42	0.40	0.14
35	1.72	0.43	1.45	0.19	1.27	0.42	0.35	0.11
40	1.44	0.28	1.29	0.25	1.05	0.29	0.33	0.07

Tabla 45: Valores de resistencia a la penetración (MPa) medidos con penetrómetro de golpe en capas de 5 cm hasta la profundidad de 40 cm al momento del secado de los CC Gral. Villegas año 2006. Promedio de 4 bloques y desvío estándar. A (avena), C (centeno), R (rye grass) y T (testigo).

Profundidad	A		C		R		T	
	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.
5	2.02	0.43	2.43	0.47	2.51	1.11	2.06	1.01
10	2.46	0.32	2.56	0.23	2.79	1.42	1.78	1.14
15	2.56	0.57	3.05	0.43	2.81	1.07	1.28	0.75
20	2.41	0.44	3.02	0.66	2.29	0.64	1.05	0.60
25	2.10	0.44	2.76	0.89	1.75	0.36	0.81	0.38
30	1.79	0.56	2.40	0.75	1.33	0.37	0.58	0.21
35	1.43	0.45	2.46	1.29	1.00	0.27	0.55	0.09
40	1.27	0.31	2.63	1.39	0.81	0.21	0.49	0.04

Tabla 46: Valores de resistencia a la penetración (MPa) medidos con penetrómetro de golpe en capas de 5 cm hasta la profundidad de 40 cm al momento de la cosecha del cultivo de soja Gral. Villegas año 2007. Promedio de 4 bloques y desvío estándar. A (avena), C (centeno), R (rye grass) y T (testigo).

Profundidad	A		C		R		T	
	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.
5	0.70	0.09	0.70	0.08	0.83	0.26	0.79	0.12
10	0.77	0.08	0.70	0.10	0.96	0.35	0.83	0.09
15	0.86	0.11	0.75	0.19	0.99	0.26	0.79	0.07
20	0.76	0.16	0.65	0.22	0.84	0.14	0.65	0.07
25	0.64	0.16	0.53	0.28	0.67	0.12	0.52	0.11
30	0.48	0.15	0.47	0.28	0.45	0.08	0.43	0.06
35	0.38	0.12	0.40	0.24	0.41	0.07	0.32	0.04
40	0.37	0.05	0.45	0.34	0.36	0.03	0.35	0.09

Tabla 47: Valores de resistencia a la penetración (MPa) medidos con penetrómetro de golpe en capas de 5 cm hasta la profundidad de 40 cm al momento de la siembra del centeno. Dorila año 2006. Promedio de 4 bloques y desvío estándar.

Profundidad	Siembra	
	Prom.	Desv.
5	0.25	0.05
10	0.36	0.08
15	0.38	0.06
20	0.43	0.10
25	0.48	0.09
30	0.39	0.08
35	0.35	0.08
40	0.33	0.06

Tabla 48: Valores de resistencia a la penetración (MPa) medidos con penetrómetro de golpe en capas de 5 cm hasta la profundidad de 40 cm al momento del macollaje del centeno. Dorila año 2006. Promedio de 4 bloques y desvío estándar. C (centeno) y T (testigo).

Profundidad	C		T	
	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.
5	0.14	0.07	0.10	0.00
10	0.20	0.15	0.15	0.06
15	0.36	0.29	0.22	0.15
20	0.65	0.48	0.43	0.29
25	0.90	0.45	0.60	0.23
30	0.90	0.40	0.78	0.11
35	0.79	0.24	0.72	0.11
40	0.68	0.19	0.64	0.08

Tabla 49: Valores de resistencia a la penetración (MPa) medidos con penetrómetro de golpe en capas de 5 cm hasta la profundidad de 40 cm al momento del secado del centeno. Dorila año 2006. Promedio de 4 bloques y desvío estándar. C (centeno) y T (testigo).

