

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EFFECTO DEL CULTIVO DE COBERTURA CON Y SIN PASTOREO SOBRE
IMPLANTACIÓN, CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE SOJA**

por

**Manuel ARTIGAS LAPITZ
Isabel GARCÍA CARRIQUIRY**

**TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo.**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2012**

Tesis aprobada por:

Director: -----

Ing. Agr. Oswaldo Ernst Benech

Ing. Agr. Sebastián Mazzilli Vanzini

Ing. Agr. Javier Coitiño López

Fecha: 30 de enero de 2012

Autor: -----

Manuel Agustín Artigas Lapitz

Isabel García Carriquiry

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestras familias, pilares fundamentales en nuestras vidas y por acompañarnos en nuestros logros y fracasos.

A Oswaldo Ernst por su dedicación y por su valiosa influencia en nuestra formación.

A Sebastian Mazzilli y Javier Coitiño por su ayuda y permanente disposición durante toda la etapa de tesis.

A la empresa Kilafen por permitirnos realizar el trabajo experimental en su predio.

A todos los funcionarios de la EEMAC que nos dio su gran apoyo durante tiempo compartido.

A todos los compañeros, especialmente generación EEMAC 2010, y amigos que de alguna u otra forma fueron parte de este trabajo.

Al servicio de Biblioteca por el aporte y ayuda de búsqueda de información para este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	2
2.1. EFECTO DE LA COBERTURA.....	2
2.1.1. <u>Estructura del suelo</u>	3
2.1.2. <u>Dinámica del agua</u>	4
2.1.2.1. Infiltración y escurrimiento.....	5
2.1.2.2. Pérdida de agua.....	5
2.1.3. <u>Temperatura</u>	6
2.1.4. <u>Efectos particulares de la avena como cultivo de cobertura</u>	7
2.2. EFECTO DEL PASTOREO.....	8
2.2.1. <u>Efecto sobre la compactación</u>	9
2.2.1.1. Medidas de compactación.....	10
2.2.1.2. Resistencia a la penetración.....	11
2.2.1.3. Densidad aparente.....	17
2.2.2. <u>Efecto sobre la estabilidad de agregados</u>	20
2.2.3. <u>Efecto sobre la infiltración y contenido de agua del suelo...</u>	21
2.2.4. <u>Efecto sobre la aireación</u>	23
2.2.5. <u>Interacción entre los factores físicos</u>	23
2.2.6. <u>Otros efectos del pastoreo</u>	24
2.3. RESPUESTA DE LA PLANTA AL AMBIENTE.....	24

2.3.1.	<u>Interferencia del rastrojo en implantación</u>	24
2.3.2.	<u>Efecto residual del pastoreo en la implantación</u>	25
2.3.3.	<u>Respuesta de las plantas a la compactación</u>	26
2.3.4.	<u>Respuesta de la soja a problemas en la implantación</u>	30
3.	<u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	31
3.1.	CARACTERISTICAS GENERALES DEL EXPERIMENTO.....	31
3.1.1.	<u>Localización</u>	31
3.1.2.	<u>Determinaciones</u>	32
3.1.2.1.	A nivel suelo.....	32
3.1.2.2.	A nivel planta.....	34
3.1.3.	<u>Análisis de datos</u>	36
4.	<u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	37
4.1.	CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA.....	37
4.2.	EFFECTO RESIDUAL DEL MANEJO DEL BARBECHO SOBRE LAS CONDICIONES DEL SUELO A LA SIEMBRA DE SOJA.....	38
4.3.	IMPLANTACIÓN.....	39
4.3.1.	<u>Agua disponible en el suelo</u>	39
4.3.2.	<u>Resistencia a la penetración</u>	40
4.3.3.	<u>Tasa de infiltración de agua</u>	43
4.3.4.	<u>Cobertura e implantación</u>	46
4.4.	EVOLUCIÓN DURANTE EL CICLO DEL CULTIVO.....	47
4.4.1.	<u>Evolución del contenido de agua en el suelo</u>	47
4.4.2.	<u>Crecimiento y desarrollo</u>	49
4.4.2.1.	Población.....	49
4.4.2.2.	Fenología, altura de planta y biomasa producida.....	50
4.4.2.3.	Rendimiento y componentes.....	52

5. <u>CONCLUSIONES</u>	55
6. <u>RESUMEN</u>	56
7. <u>SUMMARY</u>	57
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	58
9. <u>ANEXOS</u>	65

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Agua disponible (mm) 20 días post siembra, para tres profundidades y porcentaje de agua disponible con relación al máximo, sin cobertura invernal (SC) y para los tratamientos con cobertura invernal sin pastoreo (CCSP) y con pastoreo (CCP).....	39
2. Resistencia a la penetración (KPa) según profundidad de suelo en el tratamiento sin cobertura invernal (SC) y para los tratamientos con cobertura invernal sin pastoreo (CCSP) y con pastoreo (CCP).....	40
3. Tasa de infiltración (mm h^{-1}), sin cobertura invernal (SC) y para los tratamientos con cobertura invernal sin pastoreo (CCSP) y con pastoreo (CCP) en las condiciones de humedad del suelo al momento de la determinación “infiltración 1” y luego de saturado “infiltración 2”.....	43
4. Evolución del agua disponible en tres profundidades del suelo, para tres momentos del ciclo del cultivo, sin cobertura invernal (SC) y para los tratamientos con cobertura invernal sin pastoreo (CCSP) y con pastoreo (CCP).....	47
5. Evolución en el número de plantas por tratamiento.....	50
6. Fenología del cultivo para los tres tratamientos, en dos momentos del ciclo.....	50
7. Evolución de la altura de planta (cm) y biomasa del cultivo (KgMS/ha) para los tratamientos sin cobertura (SC), con cobertura pastoreada (CCP) y con cobertura sin pastoreo (CCSP).....	51
8. Componentes del rendimiento y rendimiento según tratamiento.....	53

Figura No.

1. Régimen de precipitaciones durante el período experimental comparado a la serie histórica de la zona (1960-1991).....	37
2. Distribución de precipitaciones durante pastoreo, rebrote, barbecho y cultivo de soja.....	38
3. Variabilidad en la resistencia a la penetración (RP) (KPa) en los primeros 20 mm de suelo para sin cobertura invernal (SC) y para los tratamientos con cobertura invernal sin pastoreo (CCSP) y con pastoreo (CCP).....	42
4. Variabilidad de la tasa de infiltración 2 observada (mm/h) para los tratamientos sin cobertura invernal (SC) y para los tratamientos con cobertura invernal sin pastoreo (CCSP) y con pastoreo (CCP).....	45
5. Implantación y porcentaje de cobertura del suelo para los tratamientos sin cobertura invernal (SC), con cobertura invernal sin pastoreo (CCSP) y con pastoreo (CCP).....	46

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción que se basan en un cultivo por año generan tiempos de barbecho excesivamente largos, en los que se aumenta la probabilidad de tener pérdidas de suelo y nutrientes por erosión. La utilización de cultivos de cobertura durante este período, normalmente improductivo, permite mantener el suelo cubierto, reciclar nutrientes y produce un nuevo ingreso de carbono al sistema (Ernst, 2004).

Siendo que la implantación de coberturas significa un costo sin retorno económico efectivo en el corto plazo para el sistema, el pastoreo de las mismas podría ser una alternativa válida para mitigar dichos costos. Siempre y cuando se mantengan niveles mínimos de biomasa que le permitan cumplir su rol en el sistema (García-Préchac, 1998).

Tanto el cultivo de cobertura como el pastoreo afectan el ambiente productivo. Por ende, la combinación de dichos manejos puede impactar en las condiciones en que se desarrolle el cultivo siguiente y afectar tanto la implantación, el crecimiento y el rendimiento. La cuantificación de dichos impactos en el corto plazo es el objetivo de estudio de este trabajo.

2. REVISION BIBLIOGRÁFICA

2.1. EFECTO DE LA COBERTURA

Los cultivos de cobertura reducen la erosión, mejoran la estructura incrementan la infiltración de agua, retienen el agua del suelo, y favorecen la supresión de malezas (Teasdale 1996, Sarrantonio y Gallandt 2003). Además ejercen un efecto acumulado en el tiempo sobre el contenido de materia orgánica, mejorando el balance de carbono del suelo. Es debido a estas características que es posible incrementar el potencial de rendimiento de los cultivos renta de verano, además de lograr sustentabilidad del sistema de producción (Siri y Ernst, 2011).

Los principales aspectos a considerar cuando se incorporan cultivos de cobertura invernal son:

- el uso del agua por parte del cultivos de cobertura, ya que, si no existe recarga del perfil durante el período de barbecho posterior al cultivo de cobertura, podría transformarse en una limitante para el cultivo siguiente (Corak et al., Stute y Posner, citados por Ernst, 2004).
- la temperatura del suelo, ya que la permanencia de rastrojo en superficie retrasa el calentamiento del suelo con relación a sin cobertura (Ernst, 1999).
- el tiempo de barbecho, por su efecto sobre la disponibilidad de agua, nutrientes, y en el grado de preparación de la cama de siembra (Ernst, 1999).

2.1.1. Estructura del suelo

La vegetación presenta una acción muy importante en la formación de la estructura del suelo: a) produce residuos que son fuente de energía para la actividad microbiana en la producción de polisacáridos y humus; b) el sistema radicular no solo contribuye aumentando la cantidad de residuos, sino que influye en la formación de agregados; c) la cubierta vegetal protege la estabilidad de los agregados superficiales contra la acción destructora de la lluvia (Rucks et al., 2004).

Aunque no se conoce exactamente cuál es el mecanismo de formación de agregados por parte de los sistemas radiculares, Rucks et al. (2004) lo atribuyen a las acciones siguientes:

- a) Efectos de presión producidos por las raíces al crecer, aunque su efecto sería menor.
- b) Desecación desuniforme de la masa del suelo y rehumedecimientos, que serían de los más importantes.
- c) Secreción de sustancias con efecto agregante por parte de las raíces.
- d) Interacción en la rizósfera en la que intervienen microorganismos, productos secretados por las raíces y residuos de las mismas. Dicha interacción parece muy importante, en especial debido a que en la vecindad de las raíces siempre hay gran actividad biológica, lo que se explicaría por el constante suministro de fuentes de energía (raíces muertas y secreciones). El efecto beneficioso en la agregación depende mucho del tiempo de crecimiento ininterrumpido.

Las gramíneas como cultivo de cobertura son muy eficaces en la formación de agregados, por la acción directa de las raíces. La superficie total de contacto es relativamente grande, provocando cambios constantes en la rizósfera. Las presiones que las raíces ejercen sobre las partículas del suelo ayudan también a la formación de agregados estables. La agregación del suelo generalmente aumenta el volumen de macroporos, pero disminuye los microporos. La biomasa con relación carbono/nitrógeno alta, permite un efecto agregante importante, debido a una descomposición más lenta y formación de compuestos intermediarios, siendo una alternativa eficiente de aumento del contenido de materia orgánica en el suelo (Muzilli, citado por Floss, 2000).

Es importante señalar que la materia orgánica presenta efectos directos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Sobre la estructura del suelo, presenta acción cementante, favoreciendo la formación de agregados y determinando la consistencia del suelo, con aumentos en los límites de plasticidad. Un aumento en el contenido de materia orgánica provoca incrementos de la macroporosidad y la aireación, disminuyendo la densidad aparente. También tiene efecto positivo en la capacidad de infiltración y retención de agua del suelo (Kiel, citado por Bastos et al., 2006).

2.1.2. Dinámica del agua

El agua disponible depende de factores climáticos y de la capacidad del suelo en almacenarla y liberarla; la disponibilidad está dada por el balance final entre las precipitaciones recibidas; el agua evaporada desde el suelo y la superficie vegetal; el agua infiltrada en el suelo y la que escurre en forma superficial y profunda. Este balance está determinado principalmente por la evapotranspiración potencial, la real, y el régimen hídrico (Letey, 1985).

2.1.2.1. Infiltración y escurrimiento

El contenido de agua en el suelo y la cantidad de rastrojo en superficie son dos de las variables que afectan la cantidad de agua infiltrada. Cuando se comparó suelo cubierto (cuatro toneladas de rastrojo) frente a uno descubierto, el primero logró mayores valores de infiltración tanto para suelos secos como saturados. A su vez aquellos suelos que contienen menos cantidad de agua permiten mayor infiltración (adaptado de Ernst, 1999). También Singh y Malhi, citados por Franzluebbbers y Stuedemann (2008) encontraron que el remover el rastrojo bajo sistema de no laboreo resultó en una menor infiltración que cuando se mantuvo el rastrojo.

Asimismo la cobertura protege el suelo del impacto de la lluvia reduciendo el encostramiento, lo que favorece la infiltración (Maddalena, citado por Bastos et al., 2006).

2.1.2.2. Pérdida de agua

Una vez almacenada el agua, el control de las pérdidas determina el nivel de humedad del suelo con el que se llega a la siembra. El rastrojo en superficie incide en el resultado por su efecto sobre el control de la tasa de evaporación de agua desde el suelo (May y Schmith, 1997).

Los residuos en superficie, reducen la temperatura impidiendo la difusión de vapor. Actúan como punto de condensación y absorción temporaria, también reducen la velocidad del viento en la superficie afectando el secado, permitiendo una mayor eficiencia en el uso del agua (Greb, Blevins et al., citados por Bastos et al., 2006).

El cultivo de verano dispondrá del residuo hídrico del crecimiento vegetal anterior, más las precipitaciones efectivas durante el barbecho. El efecto cobertura opera desde que se inicia el barbecho químico hasta que el cultivo cierra la entre fila. A partir de este momento, la pérdida de agua se produce mayoritariamente por transpiración, por lo que no son de esperar diferencias importantes en el balance de agua del suelo (Ernst, 1999).

