

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EFFECTO DEL CULTIVO COBERTURA CON Y SIN PASTOREO SOBRE LAS  
PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO Y RENDIMIENTO DE LA SOJA  
POSTERIOR**

**por**

**Agustín MAILHOS ALGORTA  
Marcos Andrés RAMOS PRESNO**

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

**MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2017**

Tesis aprobada por:

Director:

---

Ing. Agr. Oswaldo Ernst

---

Ing. Agr. Juan Andrés Quincke Walden

---

Ing. Agr. Carlos Otaño Luna

Fecha: 5 de setiembre de 2017

Autores:

---

Agustín Mailhos Algorta

---

Marcos Andrés Ramos Presno

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestras familias por el apoyo que nos han brindado desde el inicio a fin de nuestra carrera.

A todo el personal de INIA La Estanzuela que colaboró de una u otra forma con la realización de este trabajo.

A nuestros tutores quienes nos ayudaron a llevar adelante este trabajo.

Al servicio de Biblioteca de la EEMAC 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 <u>EFFECTOS DEL CULTIVO DE COBERTURA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO</u> .....	2
2.1.1 <u>Cultivo de cobertura</u> .....	2
2.1.2 <u>Erosión del suelo</u> .....	3
2.1.2.1 <u>Erosión por agua</u> .....	3
2.1.2.2 <u>Erosión por viento</u> .....	3
2.1.3 <u>Compactación del suelo</u> .....	3
2.1.4 <u>Carbono orgánico del suelo</u> .....	4
2.1.5 <u>Estructura del suelo</u> .....	4
2.1.6 <u>Propiedades hídricas</u> .....	4
2.1.7 <u>Temperatura de suelo</u> .....	5
2.1.8 <u>Microfauna</u> .....	5
2.1.9 <u>Supresión de malezas</u> .....	5
2.1.10 <u>Efectos de la avena como cultivo de cobertura</u> .....	6
2.2 <u>EFFECTOS DEL PASTOREO DE LOS CULTIVOS DE COBERTURA SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO</u> .....	6
2.2.1 <u>Efectos sobre la compactación</u> .....	7
2.2.1.1 <u>Resistencia a la penetración</u> .....	8
2.2.1.2 <u>Densidad aparente</u> .....	9
2.2.2 <u>Efecto sobre la estabilidad de los agregados</u> .....	11
2.2.3 <u>Efecto sobre la infiltración y contenido de agua del suelo</u> ..	12
2.2.4 <u>Efecto sobre la aireación del suelo</u> .....	13
2.3 <u>RELACIÓN ENTRE PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO Y EL DESEMPEÑO DEL CULTIVO DE SOJA</u> .....	14
2.3.1 <u>Resistencia a la penetración</u> .....	14
2.3.2 <u>Densidad aparente</u> .....	15
2.3.3 <u>Tamaño de los agregados</u> .....	16
2.3.4 <u>Aireación del suelo</u> .....	16
2.3.5 <u>Propiedades hidráulicas del suelo y uso del agua</u> .....	16
2.4 <u>ANTECEDENTES</u> .....	18

3	<u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> .....	21
3.1	<u>LOCALIZACIÓN DEL SITIO EXPERIMENTAL</u> .....	21
3.2	<u>DISEÑO EXPERIMENTAL</u> .....	21
3.2.1	<u>Manejo de la avena y del pastoreo</u> .....	22
3.2.2	<u>Manejo de la soja</u> .....	22
3.3	<u>DETERMINACIONES</u> .....	23
3.3.1	<u>Determinaciones de suelo</u> .....	23
3.3.1.1	<u>Densidad aparente</u> .....	23
3.3.1.2	<u>Resistencia a la penetración</u> .....	23
3.3.1.3	<u>Humedad gravimétrica</u> .....	24
3.3.1.4	<u>Rugosidad</u> .....	24
3.3.2	<u>Determinaciones de planta</u> .....	24
3.3.2.1	<u>Implantación</u> .....	24
3.3.2.2	<u>Fenología</u> .....	24
3.3.2.3	<u>Altura</u> .....	25
3.3.2.4	<u>Rendimiento</u> .....	25
3.3.2.5	<u>Componentes de rendimiento</u> .....	25
3.3.3	<u>Otras determinaciones</u> .....	25
3.3.3.1	<u>Cobertura</u> .....	25
3.3.3.2	<u>Enmalezamiento</u> .....	25
4	<u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u> .....	27
4.1	<u>CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA</u> .....	27
4.2	<u>EFFECTO DEL PASTOREO DEL CULTIVO DE COBERTURA SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO</u> .....	29
4.2.1	<u>Densidad aparente</u> .....	29
4.2.2	<u>Resistencia a la penetración</u> .....	30
4.2.3	<u>Humedad</u> .....	32
4.2.4	<u>Rugosidad</u> .....	34
4.3	<u>EFFECTO DEL PASTOREO DEL CULTIVO DE COBERTURA SOBRE EL CULTIVO DE SOJA</u> .....	35
4.3.1	<u>Implantación</u> .....	35
4.3.2	<u>Fenología</u> .....	36
4.3.3	<u>Altura de planta</u> .....	37
4.3.4	<u>Rendimiento</u> .....	38
4.3.5	<u>Componentes del rendimiento</u> .....	39
4.4	<u>EFFECTO DEL PASTOREO DEL CULTIVO DE COBERTURA SOBRE OTRAS VARIABLES DEL SISTEMA</u> .....	41
4.4.1	<u>Cobertura</u> .....	41
4.4.2	<u>Enmalezamiento</u> .....	42
5	<u>CONCLUSIONES</u> .....	44