Profundidad	C		T	
	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.
5	0.28	0.09	0.40	0.10
10	0.37	0.09	0.47	0.22
15	0.44	0.13	0.54	0.28
20	0.51	0.14	0.57	0.33
25	0.50	0.18	0.50	0.28
30	0.48	0.12	0.51	0.32
35	0.53	0.30	0.49	0.35
40	0.46	0.25	0.46	0.36

Tabla 50: Valores de resistencia a la penetración (MPa) medidos con penetrómetro de golpe en capas de 5 cm hasta la profundidad de 40 cm al momento de la cosecha del cultivo de soja. Dorila año 2006. Promedio de 4 bloques y desvío estándar. C (centeno) y T (testigo).

Profundidad	C		T	
	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.
5	0.50	0.03	0.43	0.12
10	0.58	0.07	0.54	0.23
15	0.71	0.12	0.76	0.13
20	0.72	0.10	0.77	0.09
25	0.76	0.13	0.76	0.07
30	0.66	0.04	0.72	0.09
35	0.57	0.08	0.62	0.08
40	0.48	0.03	0.54	0.03

Tabla 51: Valores de resistencia a la penetración (MPa) medidos con penetrómetro de golpe en capas de 5 cm hasta la profundidad de 40 cm al momento de la siembra de los CC. Luan Toro año 2006. Promedio de 4 bloques y desvío estándar.

Profundidad	Siembra	
	Prom.	Desv.
5	3.72	1.60
10	2.82	0.83
15	3.52	1.28
20	3.24	1.44
25	2.49	1.00
30	2.06	0.72
35	1.99	0.66
40	1.78	0.53

Nitrógeno de Nitratos

Tabla 52: Contenido de N-NO₃ (kg ha⁻¹) a la siembra, macollaje, encañazon y madurez fisiológica de los CC para las profundidades 0-20 y 20-60 cm, Gral. Pinto Año 2005. Promedios de 3 bloques y desvíos estándar. A (avena), C (centeno), R (rye grass) y T (testigo).

Fecha	Tratamiento	0-20		20-60	
		Promedio	desv. estándar	Promedio	desv. estándar
Siembra	Inicio	21,6	1,0	19,2	3,7
	A	16,3	9,4	17,4	12,8
	C	15,0	5,4	15,7	7,9
	R	21,0	19,0	22,4	27,4
Macollaje	T	10,0	3,6	7,9	0,9
	A	7,9	0,9	6,2	2,2
	C	8,2	2,9	5,7	1,0
	R	7,9	2,1	7,0	2,7
Encañazon	T	23,9	7,8	34,6	2,1
	A	4,8	0,2	10,9	1,9
	C	9,3	8,0	18,4	7,5
	R	5,5	1,1	10,2	0,3
Madurez fisiológica	T	10,4	8,6	17,8	3,3

Tabla 53: Contenido de N-NO₃ (kg ha⁻¹) a la siembra, macollaje, encañazon y madurez fisiológica de los CC para las profundidades 0-20 y 20-60 cm, Gral. Pinto Año 2006. Promedios de 4 bloques y desvíos estándar. A (avena), C (centeno), R (rye grass) y T (testigo).

Fecha	Tratamiento	0-20		20-60	
		Promedio	Desv. estándar	Promedio	Desv. estándar
Siembra	Inicio	19.6	2.6	14.6	5.1
	A	21.6	9.5	17.1	14.3
	C	13.3	3.2	11.1	4.4
	R	34.6	15.3	39.9	20.9
Macollaje	T	33.6	5.9	34.0	2.5
	A	35.2	10.2	24.8	10.8
	C	10.9	3.8	8.1	3.5
	R	33.9	4.9	32.0	14.8
Encañazon	T	27.8	7.1	26.0	4.7
	A	5.7	2.3	6.0	1.4
	C	7.0	1.6	6.5	0.7
	R	10.9	12.2	12.1	12.1
Madurez fisiológica	T	26.4	5.3	28.3	12.7

Tabla 54: Contenido de N-NO₃ (kg ha⁻¹) a la siembra de los CC y siembra de soja para las profundidades 0-20 y 20-60 cm, Gral. Villegas Año 2005. Promedios de 4 bloques y desvíos estándar. A (avena), C (centeno), R (rye grass) y T (testigo).