2.1.3. Temperatura

Los procesos metabólicos son dependientes de la temperatura, por lo que ésta es un factor determinante en la producción de cultivos. Es muy importante en el control de la actividad microbiana y los procesos implicados en el crecimiento de las plantas (Letey, 1985).

Al inicio de la estación de siembra, el suelo se está calentando, por lo que la cobertura determina un retraso en la fecha en que se alcanza la temperatura mínima de siembra. Esto es particularmente importante en los cultivos más sensibles (sorgo granífero y forrajero, soja, moha) que requieren una temperatura mínima de 15°C y 18°C óptima (Ernst, 1999). A su vez los suelos con cobertura de rastrojo presentan una amplitud térmica menor que los labreados, por lo que ganan y pierden calor más lentamente. Para situaciones sin laboreo, el efecto depende de la cantidad y geometría del rastrojo (Ernst, 1999).

2.1.4. Efectos particulares de la avena como cultivo de cobertura

Ventajas:

La avena como cultivo de cobertura se destaca por su alta producción de biomasa y alta relación carbono/nitrógeno, 17-20 en estado vegetativo, 41 a 50 en plena floración y superior a 70 en la cosecha. Por lo que el efecto cobertura, si se le permite llegar a floración, permanecería sobre el suelo por más tiempo que si se la controla en estado vegetativo (Floss, 2000).

En un experimento realizado por Derpsch, citado por Floss (2000), se comparó el efecto de la especie de cobertura sobre el rendimiento de soja. El mayor rendimiento se obtuvo después de la cobertura de avena (3090 kg/ha), siendo estadísticamente superior al resto de los tratamientos (trigo, centeno, vicia).

Otro de los efectos del cultivo previo, está referido al impacto sobre algunos microorganismos, en el caso de la soja sembrada después de avena es menos afectada por *Rhizoctonia solani*, *Sclerotinia sclerotiorum* y nematodos (Derpsch, citado por Floss, 2000).

Desventajas:

Almeida y Rodríguez, citados por Floss (2000), realizaron experimentos de germinación con semillas de soja usando extractos acuosos de plantas adultas de avena, observando que si bien no se alteró significativamente el porcentaje de germinación, la raíz y parte aérea de las plantas sufrieron reducciones importantes. Las condiciones ambientales juegan un rol

fundamental en la presencia o ausencia de interferencia alelopática. En términos generales, se minimiza en condiciones de alta humedad y temperatura durante el nacimiento y crecimiento del cultivo (Weston, citado por Da Costa y Rubio, 2003).

Otra desventaja que presentan las gramíneas como cultivos de cobertura frente a las leguminosas, es que no son capaces de fijar nitrógeno, lo que puede representar una ventaja económica comparativa de las leguminosas. Cuando no se trata de leguminosas, la disponibilidad de N para el cultivo siguiente, es el resultado de reducir las pérdidas del nutriente que ocurren durante el periodo de barbecho (Ernst, 2004).

2.2.EFECTO DEL PASTOREO

El impacto del pastoreo animal depende de la carga y tipo de animal, la humedad edáfica y el volumen de residuos en superficie (Venanzi et al., 2004a). La bibliografía disponible presenta resultados variables, donde el pastoreo puede ejercer efecto negativo sobre las propiedades del suelo. Esto puede interferir en los movimientos de aire, agua y nutrientes afectando los procesos químicos y biológicos (Greenwood y Mc Kenzie, citados por Siri-Prieto, 2004). Sin embargo, existen situaciones en las que aun afectando las propiedades físicas, el impacto negativo no se ve reflejado sobre el rendimiento de los cultivos. Lo que podría deberse a que la magnitud del efecto es tolerable por el cultivo o por que los daños pueden revertirse durante el periodo de barbecho (“laboreo biológico”).

La información generada por Daniel et al., citados por Siri-Prieto (2004) demuestra que el pastoreo mediante el pisoteo, la defoliación, la defecación y la micción ejerce un efecto negativo por degradar su estructura, aumentar su

densidad aparente y reducir los niveles de infiltración de agua. Por el contrario, Venanzi et al. (2002) señalan que, bajo cargas animales moderadas y contenidos de humedad del suelo por debajo de su capacidad de campo, los efectos a corto plazo del pastoreo en siembra directa, no serían perjudiciales para el desarrollo de los cultivos.

El efecto del pastoreo se puede cuantificar a través de la compactación, la estabilidad de agregados, la infiltración y la aireación.

2.2.1. Efecto sobre la compactación

La compactación es un proceso de degradación estructural, Soane y van Ouwewerk, citados por Martino (1999), causada por el colapso de los macroporos y la deformación de la estructura del suelo (Chanasyk y Naeth, Greenwood et al., Drewry et al., Singleton et al., citados por Fernández et al., 2010).

De acuerdo a lo planteado por García Préchac (1998), en sistemas de siembra directa que incluyen producción animal con pastoreo, se produce compactación en los primeros centímetros del perfil, tanto mayor cuanto más alta sea la carga instantánea, y tanto más profunda cuanto mayor sea el peso de los animales. Por otra parte Touchton et al., citados por Martino (1999), detectaron compactación producida por animales a 50cm de profundidad, en tanto que el efecto del tráfico de maquinaria alcanzó sólo 25cm. Wood et al., citados por Martino (1999), estimaron a partir de datos del área basal y peso corporal, que los animales en pastoreo aplican presiones sobre el suelo de 150 (novillo de 300 Kg) a 350 KPa (oveja adulta); estos valores son sensiblemente mayores a los correspondientes a tractores agrícolas, que ejercen presiones del

orden de 80 a 160 KPa. Lo que concuerda con Greenwood et al., citados por Russel et al. (2004).

Los efectos del pisoteo pueden ser minimizados evitando el pastoreo sobre suelo húmedo (Fernández et al., 2010). Proffitt et al., citados por Martino (1999), encontraron en suelos franco arcillosos bajo pastoreo continuo con lanares, 7% de aumento en la densidad y 58% de reducción en la capacidad de infiltración de agua frente al testigo sin pastoreo. Cuando las ovejas fueron retiradas cada vez que el contenido de humedad del suelo alcanzaba el límite plástico, el deterioro de las propiedades físicas fue mucho menos marcado.

El barbecho químico actúa como “laboreo biológico”, (actividad de la meso fauna, etc.) muchas veces suficiente para resolver condiciones no extremas de compactación superficial por pastoreo (García Préchac, 1998).

2.2.1.1. Medidas de compactación

La compactación se mide a través de la resistencia a la penetración y la densidad aparente. Aunque estas están relacionadas entre sí, y a su vez con otras propiedades del suelo (textura, contenido de materia orgánica, etc.), sus efectos pueden diferenciarse desde el punto de vista práctico. El endurecimiento suele ser un efecto pasajero vinculado a las condiciones de humedad, en cambio la densificación es de carácter más estable. Una disminución marcada de la porosidad del suelo puede tener efectos duraderos y muy negativos sobre el crecimiento de los cultivos (Venanzi et al., 2004a).

2.2.1.2. Resistencia a la penetración

La resistencia a la penetración se define básicamente por la resistencia a la fractura del suelo, que a su vez es función de la cohesividad y del ángulo de fricción interna y de la compresibilidad (Martino, 1999). Hace referencia a la dificultad de las raíces de las plantas en crecer en un suelo compactado o también a la dificultad que las semillas encuentren para la emergencia a través de la superficie del suelo (Letey, 1985).

Existe abundante información congruente en que el pisoteo de animales en pastoreo es capaz de causar aumentos en la resistencia a la penetración hasta los 10cm de profundidad (Russell et al. 2004, Siri 2004). Mientras que Venanzi et al. (2004b), afirman que dicho efecto alcanza hasta los 7,5cm de profundidad ($p < 0,10$).

Morán et al. (2000), en un experimento en Tandil, sobre suelos con 6,5 % de materia orgánica y siete años de siembra directa, evaluó el impacto del pastoreo sobre propiedades físicas del suelo y el cultivo siguiente de soja. Los tratamientos en cuestión fueron: dos pastoreos de 1 día de duración con 150 animales de 295kg y no pastoreo de la cobertura. Cuando se midió resistencia mecánica mostró diferencias significativas entre los 0 y 15cm en la primera fecha de muestreo (10 días presiembra). El mayor contenido de humedad superficial al momento del muestreo del tratamiento pastoreado le da más consistencia a los datos de resistencia a la penetración. En la segunda fecha de muestreo (R6) no hubo diferencias entre tratamientos. Además se observó que luego de suprimido el pastoreo, la resistencia a la penetración con el pasaje del tiempo tendió a asemejarse al del tratamiento no pastoreado.

Sin embargo, en un experimento realizado por Franzluebbbers y Stuedemann (2008), encontraron una tendencia ($p=0,06$) en la interacción de sistema de laboreo y el manejo del cultivo de cobertura hasta una profundidad de 10cm. La resistencia a la penetración fue significativamente mayor cuando se pastoreó que cuando no se pastoreó bajo laboreo convencional, y no hubo diferencias entre pastoreo y no pastoreo en sistemas sin laboreo. Dicha información es coincidente con lo planteado por Fernández et al. (2010), quienes afirman que la probabilidad de que ocurra compactación decrece en los sistemas agrícolas ganaderos cuando no se laborea.

La resistencia a la penetración de un suelo depende principalmente del tipo de suelo (textura), la densidad aparente y el contenido de humedad (Taylor y Gardner, Camp y Lund, Taylor y Ratliff, Ayers y Perumpral, Henderson et al., citados por Martino, 1999). Silva et al., citados por Russell et al. (2004), señalan que el 69 a 75% de la variación en resistencia a la penetración es atribuida a la humedad de suelo.

A medida que el suelo se seca aumenta la resistencia a la penetración exponencialmente (Martino, 1999). Franzluebbbers y Stuedemann (2008) dirigiendo un experimento basado en cuatro condiciones de manejo, concluyeron que la resistencia a la penetración en los primeros 10cm de suelo fue poco afectada por el contenido de agua. Mientras que al aumentar la profundidad, tanto para tratamientos pastoreados como no pastoreados, la resistencia a la penetración aumentó exponencialmente a medida que bajaba el contenido de agua.

Por otra parte Rusell et al. (2004), afirman que muestras de sitios con diferente humedad de suelo no deben ser comparados para interpretar efectos de tratamientos sobre resistencia a la penetración. Esto se debe a que

encontraron que no existe correlación significativa entre resistencia a la penetración y el contenido de humedad del suelo para un año dado. En ese mismo experimento en el que incluyen parcelas pastoreadas y no pastoreadas no se encontraron diferencias en contenido de humedad del suelo post pastoreo por lo que concluyeron que la humedad a la hora de muestrear no fue la causa de variación de la resistencia mecánica a la penetración con el correr de los años.

Fernández et al. (2010b), en un experimento de larga duración, en la Pampa Ondulada, evaluó la interacción entre tipo de suelo (franco limoso vs franco/franco arenoso) y sistemas de producción (agricultura continua, AC, vs integrados agrícola-ganaderos, IAG). De los resultados surge un modelo de regresión múltiple para 0 a 5cm, donde las variaciones de la resistencia a la penetración se explican por el contenido de humedad del suelo y una variable dummy de manejo (AC = 0 e IAG=1; $r^2=0,65$). Donde para cualquier contenido de humedad IAG presentaba valores 490 KPa mayores que AC.

La distribución de tamaño de partícula o textura de un suelo es otro factor importante en determinar la resistencia a la penetración (Martino, 1999). En aquellos suelos arcillosos se desarrollan niveles de resistencia a la penetración sumamente altos debido a su muy alta cohesividad (Mielke et al., citados por Martino, 1999).

Los efectos de la compactación de suelo son más duraderos o permanentes, particularmente en suelos con bajo contenido de arcilla (Hartung et al., citados por Lipiec et al., 2003).

Por otra parte, haciendo énfasis en la relación resistencia a la penetración-densidad aparente, Taylor y Ratliff, Ayers y Perumpral, citados por Martino (1999), aseveran que el incremento en la resistencia a la penetración debido al secado del suelo es tanto más marcado cuanto mayor es la densidad aparente.

En cuanto a la evolución de la resistencia a la penetración según el tiempo de barbecho, se retoma lo señalado por García Préchac (1998), quien afirma que durante el barbecho químico se podrían resolver condiciones no extremas de compactación superficial por pastoreo. Fariña y Gauthier (2006), en un experimento con avena para pastoreo, con ganado lechero de aproximadamente 450 kg de peso vivo evaluaron diferentes tiempos de rebrote de la avena antes de aplicar herbicida total, y diferentes tiempos de barbecho. Encontraron que a mayor tiempo de barbecho químico se reduce significativamente la resistencia a la penetración del suelo. Las diferencias entre los tratamientos fueron disminuyendo hasta alcanzar valores iguales entre sí, al momento de la siembra. Esa disminución fue atribuida al aumento del contenido de humedad del suelo producto de la ocurrencia de precipitaciones dentro de ese período. Cuando se realizó un pastoreo adicional, aumentó claramente la resistencia a la penetración y disminuyó la profundidad a la cual se alcanzó un valor crítico de $2 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ de resistencia a la penetración, alcanzándose a los 20 y 32 cm para 5 y 4 pastoreos respectivamente.

Por otro lado da Costa y Rubio (2003), en un experimento donde se evaluaron diferentes combinaciones de: número de pastoreos, días de rebrote y tiempos de barbechos, concluyeron que al incrementar el número de pastoreos (5 vs 4) la resistencia a la penetración también aumento significativamente. En dicho experimento, el tratamiento con 5 pastoreos tuvo 47 días en ausencia del

pisoteo animal previo a la medición de resistencia a la penetración, mientras que los tratamientos con 4 pastoreos tuvieron 88 días, esto puede explicar las diferencias encontradas. Esto concuerda con Drewry y Paton, Greenwood y McKenzie, Drewry, citados por Fernández et al. (2010a), quienes señalan que la compactación decrece durante los periodos de exclusión de pastoreo.