6	<u>RESUMEN</u> .....	46
7	<u>SUMMARY</u> .....	47
8	<u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....	48
9	<u>ANEXOS</u> .....	53

## LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.		Página
1.	Antecedentes, primera parte.....	18
2.	Antecedentes, segunda parte.....	19
3.	Antecedentes, tercera parte.....	20
4.	Resultados de las medidas de resistencia a la penetración realizadas. ....	31
5.	Resultados de la estimación de humedad gravimétrica del suelo.....	33
6.	Estado fenológico promedio para 18 y 31 días post siembra. ...	36
7.	Altura de plantas (cm) para tres estadios relevados. ....	37
8.	Rendimiento en grano y sus componentes numéricos.....	39
9.	Componentes de la variable no. granos/planta. ....	40
10.	Porcentaje de cobertura del suelo 20 y 30 días post siembra (dps) de soja. ....	41
Figura No.		
1.	Régimen de precipitaciones durante el período experimental comparado a la serie histórica de la zona (1965-2016).....	27
2.	Temperaturas medias mensuales durante el período experimental comparadas a la serie histórica para la zona (1965-2016). ....	28
3.	Densidad aparente para los dos estratos relevados (0-5 cm y 5-10 cm) a la siembra de la soja. ....	29
4.	Estimación de rugosidad del suelo 35 días post siembra (variación estándar de la diferencia de altura entre puntos equidistantes en el suelo y una función que simula la pendiente del terreno). ....	34
5.	Implantación de soja a los 18 y 31 días post siembra.....	35
6.	Rendimiento en grano con humedad de cosecha (16 %). ....	38
7.	Enmalezamiento (kg MS/ha).....	42

## 1 INTRODUCCIÓN

El área destinada a la agricultura en Uruguay se ha incrementado notoriamente en estos últimos 15 años, logrando la suma de 1,8 millones de has sembradas en la zafra 2012/2013 (MGAP.DIEA, 2014). Este aumento en el área abarca campos tanto con historia y aptitud agrícola como campos con menor aptitud en los que nunca se había realizado agricultura. Esta expansión se da principalmente por el aumento del área de la soja la cual se triplicó desde la zafra 2005/2006 (309 mil has) a la zafra 2012/2013 (1050 mil has).

Surge en el año 2013 en Uruguay la presentación obligatoria de planes de uso y manejo de suelo para la agricultura, con el propósito de controlar las pérdidas de suelo por erosión. En gran parte de los suelos donde se realiza agricultura, la presencia de un solo cultivo anual, lleva a superar los límites mínimos de erosión propuestos por el plan de uso y manejo de suelos. Es por esto, entre otras cosas, que la presencia de otro cultivo anual o de una fase de pasturas perennes debe ser incluida en la rotación del sistema.

Los sistemas de producción que se basan en un cultivo por año (soja-soja por ejemplo) generan tiempos de barbecho excesivamente largos con baja cobertura del suelo. Esto aumenta la susceptibilidad del suelo a la erosión y a la pérdida de nutrientes por la misma. La utilización de cultivos de cobertura durante este período, normalmente improductivo, permite mantener el suelo cubierto, reciclar nutrientes y produce un nuevo ingreso de rastrojo al sistema (Ernst, 2004).