Fecha	Tratamiento	0-20		20-60	
		Promedio	Desv. estándar	Promedio	Desv. estándar
Siembra	Inicio	22.6	3.3	23.7	4.5
	A	9.8	2.2	5.7	0.5
	C	11.0	6.9	7.8	3.0
	R	8.1	5.4	5.9	1.1
Madurez fisiológica	T	27.9	6.0	27.2	8.6

Tabla 55: Contenido de N-NO₃ (kg ha⁻¹) a la siembra, macollaje y madurez fisiológica de los CC para las profundidades 0-20 y 20-60 cm, Gral. Villegas Año 2006. Promedios de 4 bloques y desvíos estándar. A (avena), C (centeno), R (rye grass) y T (testigo).

Fecha	Tratamiento	0-20		20-60	
		Promedio	Desv. estándar	Promedio	Desv. estándar
Siembra	A	27.9	5.3	27.3	4.5
	C	27.6	5.3	27.6	6.4
	R	30.6	3.7	34.3	2.8
	T	48.9	7.8	40.1	10.0
Macollaje	A	33.9	18.5	34.0	21.4
	C	28.3	18.2	28.5	15.3
	R	42.0	16.8	37.2	23.1
	T	67.1	42.6	60.8	56.4
Madurez fisiológica	A	8,4	3,9	9,4	1,1
	C	4,2	0,1	9,0	0,5
	R	6,9	1,8	11,7	4,3
	T	9,1	5,5	14,1	6,4

Tabla 56: Contenido de N-NO₃ (kg ha⁻¹) a la siembra, macollaje y madurez fisiológica del cultivo de centeno para las profundidades 0-20 y 20-60 cm, Dorila Año 2006. Promedios de 4 bloques y desvíos estándar. C (centeno) y T (testigo).

Fecha	Tratamiento	0-20		20-60	
		Promedio	Desv. estándar	Promedio	Desv. estándar
Siembra	Inicio	6,0	1,6	7,0	2,8
	C	16,0	9,9	22,9	0,2
Macollaje	T	22,0	5,7	19,3	3,0
	C	15,2	5,2	11,4	3,7
Madurez fisiológica	T	35,0	7,9	26,7	5,5

Tabla 57: Contenido de N-NO₃ (kg ha⁻¹) a macollaje y madurez fisiológica del cultivo de centeno para las profundidades 0-20 y 20-60 cm, Luan Toro Año 2006. Promedios de 4 bloques y desvíos estándar.

Fecha	Tratamiento	0-20		20-60	
		Promedio	Desv. estándar	Promedio	Desv. estándar
Siembra	Inicio	10.5	7	41.1	3.8

Rendimiento y sus componentes del cultivo de soja sucesor de los CC

Tabla 58: Rendimiento (Kg ha^{-1}), Peso de mil granos (gr.), número de granos m^{-2} , plantas m^{-2} del cultivo de soja que sucedió a los CC avena (A), centeno (C), rye grass (R) y testigo (T). Promedio de 3 bloques y desvío estándar, Gral. Pinto Año 2005/06.

Tratamiento	Rendimiento Kg ha^{-1}		Peso de mil granos gr.		Número de granos m^{-2}		Número plantas m^{-2}	
	Promedio	Desvío estándar	Promedio	Desvío estándar	Promedio	Desvío estándar	Promedio	Desvío estándar
A	4990	434	139.2	7.3	3585	263	39	4.7
C	5418	396	151.7	3.4	3574	309	45	5.1
R	5343	801	149.4	4.0	3581	579	42	6.4
T	5240	500	141.9	11.7	3758	495	40	3.5

Tabla 59: Rendimiento (Kg ha^{-1}), Peso de mil granos (gr.), número de granos m^{-2} , plantas m^{-2} del cultivo de soja que sucedió a los CC avena (A), centeno (C), rye grass (R) y testigo (T). Promedio de 4 bloques y desvío estándar, Gral. Pinto Año 2006/07.