Según Rucks et al. (2004), el tiempo de barbecho da lugar a la alternancia entre el humedecimiento y secado del suelo, lo cual tiene un efecto notable en la génesis de los agregados. El volumen del material arcilloso luego de los ciclos alternados de humedecimiento y secado es mayor que el volumen original. Esto quiere decir que el material tiene un mayor espacio poroso luego de sufrir estos procesos, es decir, el suelo se ha «soltado». La transformación del material arcilloso compacto en agregados más pequeños se puede deber a: la dispersión del material cementante durante la hidratación, disminución de la cohesión entre sólidos provocada por la hidratación, compresión del aire atrapado y explosión de los agregados grandes durante la hidratación y esfuerzos y tensiones desiguales que resultan de la expansión y contracción no uniforme del material durante el secado y humedecimiento.

Se considera el tiempo de barbecho como una medida fundamental de manejo, que permite preparar la sementera por descomposición de las raíces de cultivos anteriores y malezas, lográndose una mejor condición física (Ernst, 1999).

Otro aspecto de la resistencia a la penetración a destacar, es la variación de su valor crítico para el crecimiento de las plantas según los diferentes ambientes. Diversos trabajos de investigación, (Bengough y Mullins, Camp y Lund, Cockroft et al., Ehlers et al., Gerard et al., Grimes et al., Martino y

Shaykewich, Taylor y Gardner, Taylor et al., Vepraskas y Wagger, Yapa et al., citados por Martino, 1999), que consideran una amplia gama de tipos de suelo, especies vegetales y técnicas experimentales, revelan valores críticos de resistencia a la penetración que oscilan entre 1,0 y 5,6 MPa, por encima de los cuales no se produce crecimiento de raíces. En tanto que, Venanzi et al. (2002) citando a Demmi y Puricelli, Pabin et al., sugieren valores críticos de resistencia a la penetración de entre 2,5 y 4,1 MPa, valores que se encuentran dentro del rango antes mencionados. Teniendo en cuenta la relación inversa entre la humedad del suelo y la resistencia a la penetración, de producirse el secado del suelo, estos valores podrían ser superados.

Esta amplia variación sugiere que la resistencia a la penetración medida con un penetrómetro no contempla todos los factores físicos del suelo que afectan el desarrollo de las raíces (Martino, 1999).

Los valores críticos mencionados pueden ser hasta seis veces mayores a las máximas presiones que las raíces pueden aplicar (Martino, 1999). Dicha información concuerda con los valores obtenidos por Whiteley et al., citados por Martino (1999), que se ubicaron entre tres y cinco veces mayor a la presión que pueden ejercer las raíces. Por debajo del nivel crítico, la tasa de elongación de las raíces aumenta exponencialmente en la medida en que la resistencia a la penetración disminuye (Martino, 1999).

En cuanto a los factores que inciden en el valor crítico de la resistencia a la penetración, textura y distribución del tamaño de poros, puede decirse que la misma decrece a medida que el contenido de arcilla del suelo aumenta. Según Martino (1999), la relación entre contenido de arcilla y resistencia a la penetración crítica no es causal. Si el suelo presenta un sistema continuado de

poros de gran tamaño, el crecimiento ocurre aun si la resistencia a la penetración es alta. Esta podría ser la razón por la cual los valores críticos de resistencia a la penetración parecen ser mayores cerca de la superficie que en horizontes inferiores del suelo (Gerard et al., Grimes et al., Vepraskas y Waggoner, citados por Martino, 1999). Por lo tanto la distribución de tamaño de poros, es la variable fundamental que determina las variaciones en la resistencia a la penetración crítica.

2.2.1.3. Densidad aparente

Es la relación que existe entre el peso seco de una muestra de suelo, y el volumen que esa muestra ocupa en el suelo. La densidad aparente muestra menor sensibilidad en la detección de capas compactadas que la resistencia a la penetración, pero mejor relación con el comportamiento de los cultivos (Venanzi et al., 2002).

La variabilidad en la densidad aparente del suelo se debe tanto a factores de manejo como a características naturales del suelo (Berndt y Coughlan, Voorhees y Lindstrom, Franzluebbers et al., citados por Fernández et al., 2010).

La intensidad con que el pastoreo animal afecta la densidad aparente, es principalmente controlada por el contenido de agua en el suelo cuando los animales están presentes (Drewry y Paton, Greenwood y McKenzie, Drewry, citados por Fernández et al., 2010a). Lo que concuerda con Proffitt et al., citados por Martino (1999) quienes afirman que los daños sobre el suelo pueden ser minimizados evitando el tráfico sobre suelo húmedo.

En el mismo sentido Martín et al. (1998) evaluaron cuatro tratamientos: suelo desnudo con pisoteo, vegetación de 2cm de altura durante el pisoteo, vegetación con altura de 12 cm durante el pisoteo, con vegetación de 16 cm y sin pisoteo (12 cm y 16 cm no fueron diferentes estadísticamente). A partir del mismo concluyeron que el pastoreo aumenta la densidad aparente independientemente de la cobertura vegetal. Es probable que las elevadas humedades edáficas hayan enmascarado cualquier acción protectora de la vegetación frente a la compactación.

En un experimento de Russell et al. (2004) donde se pastorearon durante el invierno rastros de maíz con una carga promedio de 3,7 vacas por hectárea, se obtuvo que la densidad aparente de suelo permanecía incambiada. Se debe tener en cuenta que en dicho experimento, durante el pastoreo, el suelo permanecía congelado una proporción importante del tiempo, condición desfavorable para que se dé la compactación de suelo.

Franzluebbbers y Stuedemann (2008), reportan que la densidad aparente luego del pastoreo de las coberturas de centeno (*Secale cereale*) en sistemas con no laboreo, no varió significativamente ($p < 0.05$) respecto de las parcelas no pastoreadas. Sin embargo presentó tendencia a ser mayor bajo pastoreo y en todas las profundidades evaluadas. Para el mismo ensayo, luego de 4,5 años, la inclusión de animales en pastoreo no significó aumentos en la densidad aparente ($p < 0,05$). Sin embargo, se visualizó cierta tendencia a que en los 3 primeros centímetros la densidad aparente fuera mayor en pastoreo que en no pastoreo. Además se observó que dicha tendencia se diluyó en profundidad.

De la misma manera Tollner et al., citados por Franzluebbbers y Stuedemann (2008), en un ensayo en Georgia sobre un Hapludol típico,

observaron que en sistemas de siembra directa que incluían pastoreo y no pastoreo, la densidad de suelos fue de 1.60 Mg m³ versus 1.52 Mg m³ respectivamente.

En el ensayo de Morán et al. (2000), previamente descrito (pagina 11), se detectaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en densidad aparente, medida 10 días antes de la siembra, entre 3 y 8cm de profundidad en los tratamientos con avena pastoreada versus los no pastoreados.

En otro estudio Venanzi et al. (2004b) analizaron la densidad aparente luego de un pastoreo realizado en el sudoeste de la Provincia de Buenos Aires, sobre una cobertura de avena en junio 2002, con una carga instantánea de 530 animales/ha. Del mismo concluyen que los tratamientos pastoreados presentaron mayores valores que los no pastoreados en la capa de 0 a 5 cm. En forma coincidente con la resistencia a la penetración, la densidad aparente aumentó en las capas profundas, aunque con valores máximos (1.33 Mg m³) en la capa 10-15 cm. Se atribuyó este resultado a una capa endurecida por labranzas previas a la experiencia.

Fernández et al. (2010a) en contraposición a la tendencia general, reporta disminución de la densidad aparente en los primeros centímetros luego de ocurrido el pisoteo. Dicho descenso de la densidad aparente puede explicarse debido a que el tránsito animal se dio en suelos saturados, donde se produjo daño por pisoteo. Otra explicación a este fenómeno tiene que ver con que el grado en que cambia la densidad aparente depende ampliamente del porcentaje de arcilla y la proporción de minerales expansibles (por ejemplo esmectita) (Parker et al., citados por Fernández et al., 2010a). Este efecto influye sobre el volumen del suelo y depende principalmente del contenido de

agua del mismo para suelos de texturas finas (Jayawarardane y Greacen, Oades, Logsdon y Karlen, citados por Fernández et al., 2010a). Solo una pequeña cantidad de este tipo de arcillas puede causar cambios apreciables en el volumen del suelo (Dexter, Oades, Taboada et al., citados por Fernández et al., 2010a).

2.2.2. Efecto sobre la estabilidad de los agregados

La estabilidad de agregados es la responsable de mantener la estabilidad de la estructura física del suelo y después del grado de cobertura, es el factor que gobierna la infiltración de agua en el suelo (Roth et al., citados por May y Schmitz, 1997).

Franzluebbers y Stuedemann (2008), recopilaron información de Clark et al., Warren et al., Gijsman y Thomas, que si bien es escasa, coincide en que el impacto de un pastoreo moderado sobre el grado agregación y estabilidad del suelo, es escaso o nulo. A su vez los resultados obtenidos en su experimento concuerdan con dicha información. De hecho, la presencia de raíces y de restos en descomposición sobre la superficie del suelo parece ser más importante para la agregación que la presencia de animales pastoreando.

Por otro lado, Fernández et al. (2010a), encontraron que bajo condiciones de elevada humedad el pastoreo afectó significativamente la estabilidad estructural del suelo.

Para el ensayo de Martín et al. (1998) no se encontraron diferencias significativas en estabilidad de agregados entre los tratamientos con coberturas durante el pisoteo, frente a uno con cobertura y sin pisoteo.

2.2.3. Efecto sobre la infiltración y contenido de agua del suelo

La infiltración es probablemente el parámetro más sensible a la compactación por pisoteo ya que es afectada la macroporosidad superficial, principal vía de circulación de agua de infiltración (Greenwood et al., citados por Fernández et al., 2006).

La literatura es limitada en lo que concierne al impacto del pastoreo sobre la infiltración de agua en sistemas agrícolas. Franzluebbbers y Stuedemann (2008), recopilaron datos de Mead y Chan, Pietola et al., Russell et al., provenientes de diferentes partes del mundo, con manejos del pastoreo diversos. A partir de eso concluyen que pese a la variabilidad de los resultados obtenidos, no hubo cambios en infiltración debido al pastoreo animal o fueron reducidos.

En un experimento realizado por Franzluebbbers y Stuedemann (2008), de 4,5 años de duración se estudió los niveles de infiltración, llegando a la conclusión de que hubo una tendencia ($P = 0,07$) a ser menor en los tratamientos con pastoreo que sin pastoreo ($5,6 \text{ mm min}^{-1}$ y $6,9 \text{ mm min}^{-1}$ respectivamente). Además se evaluó el efecto del manejo de la cobertura sobre el contenido de agua, donde solo se obtuvo la tendencia ($P = 0,10$) a ser menor cuando se pastoreó ($0,140 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) que cuando no se pastoreó ($0,153 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Por otra parte, Russell et al. (2004) no encontraron diferencias significativas en humedad del suelo luego del pastoreo, en parcelas pastoreadas o no pastoreadas en un experimento de 3 años de duración.

Morán et al. (2000) encontraron que la infiltración fue mayor en avena no pastoreada que en pastoreada. Además, la disminución de infiltración en avena fue más marcada a bajos valores de tensión cercanos a cero (saturación),

donde es de esperar que el pisoteo produzca una reducción en el número de macroporos. Esta reducción en la infiltración coincidió con un incremento de la densidad aparente y de la resistencia mecánica a nivel superficial.

En el ensayo realizado por Martín et al. (1998) se evaluó el porcentaje de infiltración total, obteniéndose los siguientes resultados: 57% de agua infiltrada en el tratamiento sin pisoteo y con vegetación de 16 cm de altura, 42,5% en el con pisoteo y vegetación de 12 cm y 19,2 y 24,4% en suelo desnudo y vegetación de 2cm respectivamente, ambos con pastoreo. Verificándose altas correlaciones lineales entre fitomasa aérea e infiltración ($r^2=-0,9679$; $n=12$).

En cuanto a la tasa de infiltración, medida con un microsimulador de lluvia, Martín et al. (1998) encontraron diferencias en la evolución de la tasa de infiltración para los tratamientos con cobertura sin pisoteo y el resto de los tratamientos con pisoteo. Presentando la primera una curva con descenso menos marcado a través del tiempo, respecto al resto de los tratamientos. Esto fue explicado por mayor cobertura basal y una mejor estructura del canopeo.

Uno de los factores que interactúa con la velocidad de infiltración es el contenido de agua en el suelo. Franzluebbers y Stuedemann (2008) encontraron que para el promedio de no laboreo y laboreo convencional, la infiltración decrecía $0,13 \text{ mm min}^{-1}$ por punto porcentual de aumento en la humedad de suelo cuando el cultivo de cobertura no fue pastoreado, mientras que cuando se pastoreó decrecía 0.24 mm min^{-1} ($P < 0.01$), aunque este efecto era más marcado en laboreo convencional que en siembra directa.

2.2.4. Efecto sobre la aireación

La compactación produce una disminución del espacio poroso, básicamente de los macroporos. Debido a esto, un suelo compactado estará más predispuesto a la falta de O₂ (Bastos et al., 2006).

El oxígeno (utilizado por las raíces de las plantas y los microorganismos de la rizósfera en la respiración) difunde desde la atmósfera hacia el suelo a través del espacio poroso, que es ocupado por agua y aire. La difusividad del oxígeno es 10.000 veces inferior en agua que en aire. En consecuencia, el suministro de oxígeno a las raíces depende de la existencia de un sistema continuo de poros ocupados por aire. Por consiguiente, el contenido de humedad, la distribución del tamaño de poros y la posición topográfica son propiedades de los suelos que afectan directamente la aireación de las raíces (Martino, 1999).