Debido a que el cultivo de cobertura genera un costo sin retorno económico en el corto plazo, surge como alternativa el pastoreo del mismo con el propósito de generar un ingreso económico al sistema. Cabe destacar, que no se debe perder de vista la función principal de las coberturas, por lo que se deben mantener ciertos niveles de biomasa que protejan al suelo de la erosión.

Dado que los resultados obtenidos por el pastoreo de los cultivos de cobertura sobre el rendimiento del cultivo posterior han sido variables (negativos o sin efecto) es que nos proponemos su estudio.

El objetivo del presente trabajo es evaluar el efecto del cultivo de cobertura (avena) sin y con pastoreo a dos cargas contrastantes, sobre las propiedades físicas del suelo y el rendimiento de la soja posterior.

## 2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 EFECTOS DEL CULTIVO DE COBERTURA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO

#### 2.1.1 Cultivo de cobertura

Los cultivos de cobertura son aquellos que crecen específicamente para mantener el suelo cubierto, protegiéndolos de la erosión, evitando pérdida de nutrientes por lavado y escurrimiento. Se diferencian de una pastura porque no son de renta directa y crecen fuera de estación dentro de un sistema de siembra de cultivos anuales (Reeves y Touchton, citados por Ernst, 2004).

Blanco-Canqui et al. (2015) también describieron la multifuncionalidad de los cultivos de cobertura y sus beneficios ecosistémicos. Agregaron que reducen la compactación del suelo, aumentan el carbono orgánico del suelo, mejoran la estructura y las propiedades físicas e hídricas del suelo, moderan la temperatura del suelo, favorecen la población microbiana así como también colaboran con la supresión de malezas.

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

- el uso de agua por el cultivo 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.

A pesar de lo mencionado anteriormente, Corsi, citado por Ernst (2004), mencionó que para las condiciones de Uruguay es normal, mantener el suelo cercano a la capacidad de campo durante todo el invierno y la posibilidad de recarga de todo el perfil al inicio de la primavera es alta. Esto lleva a que los cultivos de cobertura no sean una limitante desde ese punto de vista y que los cultivos de verano se puedan sembrar con el perfil recargado de agua.

## 2.1.2 Erosión del suelo

### 2.1.2.1 Erosión por agua

La presencia de cobertura vegetal, ya sea muerta o viva, disminuye el impacto de las gotas de lluvia y la separación del suelo, al estabilizar físicamente la superficie del suelo con raíces y al crear un camino tortuoso para el agua superficial, enlenteciendo el escurrimiento (Sarrantonio y Galldant, 2003).

Según la ecuación RUSLE usada para la estimación de la erosión, la cobertura del suelo por residuos de tan solo un 10% puede reducir la erosión un 30%, y con un 50% de cobertura la reducción de la erosión puede superar el 80% (Moldenhauer y Langdale, citados por Sarrantonio y Galldant, 2003). También se reduce la pérdida de nutrientes disueltos en el agua de escurrimiento, particularmente P y N-NO<sub>3</sub> (Blanco-Canqui et al., 2015).

Los cultivos de cobertura reducen las pérdidas de nutrientes y sedimentos por escurrimiento debido a que brindan una cobertura protectora al suelo, reducen la separación de agregados del suelo, aumentan la rugosidad del suelo, retrasan la iniciación del escurrimiento, lo interceptan y disminuyen su velocidad y aumentan la oportunidad de infiltración del agua (Blanco-Canqui et al., 2015).

### 2.1.2.2 Erosión por viento

Reducir la erosión por viento es otro de los servicios ecosistémicos que brindan los cultivos de cobertura. Esto opera debido a la protección física de la superficie del suelo, mejoras de las propiedades estructurales, aumentando el carbono orgánico y debido al anclaje del suelo por raíces (Blanco-Canqui et al., 2015).

## 2.1.3 Compactación del suelo

Reducen la compactación del suelo, a través de la penetración de raíces en capas compactas de suelo. Además, reducen la susceptibilidad a la compactación mejorando la agregación del suelo e incorporando C orgánico, el cual es de baja densidad y puede por lo tanto diluir la densidad aparente del suelo (Blanco-Canqui et al., 2015).