Tratamiento	Rendimiento Kg ha^{-1}		Peso de mil granos gr.		Numero de granos m^{-2}		Numero plantas m^{-2}	
	Promedio	Desvío estándar	Promedio	Desvío estándar	Promedio	Desvío estándar	Promedio	Desvío estándar
A	5276	68	198.6	7.8	2660	130	64.0	11
C	5346	353	191.48	9.7	2802	300	62.0	11
R	5267	903	202.81	4	2604	492	58	8
T	4772	188	193.4	6	2467	95	62	7

Tabla 60: Rendimiento (Kg ha^{-1}), Peso de mil granos (gr.), número de granos m^{-2} , plantas m^{-2} del cultivo de soja que sucedió a los CC avena (A), centeno (C), rye grass (R) y testigo (T). Promedio de 3 bloques y desvío estándar, Gral. Villegas Año 2005/06.

Tratamiento	Rendimiento Kg ha^{-1}		Peso de mil granos gr.		Número de granos m^{-2}		Número plantas m^{-2}	
	Promedio	Desvío estándar	Promedio	Desvío estándar	Promedio	Desvío estándar	Promedio	Desvío estándar
A	2448	546	172.01	4.4	1533.8	276	35.1	1.9
C	3472	1076	171.7	2.6	2042.2	629	32.8	1.8
R	3474	816	167.08	8.7	1875.9	405	36.8	1.9
T	3620	861	164.8	5.6	2123.6	503	35.5	2.2

Tabla 61: Rendimiento (Kg ha^{-1}), Peso de mil granos (gr.), número de granos m^{-2} , plantas m^{-2} del cultivo de soja que sucedió a los CC avena (A), centeno (C), rye grass (R) y testigo (T). Promedio de 4 bloques y desvío estándar, Gral. Villegas Año 2006/07.

Tratamiento	Rendimiento Kg ha^{-1}		Peso de mil granos gr.		Número de granos m^{-2}		Número plantas m^{-2}	
	Promedio	Desvío estándar	Promedio	Desvío estándar	Promedio	Desvío estándar	Promedio	Desvío estándar
A	4561	96.6	146.7	0.0	3885	82.3	41.3	1.4
C	4730	823.9	160.6	5.8	3673	508.7	42.3	2.7
R	3983	268.0	161.8	11.5	3077	11.1	31.7	1.4
T	4209	616.6	150.0	1.0	3510	537.2	41.3	4.1

Tabla 62: Rendimiento (Kg ha^{-1}), Peso de mil granos (gr.), número de granos m^{-2} , plantas m^{-2} del cultivo de soja que sucedió a los CC avena (A), centeno (C), rye grass (R) y testigo (T). Promedio de 4 bloques y desvío estándar, Dorila Año 2006/07.

Tratamiento	Rendimiento Kg ha^{-1}		Peso de mil granos gr.		Número de granos m^{-2}		Número plantas m^{-2}	
	Promedio	Desvío estándar	Promedio	Desvío estándar	Promedio	Desvío estándar	Promedio	Desvío estándar
A	-	-	-	-	-	-	-	-
C	1069	124.1	141.05	9.3	757	57.7	29	2.4
R	-	-	-	-	-	-	-	-
T	1271	73.4	147.15	2.8	864	52.1	28	2.7

Población de malezas.

Tabla 63: Composición (nombre y número) de malezas por m². Gral Villegas, año 2005, promedio de 4 bloques y desvío estándar. A (avena), C (centeno), R (rye grass) y T (testigo).

Trat	Lamio		Bowlesia		Veronica		Caapiqui		Quinoa		Viola		Capsella	
	Prom	Desv	Prom	Desv.	Prom	Desv	Prom	Desv	Prom	Desv	Prom	Desv	Prom	Desv
A	71.40	18.68	9.40	10.28	15.40	12.40	8.40	6.28	2.40	2.08	5.80	4.96	6.60	7.80
C	55.40	24.76	17.00	12.52	8.80	9.48	17.00	16.80	1.00	2.00	14.20	20.60	6.60	12.16
R	81.20	36.56	13.60	6.68	10.00	11.12	16.40	9.64	0.00	0.00	31.40	59.64	3.80	3.28
T	130.40	100.64	29.80	13.60	14.40	3.96	7.80	6.68	2.60	2.72	50.20	57.36	7.60	10.04

111

Tabla 64: Composición (nombre y número) de malezas por m². Gral Villegas, año 2006. Promedio de 4 bloques y desvío estándar. A (avena), C (centeno), R (rye grass) y T (testigo).