La pobre aireación del suelo o restricción al crecimiento de raíz por mecanismos imperantes de la compactación, resultan en reducciones en los rendimientos de cultivos (Eavis, Boon et al., citados por Farina y Gauthier, 2006).

2.2.5. Interacciones entre los factores físicos

De las cuatro condiciones físicas del suelo relacionadas al crecimiento de las plantas, el agua es el factor dominante, los otros tres son afectados por el contenido de agua. La disponibilidad de agua es uno de los principales factores que gobiernan el desarrollo de los cultivos. A su vez, el contenido de humedad

afecta marcadamente a la tasa de difusión de oxígeno, la temperatura y la resistencia mecánica de un suelo (Martino, 1999).

2.2.6. Otros efectos del pastoreo

Un efecto adicional del pastoreo, es el aplastamiento del estrato superior de la cobertura, compuesto por residuos en pie, y su puesta en contacto con el suelo. Se acelera así su descomposición y se disminuye además, la eficacia de este estrato como freno a la velocidad del viento. Lo último puede tener consecuencias sobre la tasa de evaporación desde la superficie del suelo (Venanzi et al., 2004a).

2.3. RESPUESTA DE LA PLANTA AL AMBIENTE

Las plantas tienen la capacidad de censar el ambiente que las rodea y a partir de ello desencadenar respuestas acordes al mismo.

2.3.1. Interferencia del rastrojo en implantación

La calidad de siembra aparece asociada a la humedad del suelo al momento de la siembra y su interacción con cantidad y geometría del rastrojo (Ernst, 1999). La interferencia del rastrojo sobre la implantación del cultivo puede ser de diferentes maneras.

Una capa gruesa de rastrojo puede no sólo inhibir la emergencia por reducir la luz a un nivel por debajo del punto de compensación, sino que también provee una barrera física para ser superada antes de que se agoten las reservas de la semilla (Swan, citado por Farina y Gautier, 2006). A su vez, la menor implantación en los tratamientos con rastrojo se debió a que interfiere en

las operaciones de la siembra y se entierra rastrojo limitando el contacto suelo semilla, lo que produce efectos fitotóxicos para la semilla (Gould, citado por Farina y Gauthier, 2006),

También Terra y García Préchac (2001), señalan que al disminuir la presión de pastoreo, aumenta la cantidad de rastrojo, lo que determina menores rendimientos del cultivo de sorgo posterior por problemas en su implantación. Dicho efecto se vio afectado también por la competencia que ejerció la germinación de raigrás durante la instalación del cultivo.

Por otra parte, Ernst (1999) afirma que el efecto de la temperatura del suelo sin laboreo se manifiesta en una menor tasa de crecimiento y desarrollo diferencial como consecuencia de diferencias en la acumulación térmica. En cultivos de soja y girasol, el efecto sólo opera sobre la posibilidad de siembras tempranas (soja) y la velocidad de emergencia. Bastos et al. (2006), atribuyen el incremento en la altura de planta en los primeros estadios de crecimiento en parcelas con cobertura, a la intercepción de luz que realizan los residuos de la cobertura.

2.3.2. Efecto residual del pastoreo en la implantación

Dado los efectos que ejerce el pastoreo sobre el suelo, es de esperar que los mismos tengan incidencia sobre el desarrollo de los cultivos. Más aún si se trata del sucesor inmediato del verdeo pastoreado, y su época de siembra coincide con temperaturas crecientes que incrementan la evaporación de agua de las capas superficiales del suelo y con ello la resistencia a la penetración (Venanzi et al., 2004a).

El pastoreo generalmente produce elevada variabilidad espacial en términos de resistencia a la penetración y contenido de humedad, ocasionando trabajo irregular de las cuchillas de la sembradora, incorrecto sellado del surco, o impidiendo el establecimiento de las radículas del cultivo (Venanzi et al., 2004a). Esto suele resultar en una emergencia desuniforme del cultivo ya que la variabilidad en el espesor de la capa seca influye sobre la imbibición y germinación de las semillas de soja (Venanzi et al., 2004b).

Conjuntamente, las hojas reaccionan muy temprano a la uniformidad del suelo endurecido, aun cuando la primera hoja está emergiendo y no se han consumido los nutrientes de la semilla. El rango de crecimiento subsiguiente es mucho menos afectado, por lo tanto el tamaño relativo de las plantas creciendo en suelos sueltos se mantiene prácticamente constante después de la respuesta inicial, y consistentemente menores hojas y tasas de aparición de hojas en suelos endurecidos (Masle y Passioura, Masle, citados por Passioura, 2002).

2.3.3. Respuesta de las plantas a la compactación

La compactación del suelo afecta la transformación de los nutrientes y la absorción debido a cambios en la aireación, propiedades hidráulicas, capacidad de difusión, crecimiento radicular y su arreglo espacial (Lipiec y Stêpniewski, citados por Lipiec et al., 2003).

El sistema radicular responde al incremento de la densidad aparente mediante: el acortamiento de las raíces, concentración de las mismas en la capa superficial y disminución de la profundidad de arraigamiento (Jurcova y Zrubic, Lipiec et al., Håkansson et al., Medvedev et al., Stoinev, citados por

Lipiec et al., 2003). En la misma línea, Martino (1999) recopilando información de diversos autores, resume la respuesta de las raíces sometidas a elevadas resistencias mecánicas, encontrando que: reducen su tasa de elongación e incrementan su diámetro (Barley, Wilson et al., Atwell), se vuelven contorsionadas (Kirkegaard et al.) y por momentos tienden a crecer horizontalmente (Taylor y Burnett).

A su vez, en el caso particular de la soja, la compactación reduce la nodulación, generándose nódulos de menor tamaño (15- 45%) y de menor peso (20-40%), en relación con lugares no compactados (García et al., 2009).

La reducción del sistema radicular es producto del enlentecimiento marcado de la tasa de crecimiento una vez que la resistencia excede aproximadamente 1 MPa y cae linealmente hasta casi detener su crecimiento en torno a los 5 MPa (Bengough y Mullins, Materechera et al., citados por Passioura, 2002). Según Passioura (2002), si bien la elongación de las raíces es fuertemente afectada cuando la resistencia a la penetración es alta, no siempre las raíces son incapaces de extraer suficiente agua y nutrientes requeridos por las hojas. En el experimento de Morán (2000), la distribución de raíces del cultivo de soja no mostró diferencias entre tratamientos pastoreados y no pastoreados.

Por otro lado la absorción de agua por las raíces seca el suelo y por ello lo endurece, tornándolo más difícil para el crecimiento (Bengough, citado por Passioura, 2002). Sin embargo, la exudación de agua por los ápices de las raíces (McCully, citado por Passioura, 2002) puede ablandar el suelo por el cual va a crecer. Aunque la importancia relativa de estos efectos contrastantes no ha sido determinada.

Es entonces que en suelos compactados el crecimiento radicular requiere mayor cantidad de energía para formar y mantener cada unidad de raíz (Gliński y Lipiec, citados por Lipiec et al., 2003). La incapacidad de las raíces obstruidas de proveer con agua y nutrientes a los brotes debida al endurecimiento del suelo, puede afectar el crecimiento de los mismos (Boone, Brereton et al., Wolfe et al., citados por Passioura, 2002).

Algunos autores (Hartung et al., Tardieu, citados por Lipiec et al., 2003) apuntan a que la concentración de ácido abscísico (ABA) aumenta en plantas creciendo en suelos compactados como resultado de la desecación de las raíces, afectando directamente la conductancia estomática de las hojas, parámetro altamente relacionado con el rendimiento de los cultivos (Lipiec et al., citados por Lipiec et al., 2003). Por otra parte Passioura (2002), afirma que el área de las hojas está muy relacionada con la resistencia a la penetración del suelo. El incremento en la resistencia estomática conjuntamente con la disminución del IAF puede ampliamente explicar el rendimiento en suelos compactados (Lipiec et al., 2003).

En lo que respecta al desarrollo y rendimiento de los cultivos, Venanzi et al. (2004a), afirma que la densificación causada por pisoteo animal, aun no constituye una limitante. Sin embargo Russell et al. (2004) encontraron que el pastoreo no tuvo efecto sobre la población de soja siguiente, pero si disminuyó el rendimiento cuando se incrementó la resistencia a la penetración ($r^2=-0,36$).

Por otra parte, Morán (2000), no encontró diferencias significativas en la producción de granos entre tratamientos pastoreados y no pastoreados. Esto pudo deberse al alto contenido de humedad al inicio del cultivo (225 mm de

precipitaciones en setiembre) que no permitió que se registren altos valores de resistencia mecánica y por otra parte, el elevado déficit hídrico durante el llenado de granos (25 mm de lluvias en febrero) que limitó la producción de granos.

Terra y García Préchac (2001), Terra et al. (2009) encontraron diferencias significativas en la resistencia a la penetración producidas por efecto del pastoreo de coberturas, que no se tradujeron en diferencias en el rendimiento final de los cultivos (moha y arroz respectivamente). El primer experimento consistió en cuatro pastoreos de raigrás, rotativos, de una semana por mes, con cargas instantáneas de 60, 120 y 180 corderos/ha. Cuando se repitió el experimento en un ambiente de mayor potencial (debido a condiciones hídricas más favorables), el rendimiento aumentó pero los tratamientos siguieron sin diferenciarse. En el segundo caso se cuantificó el efecto de los tratamientos sin cobertura, con cobertura sin pastoreo y con cobertura pastoreado sobre el rendimiento del arroz, donde se observó que los mismos provocaron diferencias al inicio del desarrollo en cuanto a parámetros del suelo (humedad, resistencia mecánica, N-NO₃), pero esto no causó efectos significativos sobre el rendimiento en grano.

García (2009) resume que los cultivos creciendo en suelos compactados presentan los siguientes síntomas: lenta emergencia y desarrollo del cultivo, alturas de planta irregulares, deficiencias de nutrientes inducidas, crecimiento de raíces en forma horizontal y fitotoxicidad por falta de movimiento en el perfil del suelo de los herbicidas.

2.3.4. Respuesta de la soja a problemas en la implantación

Si bien la implantación de soja puede verse desfavorecida en algunas situaciones, la regulación del índice de área foliar (IAF) y del área foliar por planta ante variaciones en la densidad de plantas, responde con aumentos o disminuciones significativas en la ramificación y por ende, en el número de nudos y de hojas por planta. La elevada plasticidad vegetativa de la soja explica la menor disminución de la intercepción de radiación y de la producción de biomasa cuando el número de plantas por unidad de superficie se reduce (Vega y Andrade, 2000).

En el caso de adecuada disponibilidad hídrica, el rendimiento de soja es poco sensible a la variación en la densidad debido a la gran plasticidad que muestran las plantas (Carpenter y Board, citados por Vega y Andrade, 2000). Sin embargo, en ambientes poco productivos durante la primera mitad del ciclo del cultivo, la plasticidad vegetativa no se expresa adecuadamente, por lo que la densidad óptima puede ser mayor que la utilizada en ambientes más favorables (Moore, Wells, citados por Vega y Andrade, 2000).

El aumento o disminución en la cantidad de plantas por unidad produce disminuciones o aumentos bastante proporcionales en el número de granos por individuo, por lo que el rendimiento no varía mayormente (Vega y Andrade, 2000).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL EXPERIMENTO

3.1.1. Localización

El experimento se realizó en el establecimiento Santa Ana, perteneciente a la empresa Kilafen, en el Departamento de Soriano, Latitud 33° 43'38.8", Longitud 57° 51'20.8". El trabajo de campo se realizó entre noviembre de 2010 y abril de 2011, sobre un Argiudol Típico (Durán et al., 1999), perteneciente a la Unidad de suelo Cañada Nieto, 10.2 (Formación Libertad).

Tratamientos. Se evaluaron 3 manejos del período invernal que va desde la cosecha del maíz (20/02/2010) hasta la siembra de la soja el 27/10/2010, con tres repeticiones. Los mismos fueron ubicados de manera tal que todos los tratamientos abarcaran las diferentes zonas topográficas. El tamaño promedio de las parcelas fue de 0,5 hectáreas.

Sin cobertura (SC): se dejó el rastrojo de maíz y no se realizó ningún manejo hasta el 21/04/2010 que se aplicó Glifosato (2,5 lt ha⁻¹) y Tordon (0,1 lt ha⁻¹)

Con cobertura sin pastoreo (CCSP): el 20 de abril de 2010 se sembró avena, cultivar Estanzuela 1095a, a razón de 95 kg/ha. Se fertilizó con 80 kg/ha de Fosfato Mono Amónico. El 15/09/2010 se aplicó glifosato a razón de 1068 g ia ha⁻¹, dando inicio al período de barbecho.

Con cobertura con pastoreo (CCP): se sembró avena en igual fecha y manejo pero fue pastoreada en forma continua con una carga de 12 corderos/ha entre el 25/05/2010 y 31/08/2010. Luego de retirado el pastoreo se dejaron 15 días para el crecimiento de la avena, aplicándose glifosato a igual fecha y dosis que en CCSP.

La siembra de soja (cultivar Don Mario 5.9, indeterminado) se realizó a razón de 66 kg/ha, el 27 de octubre en todos los tratamientos, por lo que el tiempo de barbecho fue de 42 días. Los insectos plaga fueron controlados de manera tal que no se registraron daños sobre el cultivo. La cosecha se realizó el 10 de abril de 2011.