#### 2.1.4 Carbono orgánico del suelo

Blanco-Canqui et al. (2015), determinaron que, cultivos de cobertura incrementan el COS debido al aporte de biomasa tanto área como subterránea, siendo esta última de mayor relevancia. Además, los cultivos de cobertura influyen en las vías de ganancia y pérdida de carbono orgánico del suelo, por ejemplo al reducir la erosión.

#### 2.1.5 Estructura del suelo

La vegetación presenta una acción muy importante en la formación de la estructura del suelo: produce residuos que son fuente de energía para la actividad microbiana en la producción de polisacáridos y humus; el sistema radicular no solo contribuye aumentando la cantidad de residuos, sino que influye en la formación de agregados; 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, se atribuye a los efectos de presión producidos por las raíces al crecer, aunque su efecto sería menor; a la desecación desuniforme de la masa del suelo y rehumedecimientos, que serían de los más importantes; a la secreción de sustancias con efecto agregante por parte de las raíces y por último la interacción en la rizósfera en la que intervienen microorganismos, productos secretados por las raíces y residuos de las mismas (Rucks et al., 2004).

Pecorari, citado por Bastos et al. (2007) indica que la textura del suelo es la base del funcionamiento de la estructura, por lo tanto conocer la distinta proporción de arcilla, limo y arena que tenga el suelo es muy importante para poder entender la estructura del mismo.

#### 2.1.6 Propiedades hídricas

Blanco-Canqui et al. (2015), reportaron que los cultivos de cobertura afectan positivamente las propiedades hídricas del suelo, como lo son infiltración de agua, capacidad de retención y conductividad hidráulica mediante el incremento de la agregación del suelo.

La infiltración se ve modificada a través de la protección de la superficie del suelo y aumentando la rugosidad. Conductividad hidráulica es afectada ya

que aumentan los macroporos así como también la conectividad entre poros (Blanco-Canqui et al., 2015).

#### 2.1.7 Temperatura de suelo

Las coberturas moderan la temperatura del suelo y reducen las fluctuaciones abruptas de temperatura interceptando la radiación solar incidente y aislando el suelo. Estas reducen la amplitud térmica de suelo. La cantidad de cobertura, canopeo y cantidad de residuo que deje la cobertura determinan la magnitud en la cual la temperatura del suelo es afectada. El efecto de las coberturas sobre la temperatura del suelo se torna más importante en los primeros centímetros del suelo (Blanco-Caqui et al., 2015).

#### 2.1.8 Microfauna

El incremento de la actividad microbiana debajo de cultivos de cobertura está correlacionada fuerte y positivamente con el aumento del carbono orgánico del suelo. Este incremento se debe también a que las coberturas, luego de grandes remociones debidas a la cosecha o ensilaje de los cultivos de renta, cubren el suelo y le brindan alimento a los microorganismos del mismo (Blanco-Caqui et al., 2015).

Por último, Blanco-Caqui et al. (2015) afirman que esta técnica puede mejorar el hábitat y la diversidad de la microfauna las cuales son indicadores de ecosistemas saludables.

#### 2.1.9 Supresión de malezas

Otra ventaja de los cultivos de cobertura, es lo referente al control de malezas que ejercen los mismos. Teasdale et al., citados por Bastos et al. (2007), estudiaron el efecto que ejerce el rastrojo en cuanto a la transmisión de la luz, temperatura y humedad del suelo. En dicho estudio encontraron que el rastrojo de los cultivos de cobertura puede disminuir el número de semillas germinadas a profundidades del suelo que están en el umbral de germinación. Una capa gruesa de rastrojo puede no solo 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. Este estudio también demuestra que la biomasa del cultivo de cobertura es el factor dominante en influenciar las condiciones del microambiente bajo el rastrojo y que la especie del cultivo de cobertura tiene una influencia menor.

En esta misma línea Sarrantonio y Gallandt (2003), afirman que incorporar cultivos de cobertura en determinados nichos genera nuevos tipos de stress para las malezas ayudando en su control. Con este propósito, al elegir que cultivo de cobertura sembrar, se debe considerar ciertas cosas como vigor inicial, tiempo en cubrir la entrefila, etc. La capacidad de un cultivo de cobertura de controlar malezas, es directamente proporcional a la cantidad de canopeo producido.

#### 2.1.10 Efectos de la avena como cultivo de cobertura

Las gramíneas han sido indicadas como más eficaces en la formación de agregados por la acción directa de las raíces, ya que la superficie de contacto es relativamente grande provocando cambios constantes en el área de la rizósfera. La presión ejercida por las raíces favorece tanto la formación de agregados estables tanto como macroporos (Floss, 2000).