Trat.	Lamio		Bowlesia		Veronica		Caapiqui		Viola		Capsella	
	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.	Prom.	Desv.
A	8.00	2.80	0.80	0.80	5.60	4.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.80
C	14.40	12.00	1.20	2.40	10.40	11.60	2.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00
R	14.00	9.60	1.60	2.00	2.40	2.40	2.00	4.00	5.20	7.60	0.00	0.00
T	11.20	8.40	26.80	24.00	17.60	8.40	4.40	7.60	6.00	12.00	7.20	8.40

Precipitaciones

Tabla 67: Precipitaciones (mm) diarias y total mensual registradas por pluviómetro manual en el sitio de ensayo. General Pinto año 2005.

Días	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1				15								
2			9									
3	35									25	14	
4												
5	20		24						4			
6		12										
7			100									
8	30		18									7
9												
10									14			
11												
12												
13												
14	9			25							18	
15							40					
16		17										17
17			11								8	
18												
19												
20		5	10								8	
21												
22												4
23							22	30	44		22	
24										6		
25		45										
26												
27			23							24		
28			70					13			25	
29	68								26		10	
30	5		12									
31			5									
Suma	167	79	282	40	0	0	62	43	88	55	105	28

Tabla 68: Precipitaciones (mm) diarias y total mensual registradas por pluviómetro manual en el sitio de ensayo. General Pinto año 2006.

Días	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1		20							21	32		
2	16		12			17				65		13
3			11	68						10		
4		7		17						3	28	
5												
6												
7	5		40									
8												8
9												
10	15											
11			14									
12	53									22		
13				24						25		12
14	77		20									
15												
16			40									15
17											61	
18												
19												
20	25											
21												
22		3										18
23		20										
24	34									7		
25												
26		8										
27							17			32		20
28		4								6		
29												
30					17							
31	5											19
suma	230	62	137	109	17	17	17	0	21	202	89	105

Tabla 69: Precipitaciones (mm) diarias y total mensual registradas por pluviómetro manual en el sitio de ensayo. General Pinto año 2007.

Días	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1												
2	62			110								
3		18										
4		3			4							
5												
6												
7			7						6			
8			39						7			
9		5										
10	36								3			
11				24		3						
12												
13									28			
14		5	5			15			4			
15									1			
16		80										
17		15							54			
18												
19												
20									5			
21		27										
22												
23	18			9								
24							6					
25			6					4				
26	25	39	27									
27		50	4									
28												
29												
30			3									
31												
suma	141	242	91	143	4	18	6	4	108	S/D	S/D	S/D

Tabla 70: Precipitaciones (mm) diarias y total mensual registradas por la estación automática en el sitio de ensayo. General Villegas año 2005.

Días	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1												
2	13		12.5			6				0.2		
3	14.5									14.8	24.2	0.8
4												6.6
5	7		3		0.5	1.5			2			
6	85		14									
7		11	61.5									4.4
8			4									
9					2							
10									11.5		7.2	
11												
12												
13												
14				18.5			12.8				28.2	1.8
15	9.5						20				0.2	
16	1	38				2.5						3.4
17											11	
18			12.5									
19						2					1.4	
20		3.5										
21			18								4	
22										3.8	6.8	14
23							13	15				
24	6						5			9.2	12.2	
25												
26												
27			40.5							10.4		
28		2	27								5.8	0.8
29	13		51					10	24		63.6	6
30	48											
31	2		9.5									
suma	199	54.5	253.5	18.5	2.5	12	50.8	25	37.5	38.4	164.6	37.8

Tabla 71: Precipitaciones (mm) diarias y total mensual registradas por la estación automática en el sitio de ensayo. General Villegas año 2006.