3.1.2. Determinaciones

3.1.2.1. A nivel de suelo

- Humedad gravimétrica, a los 20, 90 y 115 días post siembra (dps), se determinó el contenido de agua en el perfil, fraccionado en muestras de 0-20, 20-40 y 40-60cm de profundidad. El muestreo se realizó con un taladro Holandés. Las muestras se pesaron húmedas (Pi) y luego de 48 hs de secado en una estufa a 105° C se volvieron a pesar (Pf), obteniéndose por diferencia de ambos pesos la humedad del suelo.

$$\text{Humedad Gravimétrica (\%)} = ((P_i - P_f) / P_f) \times 100.$$

- Resistencia a la penetración: se determinó 20 días post siembra con un penetrómetro de cono Rimik CP 20, hasta una profundidad de 60cm, obteniéndose registros de la resistencia a la penetración cada 2cm de avance

en profundidad. Se tomaron dos medidas por sitio y se evaluaron 3 sitios por parcela.

- Tiempo de infiltración: Se utilizó una modificación de método Doran's test (Sarrantonio et al., citados por Wander y Bollero, 1999) propuesta por Wander y Bollero (1999). Donde utilizan dos anillos concéntricos usándose el interior, de 10,4cm de diámetro para determinar la velocidad de infiltración, mientras que el exterior de 15,5cm de diámetro, se inunda a las mismas profundidades para disminuir los efectos de frontera en el anillo interior. Los anillos se insertan en el suelo a la profundidad mínima necesaria para evitar las fugas de los mismos. Dentro del cilindro pequeño, se agregó 450 cc de agua y se midió el tiempo hasta que el agua infiltró total o parcialmente (infiltración 1). En el primer caso, se volvió a agregar 450 cc de agua, en caso de infiltrar todo en menos de 30 minutos se tomó dicho tiempo, de lo contrario se midió en centímetros la columna de agua remanente para estimar la infiltración (infiltración 2). En el segundo caso, cuando no infiltró la totalidad del agua pasados los primeros 30 minutos, se midió la columna de agua remanente y se determinó la infiltración 1. Se realizaron 3 mediciones por parcela 20 días post siembra.

- Fósforo: se tomaron 27 muestras (3 por parcela) a una profundidad de 0 a 20cm, y se determinó por el método Bray No. 1.

- Textura: se realizaron 3 pozos por parcela (con taladro Holandés) y se fraccionó el perfil en muestras de 0 a 20, 20 a 40 y 40 a 60cm de profundidad. La textura se determinó a partir del método Bouyoucos adaptado por Ponce.

- Carbono Orgánico: se procesó dicho dato a partir de 27 muestras (3 por unidad experimental) de 0 a 20 y 20 a 40cm de profundidad, y 8 muestras de

40 a 60cm de profundidad mediante el método Walkley-Black. Las muestras fueron escogidas de manera tal que permitiesen la interpolación de los datos.

- Agua disponible: se calculó como la diferencia entre el contenido de humedad gravimétrica y el coeficiente de marchitez permanente (CMP) estimado con las ecuaciones de pedo-transferencia propuestas por Molfino (2009). Se desestimó la humedad gravimétrica superior a capacidad de campo (CC), estimado también según la ecuación propuesta por Molfino (2009). Para las estimaciones de CMP y CC se utilizaron los datos de carbono orgánico del suelo y textura por capas de 0-20cm, 20-40 cm y 40 a 60 cm, y humedad del suelo, tomada en 3 momentos del ciclo del cultivo (16/11/2010 con la soja al estadio V1, 25/01/2011 en R2, y 20/02/2011 en R4).

- Cobertura Vegetal, se determinó en dos oportunidades 20 y 115 dps, utilizando cuadrículas 25 x 25 cm subdividida en 100, donde se observaron las proporciones de suelo cubierto y desnudo. Se realizaron 3 lecturas por sitio (9 lecturas por parcela).

3.1.2.2. A nivel de planta

- Implantación: se contó el número de plantas en V3-V4 (8/12), dos metros en la hilera. Cada medición se tomó 10 veces por parcela. Luego se realizaron conteos de planta por metro en las siguientes fechas 25 de enero, 20 de febrero, 14 de marzo y 10 de abril, cuando la soja estaba en los estadios R2, R4, R6 y R8 respectivamente.

- Altura de planta: se evaluó en tres oportunidades, con la soja en R2, R4 y R6. Se realizó la medición de tres plantas escogidas al azar a lo largo de un metro, y se muestrearon 10 sitios por parcela.

- Biomasa: obtenida cuando la soja se encontraba en R2, R4 y R6. Se realizaron 10 cortes de un metro lineal, se pesó cada muestra fresca (Pi) y luego de 48 hs en la estufa a 60°C se volvió a pesar (Pf).

$\% \text{ Humedad muestra} = (P_i - P_f) / P_i * 100.$

- Fenología: se estimó el 8 de diciembre cuando las plantas estaban aproximadamente V3-V4, y se determinó en 10 plantas consecutivas, reiterado 10 veces por parcela. En una segunda instancia, el 14 de marzo, con plantas en R6-R7, se estimó a partir de la elección al azar de 5 plantas por sitio de muestreo, habiendo 10 sitios de muestreos por parcela. Para su determinación se utilizó la escala propuesta por Fehr y Caviness (1971).

- Componentes del rendimiento: se cortaron las plantas de 2 metros lineales por sitio de muestreo, siendo 10 los sitios por parcela. De cada sitio se tomaron 10 plantas al azar, sobre las cuales se realizó el conteo de número de nudos del tallo principal/planta, número de ramificaciones/planta y número de vainas/planta. El total de la muestra se procesó en una cosechadora estacionaria, se pesó el grano obtenido, se determinó su porcentaje de humedad (humedímetro de Dickey-John) y se cuantificó el peso de mil granos (promedio de 3 pesadas de 100 granos).

3.1.3. Análisis de datos

La información se analizó como bloques completos al azar según el siguiente modelo estadístico.

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} + \delta_{ijk}$$

$i = \text{SC, CCSP, CCP}$

$j = 1, 2 \text{ y } 3$

$k = 1, \dots, 10$

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

En la figura 1 se compara el régimen de precipitaciones histórico con el ocurrido durante el período experimental.

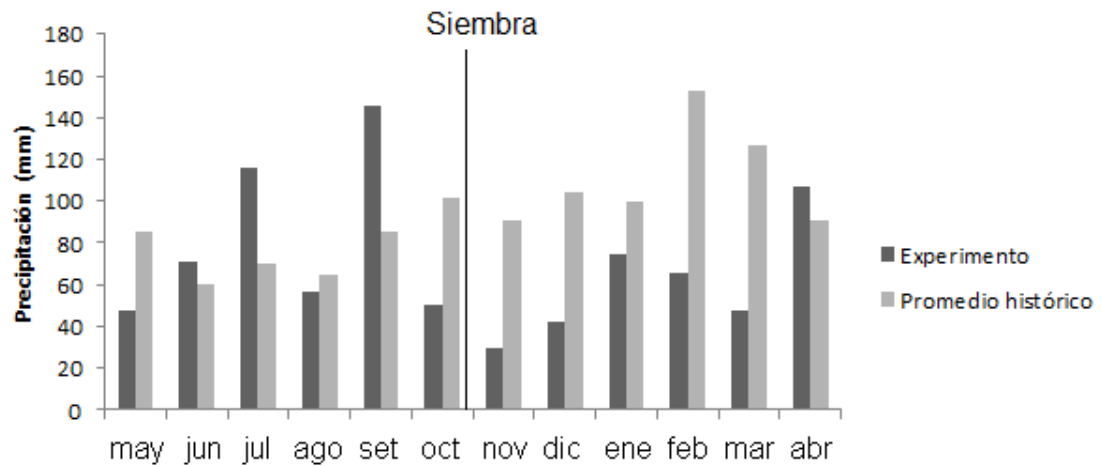


Figura 1. Régimen de precipitaciones durante el período experimental comparado a la serie histórica de la zona (1960-1991).

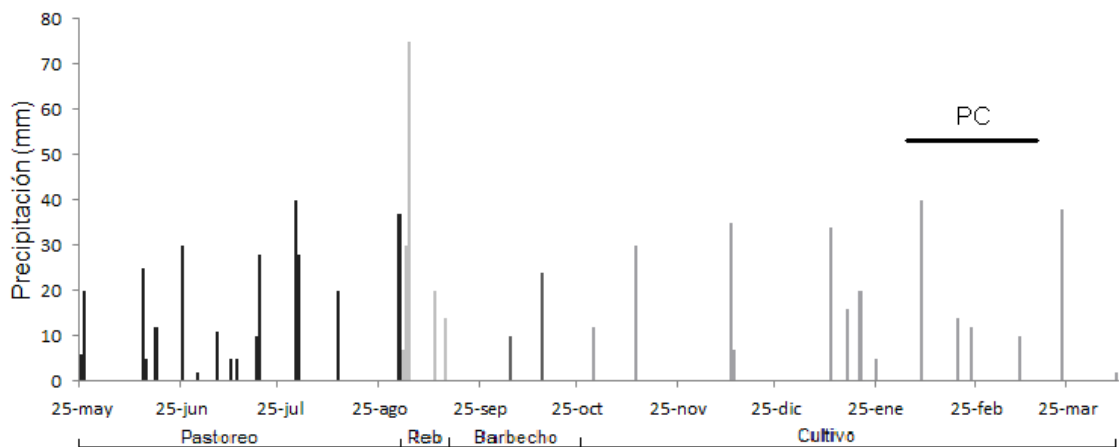


Figura 2. Distribución de precipitaciones durante pastoreo, rebrote, barbecho y cultivo de soja. (nota: PC =periodo crítico)

Durante los meses en que se pastoreó el cultivo de cobertura de avena, en promedio llovió aproximadamente 25% más que la media histórica (jun-jul-ago). Durante el periodo de rebrote se acumularon 146 mm, lo que permitió el crecimiento de la avena, lográndose una acumulación de biomasa capaz de dejar más de 90% del suelo cubierto en ambos tratamientos a la siembra de soja.

La primera determinación de contenido de humedad del suelo se determinó 20 días post siembra (dps) y se observó que todo el perfil se encontraba cercano a capacidad de campo. Siendo que las precipitaciones registradas en el periodo siembra-20dps (42 mm) no serían suficiente para recargar todo el perfil y que en el periodo de barbecho se registraron 34 mm, se supone que el agua remanente de la cobertura (CCSP y CCP) o barbecho (SC) sumada a la lluvia durante el periodo de barbecho permitieron llegar a la siembra con el perfil parcialmente recargado, lo que estaría borrando el posible efecto negativo de la cobertura en el consumo de agua del suelo.

Para el periodo comprendido entre siembra y madurez fisiológica, se registró un promedio mensual de precipitaciones de 52 mm, que corresponde a un 45 % de la media histórica (1961-1990) para esa zona.

4.2. EFECTO RESIDUAL DEL MANEJO DEL BARBECHO SOBRE LAS CONDICIONES DEL SUELO A LA SIEMBRA DE SOJA

La proporción de suelo cubierto a inicio del experimento no tuvo diferencias significativas entre los tratamientos con cobertura (99 % y 92 % para

CCSP y CCP respectivamente), y estos si se diferenciaron respecto al SC (52 %, correspondiente a rastrojo de maíz del verano anterior). El manejo del pastoreo y el tiempo de rebrote, permitió que se lograra un alto porcentaje de cobertura de suelo.

El pastoreo de 12 corderos por hectárea, durante el periodo de 99 días no comprometió la cobertura, por lo que desde el punto de vista de la erosión no significó un manejo que aumentara el riesgo. La cantidad de biomasa de cultivo de cobertura (valor estimado) era de 9912 y 5562 kgMS/ha para los tratamientos CCSP y CCP respectivamente.

4.3. IMPLANTACIÓN

4.3.1. Agua disponible en el suelo

Cuadro 1. Agua disponible (mm) 20 días post siembra, para tres profundidades y porcentaje de agua disponible con relación al máximo, sin cobertura invernal (SC) y para los tratamientos con cobertura invernal sin pastoreo (CCSP) y con pastoreo (CCP).

Profundidad	CCP	CCSP	SC
0-20 (cm)	35,1 b	39,0 a	34,4 b
20-40 (cm)	40,5 a	40,2 ab	38,7 b
40-60 (cm)	35,6 a	37,0 a	37,1 a
AD/CAAD 0-60 cm (%)	90 b	95 a	90 b

Letras iguales dentro de la misma fila no difieren estadísticamente (P=0,05).

El tratamiento con CCSP se diferenci6 estadisticamente de los dem6s tratamientos en el contenido de agua disponible (13% mayor que SC y 11% mayor que CCP) en los primeros 20 cm. Siendo que cuatro d6as antes del muestreo llovieron 30 mm, puede decirse que las diferencias con el tratamiento SC en superficie, se debieron a la presencia de cobertura, que permiti6 mayor infiltraci6n por control del escurrimiento y control de p6rdidas por evaporaci6n. Por otra parte, las diferencias entre el CCP y CCSP, se atribuyen al efecto del pisoteo, ya que los niveles de cobertura fueron similares para ambos.

A los efectos de la implantaci6n del cultivo, dichas diferencias no ser6an de gran magnitud como para causar impacto diferencial sobre los tratamientos, puesto que el suelo se encuentra muy cercano a capacidad de campo.

La diferencia en contenido de agua disponible entre CCSP y los otros tratamientos es de 5%, que para un suelo con capacidad de almacenaje de agua disponible de 123 mm significan 6mm; gener6ndose aproximadamente un d6a m6s de autonom6a para el tratamiento CCSP.

4.3.2. Resistencia a la penetraci6n

En el Cuadro 2 se presenta el efecto de la siembra del CC y del pastoreo sobre la resistencia a la penetraci6n (RP) del suelo hasta los 160mm.

Cuadro 2. Resistencia a la penetraci6n (KPa) seg6n profundidad de suelo en el tratamiento sin cobertura invernal (SC) y para los tratamientos con cobertura invernal sin pastoreo (CCSP) y con pastoreo (CCP).

Profundidad (mm)	CCP	CCSP	SC
20	272 a	174 a	133 a
40	669 a	465 a	659 a
80	1252 a	944 a	1375 a
160	1274 a	1208 a	1241 a

Letras iguales en la misma fila no difieren estadísticamente ($P < 0,05$).