En cuanto a la avena en particular, se destaca entre las diferentes opciones de cobertura invernal por la alta producción de materia seca y la alta relación C/N. Iniciado el barbecho químico luego de la floración de la misma, mantiene el suelo cubierto por un largo período de tiempo debido a la lenta descomposición de la paja (Floss, 2000).

Un ensayo realizado por Cardozo et al. (2012), donde se estudiaron distintas coberturas encontraron que la avena aparece como una de las especies que más rápido cubre el suelo lo cual es muy importante desde el punto de vista del control de la erosión. A su vez, junto con *Raphanus sativus* resultaron ser las coberturas de mayor producción entre las 11 opciones evaluadas.

Según Huhn, citado por Bratschi y López (2012), la fecha óptima de siembra para la avena es de marzo a mediados de abril, ya que en esta época se dan las mejores condiciones para el crecimiento de las plántulas. Al igual que Cardozo et al. (2012), Huhn, citados por Bratschi y López (2012) indican que la avena produce forraje muy temprano, 1000 a 1300 kg MS en mayo junio.

## 2.2 EFECTOS DEL PASTOREO DE LOS CULTIVOS DE COBERTURA SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

Para los cultivos sembrados en línea se ha demostrado que la estructura del suelo cambia debido al peso de la maquinaria que transita sobre él y esto puede causar reducciones en el rendimiento posterior de los cultivos. Compactación y el resultado de la densidad aparente reducen la porosidad total

del suelo, causan pobre aireación, reducen la infiltración de agua retrasando la emergencia de plantas perjudicando el crecimiento de raíces y reduciendo el transporte de oxígeno y nutrientes. El grado de compactación va a depender de la humedad del suelo al momento del tránsito (Clark et al., 2004).

Bajo condiciones de pastoreo se ha demostrado que el mismo tiene efectos variados sobre la compactación dependiendo de la textura del suelo, humedad del suelo cuando se produce el pastoreo y de la carga animal (Clark et al., 2004).

Según Franzluebbbers y Stuedemann (2008) no necesariamente los sistemas de pastoreo generan degradación del ambiente. Los factores clave en el balance de producción de ganado y calidad ambiental son adecuación de la carga según la disponibilidad de forraje y limitar el acceso de ganado a las partes más susceptibles del potrero, tales como fuentes de agua naturales o áreas de sombra que pueden resultar muy transitadas con el resultante daño a la vegetación.

Desde otro punto de vista, el pastoreo favorecería la tasa de renovación radicular y con ello la estructura del suelo, además de generar un ingreso extra por la ganadería (Galli, 2013).

Según Artigas y García (2012) el efecto del pastoreo se puede cuantificar a través de la compactación, la estabilidad de agregados, la infiltración de agua y la aireación.

### 2.2.1 Efectos sobre la compactación

La compactación corresponde a la pérdida de volumen que experimenta una masa de suelo ocasionada por el efecto repetitivo y acumulativo producido de fuerzas externas que actúan sobre el suelo. Estas fuerzas externas tienen su origen en implementos de labranza del suelo, cargas producidas por los neumáticos de tractores e implementos de arrastre y pisoteo animal (Arranz et al., 2004).

La compactación del suelo produce un aumento de la densidad aparente, aumenta la resistencia mecánica, destruye y debilita su estructuración, reduciendo la porosidad total. Los macroporos son los más afectados por la compactación aumentando el escurrimiento ya que disminuye la capacidad de infiltración del agua. Esto reduce la cantidad de agua almacenada en el perfil y aumenta el riesgo de erosión por agua (Kiessling et al., 2008).

Martino (2001), afirmó que es posible estimar, a partir de datos de área basal y peso corporal, que los animales en pastoreo aplican presiones sobre el suelo en el rango entre 150 (novillos de 300 kg) y 350 kPa (oveja adulta) siendo que los tractores agrícolas aplican presiones del orden de 80 a 160 kPa.

Los daños ocasionados por el tráfico animal pueden ser minimizados evitando el tráfico sobre suelo húmedo. Pastoreo continuo de ovejas aumento la densidad de un suelo franco arcilloso en un 7% y redujo la capacidad de infiltración un 58% respecto al testigo sin pastoreo. Sin embargo, cuando las ovejas fueron retiradas cada vez que el contenido de humedad del suelo alcanzaba el límite inferior de plasticidad, el daño sobre las propiedades físicas, fue mucho menor que pastoreo continuo (Proffitt et al., 1995).