Días	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	1								10	7.8		18
2			9.2	14		2				54.2		
3			1.2	9.8	0.2					2.2		
4		5								1.2		17
5				10.6						0.4	19.4	
6	1.6											
7	7		42.4		0.2	0.4	1					
8	1.4	35		0.6	0.2							
9	18.2				0.4							11
10			9.8	0.2	0.2	0.2						
11			1.6									
12	76			1.4						6.4		
13			24.6	55	0.2		0.4			65		21.2
14				0.2		0.4				6.8	60.8	
15	80		24.2								2.2	
16			4									19.6
17												1.4
18					0.2							
19												19.8
20												
21			29.8									
22		10.4	0.2								2.2	
23		4.4				0.2						4
24	25		1			4.2				5	3	4.2
25										7.2		
26		11			0.2	0.8						19
27						0.2	9.2			23		
28		0.2										
29									0.4	7		
30					0.4	0.2				3		
31					9			0.6				21
suma	210.2	66	148	91.8	11.2	8.6	10.6	0.6	10.4	189.2	87.6	156.2

Tabla 72: Precipitaciones (mm) diarias y total mensual registradas por la estación automática en el sitio de ensayo. General Villegas año 2007.

Días	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	22		21	5.6						19.6		7.2
2	36.6			0.2			0.2					0.2
3		12.8	5.2		12.8							
4		0.2	0.4		0.6					0.2		0.2
5			0.2							8.4		
6				2.6								1.4
7									0.8			
8		2	41.8		0.2					0.8	0.6	
9		12.6	0.2							2.2	0.2	33.4
10	25.8					0.2				0.2		32.4
11				15.8		3.8			0.2	0.2		
12	0.2									2.6	0.2	
13									22.6	0.2	9.4	3.6
14		8	11.6		0.4	12.6			0.2			9.2
15	0.2	15.4	0.2			0.2			1.2	0.2		
16		17.8	3.4	0.2					0.2			
17						0.2			55			
18			0.2									
19	1.8			2				1.4	0.2	3.2		
20				0.2					5.2	0.2		
21		0.4				0.2		0.2	0.2			
22			22.8	4.8						0.2	18.6	
23	17										0.2	4.8
24				0.2			1.6					
25			1.8							0.4		
26	0.2	27.8	50.6	0.2				0.2				
27		43.8										
28		10.6	6.4									
29	9.4		1.8			0.2				0.2		
30			21.2							7.4		
31			39.2		0.2					2.6		
suma	113.2	151.4	228	31.8	14.2	17.4	1.8	1.8	85.8	48.8	29.2	92.4

Tabla 73: Precipitaciones (mm) diarias y total mensual registradas por la estación automática en el sitio de ensayo. Dorila año 2006.

Días	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	25.0						2.0		23.0			20.0
2										20.0	5.0	
3		5.0	25.0	23.0						20.0		
4	8.0										8.0	
5				13.0							37.0	
6	22.0											
7			5.0									25.0
8		10.0										
9												
10												
11			48.0									
12				9.0								
13			20.0							17.0		
14												10.0
15			45.0									
16												
17												
18												
19												15.0
20												
21			6.0									
22												
23												20.0
24	89.0									7.0		
25												
26		23.0									8.0	
27										13.0		
28										3.0		
29												
30										25.0		
31	12.0											
suma	156.0	38.0	149.0	45.0	0.0	0.0	2.0	0.0	23.0	105.0	58.0	90.0

Tabla 74: Precipitaciones (mm) diarias y total mensual registradas por la estación automática en el sitio de ensayo. Dorila año 2007.

Días	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1												
2												
3												
4			11.0		8.0							
5												
6												
7		7.0										
8												
9	23.0											
10				18.0								
11												
12												
13		6.0	23.0									
14						32.0						
15		22.0										
16		6.0										
17												
18												
19												
20												
21	8.0	12.0										
22			38.0									
23												
24		10.0										
25		25.0										
26		40.0	50.0									
27												
28												
29	8.0											
30												
31												
suma	39.0	128.0	122.0	18.0	8.0	32.0	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D

Tabla 75: Precipitaciones (mm) diarias y total mensual registradas por pluviómetro manual en el sitio de ensayo. Luan Toro 2006.

Días	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1		10							17			
2												10
3			3	5								
4		40								27		
5											28	
6												
7	10											
8		17					1					30
9		3										
10												
11			6									
12												
13				3								
14										3	5	
15												
16			20									
17				14								
18										9		
19	8									4		
20												
21												
22		5							3			
23		18										
24		3										
25	7											
26												
27		5					3			10	25	20
28	20											
29												
30												
31										5		
suma	45	101	29	22	0	0	4	0	20	58	58	60