Para todos los tratamientos la resistencia a la penetración aumentó en profundidad y no hubo diferencias significativas entre tratamientos para una profundidad dada. Dada la elevada variabilidad de los datos, se optó por disminuir la rigurosidad estadística en el análisis, utilizándose un α de 0,10. A partir del mismo se observó la tendencia en CCP a presentar una mayor resistencia a la penetración en los primeros 2cm de suelo con relación al promedio de los sin pastoreo (SC y CCSP).

Según Venanzi et al. (2002) citando a Demmi y Puricelli, Pabin et al., los valores críticos de resistencia a la penetración por encima de los cuales se limita el crecimiento de las plantas oscila entre 2,5 y 4,1 MPa. Es por ello que, si bien el incremento fue del 78%, sólo se limitó a la zona superficial y en niveles que no serían un impedimento para la emergencia ni el crecimiento de las plantas.

Cuando se evaluó la profundidad a la que se alcanzó un nivel crítico de 2,5 MPa, no se registró ninguna situación en ninguno de los tratamientos. Sin embargo al considerar la profundidad a la que se alcanzó 2 MPa, el 15% de los registros superó el límite, registrándose a partir de los 46cm, todos distribuidos en las repeticiones correspondientes al tratamiento SC (ver anexo Cuadro 1).

Esto indica que el pastoreo no afectó las condiciones de compactación del suelo en profundidad más allá de los 16 cm.

Es importante destacar que a pesar de que el régimen hídrico durante el periodo de pastoreo fue un 25% superior al promedio histórico, no tuvo repercusiones sobre la RP a profundidades mayores a 2cm. Esto se explicaría porque tanto la carga como la categoría usada no lograron afectar negativamente este tratamiento o el tiempo de exclusión del pastoreo logró borrar el efecto del pastoreo.

El valor medio de RP para los primeros 2 cm estuvo compuesto por registros variables dentro de los tratamientos con cobertura (Figura 3), especialmente en el CCP. Los resultados son coincidentes con los reportados por Venanzi et al. (2004a) sobre el efecto heterogéneo que genera el pastoreo sobre la superficie del suelo.

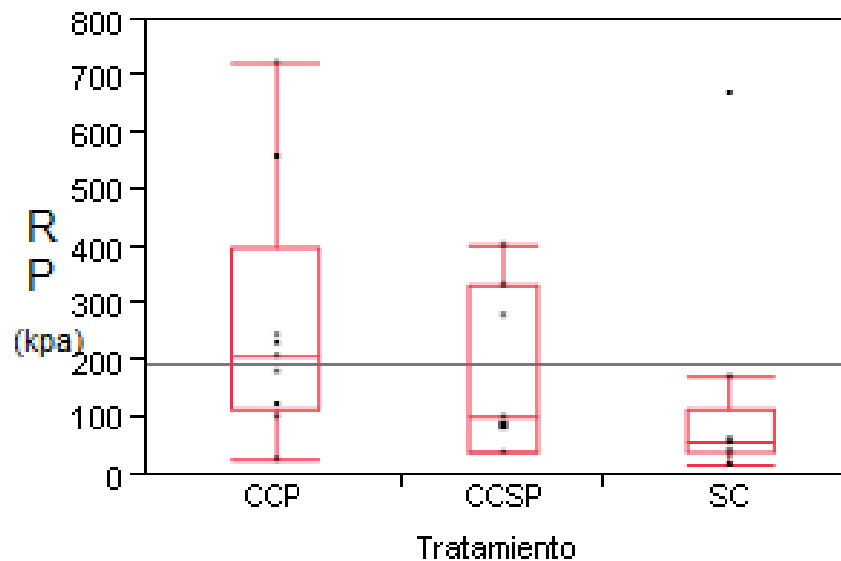


Figura 3. Variabilidad en la resistencia a la penetración (RP) (KPa) en los primeros 20 mm de suelo para sin cobertura invernal (SC) y para los tratamientos con cobertura invernal sin pastoreo (CCSP) y con pastoreo (CCP).

En cuanto a los valores de resistencia a la penetración obtenidos a los 80 mm de profundidad, el tratamiento CCSP presentó una tendencia ($P=0,10$) a ser menor que los otros tratamientos, incluso cuando se corrigió por contenido de humedad del suelo (datos que se presentan en Cuadro 2 de anexos). No se encontraron argumentos lógicos para explicar dicho fenómeno, ya que la RP presentó un comportamiento errático observándose a los 20 mm valores similares a SC, a los 40 mm no se diferenció de los demás tratamientos y a los 80 mm fue significativamente menor que los mismos.

4.3.3. Tasa de infiltración de agua

Se entiende por “Infiltración 1” (Inf 1) a la velocidad con que ingresa el agua en un suelo con el contenido de humedad al momento del muestreo. Mientras que “Infiltración 2” (Inf 2) es la velocidad de ingreso del agua al mismo suelo en condiciones de saturación (Wander y Bollero, 1999). Por lo tanto se elimina el efecto del contenido inicial del agua en el suelo, y se busca comparar los tratamientos en igualdad de condiciones.

Cuadro 3. Tasa de infiltración (mm h^{-1}), sin cobertura invernal (SC) y para los tratamientos con cobertura invernal sin pastoreo (CCSP) y con pastoreo (CCP) en las condiciones de humedad del suelo al momento de la determinación “infiltración 1” y luego de saturado “infiltración 2”.

Tratamiento	“Infiltración 1” (mm h ⁻¹)	“Infiltración 2” (mm h ⁻¹)
SC	25,2 a	15,2 a
CCSP	14,2 b	8,7 ab
CCP	13,9 b	8,0 b

Letras iguales dentro de la misma columna no difieren estadísticamente (P=0,05).

La “Inf 1” fue significativamente superior en SC que en los tratamientos con cobertura (cuadro 3). Probablemente las diferencias se expliquen porque CCSP tenía un mayor contenido inicial de agua en el suelo, y en el caso de CCP el daño de los macroporos (apelmazado y discontinuidad) producido por el pisoteo, lo que interrumpe el ingreso y el movimiento del agua en el suelo.

En la “Inf 2”, el tratamiento SC se diferenció estadísticamente del CCP, pero no del CCSP. La primera diferencia puede ser en parte explicada por la discontinuidad de los poros producto del pisoteo (Chanasyk y Net, Greenwood et al., Drewry et al., Singleton et al., citados por Fernández et al., 2010) y sumado a ello, la presencia de raíces aun sin descomponer que obstruyen macroporos. Este último fenómeno explicaría por qué los tratamientos con cobertura no se diferencian entre sí. Para confirmar dicho resultado, se realizó un contraste, entre con y sin cobertura invernal (ver Cuadro 3 anexos) cuyo resultado sugiere que la presencia del cultivo de cobertura invernal afectó la tasa de “Inf 2” negativamente.

Al usar el método de doble anillo modificado para estimar la “Inf 1” e “Inf 2” no se reproduce el efecto de la lluvia sobre el suelo, obviándose el beneficio de la cobertura de suelo en evitar el impacto directo de la gota y la disminución

en la velocidad de escurrimiento (Maddalena, citado por Bastos et al., 2006). Por lo tanto, lo que se está estimado es el estado de la superficie para captar la lluvia.

En la Figura 4, se presenta un análisis de la variabilidad de los registros de “Inf 2”, donde puede verse que la población de datos de los tratamientos con cobertura se asemejan ente sí y distan de los sin cobertura. Por otra parte, la variabilidad entre datos de SC tiene un rango mayor que los tratamientos con cobertura, compuesto básicamente por mayor frecuencia de observaciones con alta infiltración. Esto puede deberse a que la presencia de canales producidos por la descomposición de raíces del maíz del año anterior permanecieron intactos, permitiendo altas tasas de infiltración.

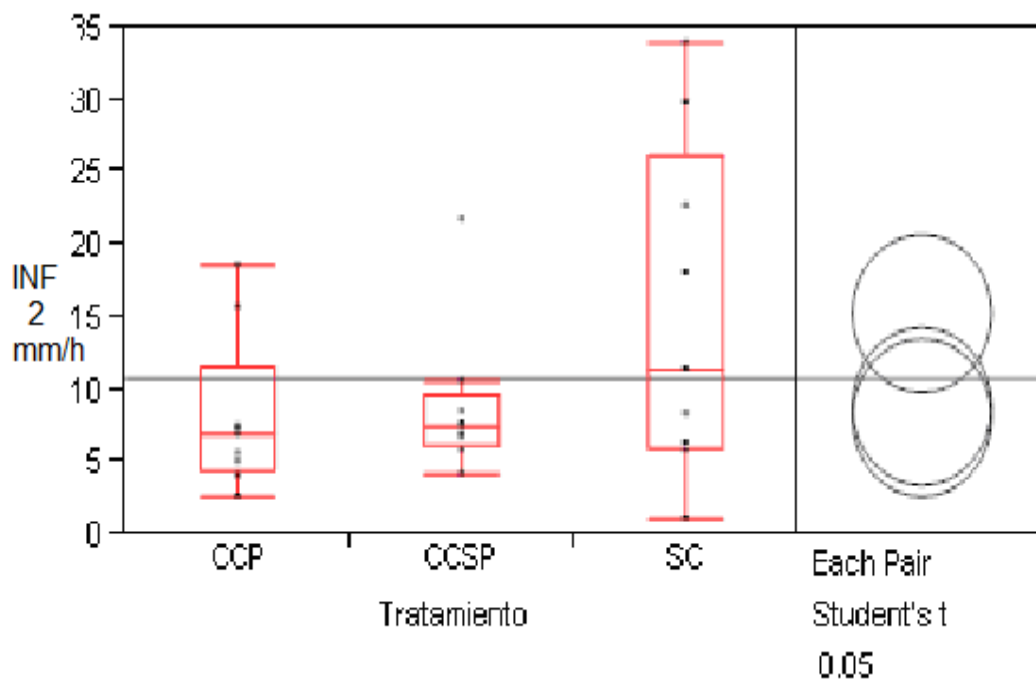
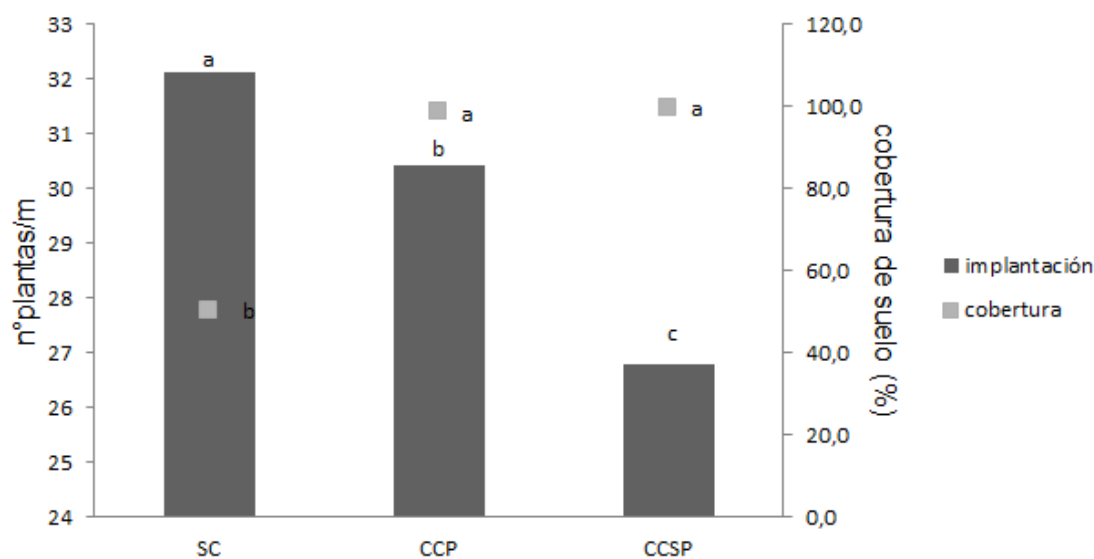


Figura 4. Variabilidad de la tasa de infiltración 2 observada (mm/h) para los tratamientos sin cobertura invernal (SC) y para los tratamientos con cobertura invernal sin pastoreo (CCSP) y con pastoreo (CCP).

4.3.4. Cobertura e implantación

El número de plantas logradas presentó diferencias significativas entre tratamientos. El pisoteo no afectó negativamente la implantación dado que la RP no se incrementó a niveles perjudiciales para el crecimiento del cultivo en el tratamiento CCP como se analizó anteriormente. La cobertura del suelo mayor a 90% constituyó el factor de mayor incidencia sobre el número de plantas logradas. Si bien el porcentaje de cobertura del suelo fue el mismo para los tratamientos con cobertura, la cantidad de biomasa de cobertura en superficie no era la misma (9912 y 5562 kgMS/ha para CCSP y CCP respectivamente), lo que indica que el pastoreo al remover la cobertura generaría un ambiente intermedio (en términos de luz y temperatura) entre el tratamiento SC y CCSP, fenómeno que fue descrito por Terra y García Préchac (2001). Como se observa en la figura 5, esto se ve reflejado en los porcentajes de implantación logrados.



Letras iguales dentro de cada variable no difieren estadísticamente (P=0,05)

Figura 5. Implantación y porcentaje de cobertura del suelo para los tratamientos sin cobertura invernal (SC), con cobertura invernal sin pastoreo (CCSP) y con pastoreo (CCP).

Cabe aclarar que para la siembra, no se reguló la sembradora de manera diferencial entre tratamientos, medida que suele tomarse para lograr mejorar la implantación en condiciones de alta cantidad de rastrojo. Consiste en incrementar la profundidad de siembra para que el tren de siembra sea capaz de cortar el rastrojo e introducir la semilla dentro del suelo, mejorando el contacto entre ambos.