#### 2.2.1.1 Resistencia a la penetración

La resistencia a la penetración es determinada básicamente por la resistencia a la fractura del suelo, que a su vez es función de la cohesividad y la fricción interna, y de la compresibilidad. Considerando las propiedades macroscópicas, la resistencia a la penetración depende principalmente de la textura del suelo, densidad aparente y humedad (Taylor et al., citados por Martino, 2001). La humedad del suelo afecta a los tres factores del suelo que determinan la resistencia a la penetración: cohesividad, ángulo de fricción interna y compresibilidad (Camp et al., citados por Martino, 2001).

La distribución del tamaño de partículas o textura es otro factor importante en la determinación de la resistencia a la penetración. Debido a su alta cohesividad, suelos arcillosos, presentan niveles de resistencia a la penetración elevados (Mielke et al., citados por Martino, 2001).

La restricción de las raíces depende de la resistencia a la penetración, y es generalmente aceptado que resistencias de 2 MPa en suelos secos ya afectan el crecimiento de las raíces (Unger y Kaspar, citados por Clark et al., 2004). Considerando una amplia gama de tipos de suelo, especies vegetales y técnicas experimentales los valores críticos de resistencia a la penetración registrados por Bengough et al., citados por Martino (2001), han variado de 1 a 5,6 MPa. 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 raíces. Martino (2001), sugiere que la relación entre el contenido de arcilla y la resistencia a la penetración no es causal y que algún otro factor relacionado al contenido de arcilla, tamaño de poros, es la variable más importante que determina las variaciones en la resistencia a la penetración crítica. Cabe destacar que, según Martino (2001), los valores de resistencia a la penetración son generalmente mayores a los que sufre una raíz creciendo en el

mismo suelo. Por esto los valores registrados por un penetrómetro son sobreestimados.

Según Clark et al. (2004) el correcto uso de las medidas de resistencia a la penetración como medida de compactación debe ser acompañado por el dato de humedad del suelo al momento de muestreo. Martino (2001) afirma que la relación entre la resistencia a la penetración y el contenido de agua es afectada por el estado estructural del suelo, y constituye una herramienta potencialmente muy buena para el diagnóstico de la condición física del suelo.

Rusell et al., citados por Artigas y García (2012) afirman que muestras de sitios con distinta humedad de suelo no deben ser comparadas con el fin de analizar efectos de tratamientos sobre resistencia a la penetración. Esto se debe a que no existe correlación significativa entre resistencia a la penetración y contenido de humedad en el suelo para un año dado. En ese mismo experimento el cual tenía 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 en la variación de la resistencia a la penetración con el correr de los años.

En un experimento llevado a cabo por Rovira et al. (2014), donde se pastoreó de forma continua un raigrás sembrado como cultivo de cobertura, con terneros (153 kg) y corderos (37 kg), a una carga de 2,5 terneros por hectárea y 12,5 corderos por hectárea se obtuvieron resultados que indican que la resistencia a la penetración no fue afectada por el pastoreo animal y que los valores de la misma estaban lejos del valor crítico (2,0 MPa).

Datos similares fueron hallados por Artigas y García (2012) quienes no encontraron diferencias en resistencia a la penetración entre una avena pastoreada con 12 corderos/ha y el testigo sin pastoreo. Tampoco se vio afectado el rendimiento de la soja posterior.

Un ensayo realizado por Franzluebber y Struedemann (2008) en el cual se midió la resistencia a la penetración en un período de 3 años, con 10 muestreos distribuidos a lo largo del año, encontraron que el tratamiento correspondiente a un cultivo de cobertura bajo pastoreo generó una mayor resistencia a la penetración del suelo en los primeros 10 cm, respecto al testigo sin pastoreo y no se encontraron diferencias a profundidades mayores.

#### 2.2.1.2 Densidad aparente

Rucks et al. (2004) definen la densidad aparente como el peso seco de un suelo dividido el volumen que ese suelo ocupa manteniendo su porosidad.

Según Venanzi et al. (2002), 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.