4.4. EVOLUCIÓN DURANTE EL CICLO DEL CULTIVO

4.4.1. Evolución del contenido de agua en el suelo

Cuadro 4. Evolución del agua disponible en tres profundidades del suelo, para tres momentos del ciclo del cultivo sin cobertura invernal (SC) y para los tratamientos con cobertura invernal sin pastoreo (CCSP) y con pastoreo (CCP).

Agua disponible (mm)

Fecha	16/11/2010 (20 dps)			25/01/2011 (90 dps)			20/02/2011 (115 dps)		
	CCP	CCSP	SC	CCP	CCSP	SC	CCP	CCSP	SC
0-20	35,1 b	39 a	34,4 b	9,2 ab	11,5 a	6,1 b	7,6 a	8,8 a	7,8 a
20-40	40,5 a	40,2ab	38,7 b	13,2 b	18,9 a	12,2 b	10,6 a	13,5 a	11,0 a
40-60	35,6 a	37,0 a	37,1 a	13,6 b	20,8 a	14,0 b	12,3 a	15,7 a	13,2 a
Total	111,1 b	116,2 a	110,1 b	36,0 b	51,2 a	32,4 b	31,0 a	38,0 a	32,0a
AD/ CAAD (%)	90 b	95 a	90 b	29 b	42 a	26 b	25 a	31 a	26 a

Letras iguales dentro de la misma fila no difieren estadísticamente (P=0,05).

La primera fecha de muestreo (20 dps) ya fue analizada en el ítem 4.3.1 y corresponde al efecto residual del manejo del período de barbecho invernal. En la segunda fecha de muestreo (R2), se cuantifica además el posible uso diferencial del agua por el cultivo. En primer lugar, todos los tratamientos redujeron el contenido de agua en el suelo con relación a la determinación del 16/11 (V1) y en todas las profundidades. Esto implicaría que en todos ellos el cultivo extrajo agua hasta al menos los 60 cm de profundidad. Dentro de los manejos de barbecho invernal se destaca que el suelo bajo CCSP tuvo significativamente más agua disponible en todas las profundidades. Solamente en los primeros 20cm no se diferenció estadísticamente de CCP, por lo que en superficie hubo más agua disponible en los manejos con cobertura invernal. Cabe destacar que al para esa fecha de muestreo no se registró el nivel de cobertura del suelo, variable que si fue registrada el 20 de febrero arrojando valores de (99, 98 y 50 para CCSP, CCP y SC respectivamente) lo que estaría indicando que al 25/1 efectivamente los niveles de cobertura eran diferentes.

Las diferencias en profundidad entre los tratamientos CCSP y CCP podrían explicarse por uso diferencial, ya que CCP presentó una mayor población a inicios del experimento (medición del 8/12 correspondiente con estadio V4) y una tendencia a producir más biomasa en los primeros estadios de crecimiento (Cuadros 5 a 7). Ambos factores pudieron provocar mayor consumo de agua en el periodo V4-R2 y por ello se produjeron las diferencias en el contenido de AD en profundidad entre los tratamientos.

SC presentó menor contenido de agua en todo el perfil que CCSP, explicado por ausencia de cobertura de suelo y mayor consumo de agua por diferencia de crecimiento y desarrollo.

En la tercera fecha de muestreo (R4) los tratamientos no se diferenciaron entre sí para ninguna de las profundidades. Esto se debió a que las precipitaciones entre la segunda y la tercera fecha de muestreo fueron escasas (54 mm en 25 días) en un periodo donde el cultivo crece a tasas muy elevadas (116, 112 y 90 kgMS/ha para SC, CCP y CCSP) y además la demanda atmosférica es alta. Esto determinó bajos contenidos de agua disponible para todos los tratamientos a lo largo del perfil del suelo (25, 31 y 26 % de AD para CCP, CCSP y SC respectivamente). Para esta fecha el cultivo se encontraba en pleno período crítico, cuando las necesidades de agua disponible del cultivo son del orden del 60% del AD (Giménez, 2007). Por lo que dicho contenido de agua en el suelo pudo comprometer el rendimiento del cultivo.

4.4.2. Crecimiento y desarrollo

4.4.2.1. Población

La población inicial del experimento fue más elevada que la cuantificada a cosecha. Esto pudo deberse a un reajuste poblacional producto del déficit hídrico registrado durante el ciclo del cultivo (45% menos precipitaciones que el promedio histórico para la zona) y a la elevada competencia en la línea (por tratarse de distancias entre hileras de 52cm). Cabe destacar que el mínimo de población no afectó los niveles de producción.

Cuadro 5. Evolución en el número de plantas por tratamiento.

Tratamiento	08/12/2010	25/01/2011	20/02/2011	10/04/2011
	(42 dps)	(90 dps)	(115 dps)	(cosecha)
SC	32,1 a	22,7 a	20,7 a	21,4 a
CCP	30,4 b	21,2 ab	18,5 b	21,8 a
CCSP	26,8 c	20,7 b	18,2 b	19,6 b

Letras iguales dentro de la misma columna no difieren estadísticamente (P=0,05).

4.4.2.2. Fenología, altura de planta y biomasa producida

El tratamiento sin cobertura se encontró en estados fenológicos más avanzados que los con cobertura, para ambas fechas de registro (Cuadro 6).

Cuadro 6. Fenología del cultivo para los tres tratamientos, en dos momentos del ciclo.

Tratamiento	Fecha	
	08/12/2010	14/03/2011
	Vegetativo	Reproductivo
SC	4,2 a	6,4 a
CCP	3,8 b	6,2 b
CCSP	3,6 b	6,1 b

Letras iguales dentro de la misma columna no difieren estadísticamente (P=0,05).

Esto pudo deberse a que en el suelo desnudo la temperatura alcanzada a inicios del ciclo del cultivo fue mayor, lográndose mayores tasas de desarrollo,

Ernst (1999). Otra posible explicación puede ser que la abundante cobertura por rastrojo interfiriese con la velocidad de emergencia de las plántulas por limitar la luz que puedan absorber, y ofrecer una resistencia física a su crecimiento. Es por ello que demoran más tiempo en llegar a igual estado de desarrollo que las emergidas en suelo sin cobertura. Estas diferencias se mantuvieron en el tiempo.

El desfase fenológico entre los tratamientos llevó a que las mediciones, realizadas a tiempo fijo, compararan plantas en distinto estado de desarrollo, constituyendo esto en un factor explicativo de las diferencias en altura y biomasa producida (Cuadro 7).

Cuadro 7. Evolución de la altura de planta (cm) y biomasa del cultivo (kgMS/ha) para los tratamientos sin cobertura (SC), con cobertura pastoreada (CCP) y con cobertura sin pastoreo (CCSP).

Tratamiento	25/01/2011 (90 dps)		20/02/2011 (115 dps)		14/03/2011 (137 dps)	
	Altura	Biomasa	Altura	Biomasa	Altura	Biomasa
SC	55,0 a	5056 a	71,6 a	8076 a	65,7 b	6944 b
CCP	53,1 ab	4277 b	71,7 a	7205 ab	68,1 ab	7835 a
CCSP	52,8 b	3924 b	73,7 a	6271 b	69,6 a	8164 a

Letras iguales dentro de la misma columna no difieren estadísticamente (P=0,05).

Para la primera fecha de muestreo (90 dps), el tratamiento SC se diferenció en términos de altura de planta del CCSP, mientras que en el CCP se

observaron valores intermedios, por lo que no se diferenciaron estadísticamente de los otros tratamientos. Esto podría explicarse por el efecto combinado de edad de planta y competencia por espacio, producto de la densidad de población. Siendo el tratamiento SC el de mayor altura por encontrarse en un estadio fenológico más avanzado y en una mayor población, que induce a las plantas a elongarse. Ambos factores (número de plantas y estado fenológico) determinan también las diferencias encontradas en biomasa para esta misma fecha.

En el segundo muestreo (115 dps) las diferencias en altura entre los tratamientos se equiparan, debido a que en ese momento las plantas están alcanzando su máxima altura. Sin embargo, en términos de biomasa, el tratamiento SC se encontró cercano a su máximo punto de acumulación, mientras que CCSP lo alcanzó más tarde, en torno al 14 de marzo. El tratamiento CCP probablemente alcanzó su máximo en período intermedio entre ambos. Esto reafirma el concepto de Passioura (2002), quien sostiene que las diferencias iniciales de crecimiento se mantienen en el tiempo.

Para la última fecha de muestreo (137dps) el tratamiento SC presentó una caída en la biomasa. Esto pudo deberse a su estado fenológico avanzado, en el que comienza la abscisión de hojas. Esto explica también las diferencias en altura, en las que se puede ver que a medida que avanza el estado fenológico, disminuye la altura de planta.

4.4.2.3. Rendimiento y componentes

En el Cuadro 8 se resume el efecto del manejo del período de barbecho invernal sobre la construcción del rendimiento en grano y el rendimiento final.

Cuadro 8. Componentes del rendimiento y rendimiento según tratamiento.

	No. pl/m	Nudos/pl	Ramas/pl	Vainas/pl	PMG (g)	Rendimiento (kg/ha)
SC	21,4 a	16,1 b	1,0 b	21,0 b	180,4 a	3043 a
CCSP	19,6 b	17,1 a	2,0 a	23,9 a	165,1 b	3045 a
CCP	21,8 a	15,9 b	1,5 b	20,6 b	168,2 b	3054 a

Letras iguales dentro de la misma columna no difieren estadísticamente (P=0,05).

Si bien SC y CCP no se diferenciaron estadísticamente para las variables: No. pl/m, Nudos/pl, Ramas/pl y Vainas/pl, si lo hicieron para PMG. Sin embargo no se encontraron diferencias en rendimiento. Es probable que el tratamiento CCP tuviese más granos por vaina (variable que no fue registrada), por lo que alcanzó el mismo rendimiento que SC, el cual tuvo probablemente menor número de granos por vaina, pero de mayor peso.

El tratamiento CCSP, si bien partió de un menor número de plantas que el resto de los tratamientos, la capacidad de compensar de la especie (Vega y Andrade, 2000) le permitió alcanzar mayor número de nudos, ramas y vainas por planta. El menor PMG no le permitió concretar rendimientos mayores que le permitiesen superar a los demás tratamientos.

Los rendimientos no se diferenciaron entre sí, por lo que el pastoreo no tuvo influencia negativa sobre el mismo, esto concuerda con Morán (2000), Venanzi et al. (2004a). La causa podría ser la siguiente: el ambiente limitó el rendimiento en torno a los 3000 kg/ha. El desfasaje fenológico entre tratamientos conjuntamente con la plasticidad propia de la soja, determinó que

los componentes de rendimiento presentaran arreglos diferentes para lograr un mismo rendimiento. Siendo el requerimiento de agua del cultivo de aproximadamente 650mm (Giménez y García, 2009), cabe destacar que a siembra el suelo estaba recargado (120mm de AD) y en el periodo siembra a madurez fisiológica ocurrieron 261mm de precipitaciones. Probablemente esta sea la mayor restricción para la expresión de diferencias entre tratamientos.

5. CONCLUSIONES

El rendimiento del cultivo de soja no se vio afectado por el pastoreo del cultivo de cobertura de avena. Siendo éste en forma coyuntural, con una carga de 12 corderos/ha, respetando un tiempo mínimo de rebrote de 15 días y un largo de barbecho de al menos 42 días, aun cuando se realizó durante un periodo en que llovió un 25% mas que la media histórica.

El consumo de agua de la cobertura no se vio reflejado en el contenido de agua disponible al momento de la siembra debido a las precipitaciones registradas durante el periodo de rebrote y barbecho.

La cobertura de suelo determinó disminución en la implantación, sin embargo esto no se reflejó en el rendimiento, debido a que la población mínima siempre estuvo por encima del óptimo.

La RP tendió a aumentar en los 2 cm superficiales en el tratamiento con pastoreo, sin embargo los valores absolutos distaron del valor crítico de 2,5 MPa, por lo que no perjudicó la implantación ni el rendimiento.

Persiste la necesidad de información acerca de los posibles efectos acumulativos de esta práctica en el largo plazo, o sobre otros cultivos.

6. RESUMEN

Los sistemas de producción que se basan en un cultivo por año generan tiempos de barbecho largos, aumentando la probabilidad de tener pérdidas de suelo y nutrientes por erosión. Una alternativa es la inclusión de cultivos de cobertura (CC) entre los dos cultivos de renta, lo cual implica un costo adicional en el corto plazo. El pastoreo del CC sería una alternativa para cubrir dichos costos. Se evaluaron tres manejos del período invernal desde la cosecha del maíz (20/02/2010) hasta la siembra de la soja (27/10/2010): sin cobertura (SC) donde se dejó el rastrojo de maíz libre de malezas hasta la siembra de soja; CC invernal sin pastoreo (CCSP) en el que se sembró avena el 20/04 y se mantuvo hasta el 15/09; con CC invernal con igual fecha y manejo pero pastoreado (CCP) en forma continua con 12 corderos/ha entre el 25/05/2010 y 31/08/2010. Luego de retirado el pastoreo se dejaron 15 días de rebrote del CC y se aplicó glifosato a igual fecha y dosis que en CCSP. El nivel de cobertura del suelo provocó diferencias en implantación, velocidad de desarrollo y crecimiento inicial del cultivo, (SC > CCP > CCSP). Si bien la resistencia del suelo en los primeros 2cm del perfil tendió a ser mayor en CCP, no superó el valor crítico de 2,5 MPa. La velocidad de infiltración tuvo diferencias entre tratamientos, siendo menor en los tratamientos con CC. No hubo diferencias significativas en el rendimiento de soja entre los tres manejos evaluados (3047 kg ha promedio), pero el desfase fenológico producido por los tratamientos determinó que se construyera el mismo rendimiento con un arreglo distinto entre sus componentes.

Palabras clave: Cultivo de cobertura; Pastoreo; Glycine max (L.) Merr.; Avena bizantina.

7. SUMMARY

Production systems that rely on one crop per year generate long fallow periods, increasing the probability of soil and nutrient losses by erosion. An alternative is to include cover crops (CC) between the two rent crops, which mean an additional cost in the short term. CC grazing would be an alternative to cover those costs. Three managements of winter period were evaluated, from corn harvest (20/02/2010) to soybean sowing (27/10/2010): without cover crop (SC) where corn stover was maintained weed-free until soybean sowing, winter CC without grazing (CCSP) in which oat was sowed on 20/4 and maintained until 15/09, winter CC sowed on the same date and management that CCSP, but grazed (CCP) continuously with 12 lambs/ha between 25/05/2010 and 31/08/2010. 15 days were left after end of grazing period, to allow CC regrowth. Glyphosate was applied at the same time and dose in CCSP. The level of stover of CC over soil, surface caused differences in implantation, development rate, and initial crop growth (SC > CCP > CCSP). Soil penetration resistance in the first 2 cm tended to be higher in CCP, but it did not exceed the critical value of 2.5 MPa. The infiltration rate was different between treatments, being lower in treatments with CC. There were no significant differences in soybean yield among the three managements evaluated (3047 kg/ha on average), but the phenological mismatch caused by the treatments resulted in the same performance with a different arrangement between its components.

Keywords: Cover crop; Grazing; Glycine max (L.) Merr.; Byzantine oat.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. ALTAMIRANO, A.; DA SILVA, H.; DURÁN, A.; ECHEVERRÍA, A.; PANARIO, D.; PUENTES, R. 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay; clasificación de suelos. t.1, 96 p.
2. BASTOS, M.; FELLER, D.; INGOLD, J. 2006. Efectos del cultivo de cobertura y grupo de madurez en el contenido de agua del suelo y rendimiento de soja. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 90 p.
3. DA COSTA, M.; RUBIO, D. 2003. Efecto del tiempo y manejo de barbecho de avena sobre la instalación y rendimiento del sorgo granífero. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 82 p.
4. DURÁN, A.; CALIFRA, A.; MOLFINO, J.H. 1999. Suelos del Uruguay según Soil Taxonomy. (en línea). Montevideo, Facultad de Agronomía. 14 p. Consultado 10 oct. 2011. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/~edafologia/suelosROU.pdf>
5. ERNST, O. 1999. Siembra sin laboreo de cultivos de verano. (en línea). In: Siembra sin laboreo de cultivos y pasturas. Montevideo, Facultad de Agronomía/INIA/PROCISUR. s.p. Consultado 7 oct. 2011. Disponible en http://www.eemac.edu.uy/index.php/component/docman/cat_view/98-cursos-eemac/99-cereales-y-cultivos-industriales-a/101-cultivos-de-verano/106-siembra-directa/110-siembra-sin-laboreo-de-cultivos-y-pasturas

6. _____. 2004. Leguminosas como cultivo de cobertura. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. 21: 1-10.
7. FARIÑA, P.; GAUTHIER, A. 2006. Efecto del manejo del barbecho sobre disponibilidad de N-NO₃⁻, agua y condición física del suelo e implantación de sorgo granífero sembrado sin laboreo sobre un verdeo de avena. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 81 p.
8. FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E. 1977. Stages of soybean development. Iowa State University. Special Report no. 80. 12 p.
9. FERNANDEZ, P.L.; ÁLVAREZ, C.R.; TABOADA, M.A.; CORREA LUNA, M. 2006. Propiedades físicas en sistemas de producción mixta y de agricultura continua en siembra directa. Buenos Aires, UBA. Facultad de Agronomía. Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes. 5 p.
10. _____.; _____.; _____.; SCHINDLER, V. 2010a. Changes in topsoil bulk density after grazing crop residues under no-till farming. *Geoderma*. 159: 24-30.
11. _____.; _____.; _____. 2010b. Sistemas agrícola-ganaderos vs. agricultura continua en siembra directa; stock de carbono y estado físico del suelo. *In*: Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo (22º., 2010, Rosario). El suelo; pilar de la agroindustria en la pampa argentina. Rosario, s.e. s.p.

12. FLOSS, E.L. 2000. Beneficios da biomasa de aveia ao sistema de semeadura direta. *Revista Plantio Direto*. 57: 25-29.
13. FRANZLUEBBERS, A.J.; STUEDEMANN, J.A. 2008. Soil physical responses to cattle grazing cover crops under conventional and no tillage in the Southern Piedmont USA. *Soil & Tillage Research*. 100: 141–153.
14. GARCÍA, F.O.; CIAMPITTI, I.A.; BAIGORRI, H.E. 2009. Manual de manejo del cultivo de soja. Buenos Aires, International Plant Nutrition Institute. 190 p.
15. GARCIA PRECHAC, F. 1998. Siembra directa de pasturas. (en línea). Montevideo, Facultad de Agronomía. s.p. Consultado 7 set. 2011. Disponible en <http://www.rau.edu.uy/agro/uepp/siembra5.htm>
16. GIMÉNEZ, L. 2007. Estudio de la disponibilidad hídrica en cultivos de verano en Uruguay. *In*: Congreso Internacional de Riego y Drenaje (3º., 2007, La Habana). Libro de resúmenes. La Habana, Cuba, Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje MINAG. s.p.
17. _____; GARCÍA, M. 2009. Estudio de las necesidades hídricas de los cultivos de verano en Uruguay. *In*: Simposio Nacional de Agricultura de Secano (1º., 2009, Paysandú). Trabajos presentados. Paysandú, Facultad de Agronomía. pp. 17-31
18. LETEY, J. 1985. Relationship between soil properties and crop production. *Advances of Soil Science*. 1: 273-294.

19. LIPIEC, J.; MEDVEDEV, V.V.; BIRKAS, M.; DUMITRU, E.; LYNDINA, T.E.; ROUSSEVA, S.; FULAJTÁR, E. 2003. Effect of soil compaction on root growth and crop yield in Central and Eastern Europe. *International Agrophysics*. 17: 61- 69.
20. MARTÍN, B.; ZERPA, G.; SOSA, O.; DENOIA, J. 1998. Efecto del tránsito animal sobre las propiedades físicas del suelo y sobre la velocidad de infiltración. *In*: Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo (16º., 1998, Carlos Paz, Córdoba). Actas. Carlos Paz, Córdoba, s.e. pp.11-13.
21. MARTINO, D.L. 1999. Manejo de restricciones físicas del suelo en sistema de siembra directa. (en línea). Colonia, INIA. pp. 225-257 (Documento online no. 032). Consultado 20 ago. 2011. Disponible en <http://www.inia.org.uy/online/site/publicacion-ver.php?id=694>
22. MAY, Z.; SCHMITZ, S. 1997. Efecto de la edad de chacra y secuencia de laboreo sobre el crecimiento y rendimiento de sorgo granífero. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 81 p.
23. MOLFINO, J.H. 2009. Estimación del agua disponible en los grupos Coneat. (en línea). s.n.t. 15 p. Consultado 20 oct. 2011. Disponible en <http://www.cebra.com.uy/renare/adjuntos/2009/12/Memoria-Explicativa-AD1.pdf>
24. MORÁN, M.S.; COSTA, J.L.; CALVIÑO, P. y RODRIGUEZ, J.C. 2000. Influencia del pastoreo de verdeos sobre algunas propiedades físicas del suelo y del cultivo de soja en un sistema de siembra directa. *In*:

Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo (17^o., 2000, Mar del Plata). El suelo sustenta la vida. Mar del Plata, s.e. s.p.

25. PASSIOURA, J. B. 2002. Soil conditions and plant growth. *Plant, Cell and Environment*. 25: 311–318.
26. RUCKS, L.; GARCÍA, F.; KAPLAN, A.; PONCE DE LEÓN, J.; HILL, M. 2004. Propiedades físicas de los suelos. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 68 p.
27. RUSSELL, J.R.; CLARK, J.T.; KARLEN, D.L.; SINGLETON, P. L.; BUSBY, W.D.; PETERSON, B.C. 2004. Crop residues. Soil surface property and soybean yield response to corn stover grazing. *Agronomy Journal*. 96: 1364-1371.
28. SARRANTONIO, M.; GALLANDT, E. 2003. The role of cover crops in North American cropping systems. *Journal of Crop Production*. 8:53-74.
29. SIRI-PRIETO, G. 2004. Tillage requirements for winter-annual grazing rotations. Tesis PhD. Auburn, Alabama. Auburn University. Faculty of Agronomy. 97 p.
30. _____; ERNST, O. 2011. Raigrás como cultivo de cobertura: Efecto del largo del período de barbecho sobre la disponibilidad de agua, el riesgo de erosión y el rendimiento de la soja. *Cangüé*. no. 31: 18-27.

31. TEASDALE, J.R. 1996. Contribution of cover crops to weed management in sustainable agricultural systems. *Journal of Production Agriculture*. 9: 475-479
32. TERRA, J.; GARCÍA PRÉCHAC, F. 2001. Ciclo de cultivos de las rotaciones. *In*: Terra, J.; García Préchac, F. eds. Siembra directa y rotaciones forrajeras en las lomadas del este; síntesis 1995-2000. Montevideo, INIA. pp. 34-50 (Serie Técnica no. 125).
33. _____.; MENDEZ, R.; DEAMBROSI, E. 2009. Efecto sobre el cultivo de arroz de la cobertura vegetal, del pastoreo ovino y largo de barbecho. Treinta y Tres, INIA. 1 p. (Posters online no. 148). Consultado 20 ago. 2011. Disponible en <http://www.inia.org.uy/online/site/publicacion-ver.php?id=1998>
34. URUGUAY. MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL. DIRECCIÓN NACIONAL DE METEOROLOGÍA. s.f. Estadísticas climatológicas. (en línea). Montevideo. Consultado 14 dic. 2011. Disponible en <http://www.meteorología.gub.uy/index.php/estadisticas-climaticas>
35. _____. MINISTERIO DE GANADERÍA, AGRICULTURA Y PESCA. PRENADER. 2010. Cartografía de suelos CONEAT. (en línea). Montevideo. Consultado 10 oct. 2011. Disponible en <http://prenader.gub.uy/coneat>
36. VEGA, C.R.; ANDRADE, F.H. 2000. Densidad de plantas y espaciamiento entre hileras. *In*: Andrade F.H.; Sadras V.O. eds. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Balcarce, INTA. pp. 97-126.

37. VENANZI, S.; DE SA PEREIRA, E.; KRÜGER, H. 2002. La siembra directa y ganadería. Efectos del pastoreo sobre la compactación a corto plazo. (en línea). Bordenave, INTA. 5 p. Consultado 5 ago. 2011. Disponible en <http://anterior.inta.gov.ar/f/?url=http://anterior.inta.gov.ar/bordenave/contactos/autores/santi/nompublic.htm>.
38. _____.; _____.; GALANTINI, J. 2004a. Pastoreo en siembra directa y crecimiento de soja. In: Argentino de la Ciencia del Suelo (19º., 2004, Paraná). Cambio en el uso de la tierra; educación y sustentabilidad. Paraná, Entre Ríos, s.e. s.p.
39. _____.; _____.; _____.; KRUGER, H. 2004b. Siembra directa y pastoreo. Impacto sobre el suelo y los cultivos en el Sur de la región semiarida pampeana. (en línea). Bordenave, INTA. 11 p. Consultado 5 ago. 2011. Disponible en http://anterior.inta.gov.ar/f/?url=http://anterior.inta.gov.ar/balcarce/noticias/inta_expone/AuditorioUbaldoGarcia/SDyPastoreo.pdf.
40. WANDER, M.; BOLLERO, G. 1999. Water management and conservation. Soil Science Society of America Journal. 63: 961-971

9. ANEXOS

1. FRECUENCIA DE CASOS CON RP>2000 KPA.

	No. de caso de casos RP>2000 kPa	Frecuencia relativa
CCSP	0	0,0
CCP	0	0,0
SC	4	0,44
Total	4	0,15

2. CORRECCIÓN DE RP A 80 MM POR CONTENIDO DE HUMEDAD AL MOMENTO DEL MUESTREO.

Response 80mm
Summary of Fit

Fixed Effect Tests

Source	Nparm	DF	DFDen	F Ratio	Prob > F
Tratamiento	2	2	16.34	4.6216	0.0257*
Repetición	2	2	18	0.4109	0.6691
%humedad	1	1	16.8	0.1385	0.7145

Effect Details

Tratamiento

Least Squares Means Table

Level	Least Sq Mean	Std Error
CCP	1249.9408	73.715777
CCSP	962.5582	95.896699
SC	1363.5438	80.005962

Level		Least Sq Mean
SC	A	1363.5438
CCP	A	1249.9408
CCSP	B	962.5582

Levels not connected by same letter are significantly different.

3. CONTRASTE "INFILTRACIÓN 2" (CC vs. SC)

Análisis de la varianza

Variable	No.	R ²	R ² Aj	CV
INF2	27	0,63	0,39	60,80

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor(Error)
Modelo.	1118,77	10	111,88	2,68	0,0383
TRAT	278,30	2	139,15	6,36	0,0330(TRAT>REP)
BLO	177,71	2	88,85	2,13	0,1516
REP	489,96	2	244,98	5,87	0,0123
TRAT>REP	131,36	6	21,89	0,52	0,7818
Error	668,23	16	41,76		
Total	1787,00	26			

Contrastes

TRAT	Contraste	SC	gl	CM	F	p-valor (Error)
Contraste1	-13,56	275,94	1	275,94	12,60	0,0121 (TRAT>REP)
Total		275,94	1	275,94	12,60	0,0121 (TRAT>REP)

Coefficientes de los contrastes

TRAT Ct.1	
CCP	1,00
CCSP	1,00
SC	-2,00