El grado en el cual el pastoreo de la cobertura afecta la densidad aparente, es básicamente controlado por el contenido de agua en el suelo cuando los animales están presentes. Cuando el suelo está húmedo o muy húmedo y los animales pisotean es de esperar que haya compactación. La magnitud de la compactación aumenta con la carga y disminuye cuando no hay pastoreo (Drewry et al., citados por Fernández et al., 2010). La variabilidad en la densidad aparente no solo se debe a factores de manejo sino que depende también de características naturales del suelo. El contenido de agua del suelo es el principal factor natural en suelos de textura fina, donde el volumen de suelo cambia sustancialmente por expansión y contracción de las arcillas (Jayawardane et al., citados por Fernández et al., 2010).

Galli et al., citados por Rovira et al. (2014) afirman que el pisoteo animal incrementa la cohesión entre partículas del suelo, aumentando la densidad aparente.

Venanzi et al. (2002) en un ensayo donde realizaron pastoreos que involucraron distintas cargas y distintos tipos de animales en tres sitios distintos encontraron que pastoreos directos con animales aumentaban la densidad aparente en la capa de 0 a 15 cm desapareciendo las diferencias en profundidad.

Kiessling et al. (2008) obtuvieron resultados que indican que la densidad aparente aumenta debido al pastoreo pero en el estrato de 5 a 15 cm. Mientras que en superficie (0 a 5 cm) y en profundidad (15 a 20 cm) el pisoteo no generó cambios en dicha propiedad edáfica.

En el mismo sentido, Rovira et al. (2014) en el experimento mencionado anteriormente concluyeron que la densidad aparente se incrementó en un 15% debido al pastoreo animal con un valor mayor en el tratamiento con corderos comparado con terneros.

Por otro lado, Franzluebbbers y Stuedemann (2008) encontraron que el pastoreo del 90% de una cobertura que produjo 2500 kg MS/ha tuvo poco o nulo efecto sobre las propiedades físicas del suelo. Mencionan que el pastoreo de centeno o mijo no afectó la densidad aparente o la estabilidad de los agregados, pero tendió a aumentar la resistencia a la penetración debido al tráfico animal.

En el mismo sentido Zamora et al. (2002) no encontraron diferencias entre el pastoreo de un cultivo de cobertura (continuo y rotativo) con respecto al testigo sin pastorear.

A diferencia de los autores anteriormente mencionados, Fernández et al. (2010) observaron una disminución en la densidad aparente de los primeros centímetros de suelo debido al pastoreo con suelo húmedo. Atribuyen esto al intenso tránsito animal en suelos saturados resultando en aire atrapado por el amasado del suelo.

### 2.2.2 Efecto sobre la estabilidad de los agregados

La estabilidad del suelo refiere a la resistencia que los agregados del suelo tienen a desintegrarse o romperse frente a la acción del agua y manipulación mecánica (Rucks et al., 2004).

La estructura del suelo y su estabilidad juegan un rol fundamental en muchos procesos del suelo y su interacción con las plantas: erosión, infiltración de agua, exploración radicular, aireación y resistencia mecánica. Esto indica que todas las prácticas agronómicas deberían hacerse con carácter de conservación de la misma. Un factor muy importante en afectar la estabilidad de la estructura es el contenido de agua que hay en el suelo ya que determina el grado en que las fuerzas mecánicas causan destrucción en la estructura.

La estabilidad de los agregados del suelo desnudo no se vio afectada por la carga de pastoreo en condiciones de suelo seco, pero tendió a disminuir con el aumento de la carga animal en el suelo húmedo (Warren et al., citados por Franzluebbbers y Stuedemann, 2008).

Gijsman y Thomas, citados por Franzluebbbers y Stuedemann (2008), hallaron que la distribución de tamaño de agregados y estabilidad de los agregados eran poco afectadas por el pastoreo de ganado en la sabana nativa y mejorada.

Franzluebbbers y Stuedemann (2008), obtuvieron resultados similares en un experimento donde se pastorearon cultivos de cobertura. Estos autores afirman que el pastoreo moderado de forraje en los sistemas de cultivo tendrá poco impacto sobre la distribución de los agregados del suelo y la estabilidad de los mismos. De hecho, la presencia de raíces y residuos vegetales que se acumulan en la superficie del suelo parece ser más importante para la agregación que la presencia de animales en pastoreo.

Clark et al. (2004) encontraron que luego del pastoreo de rastrojo de maíz, la estabilidad de los agregados del suelo no aumentó ni disminuyó a diferentes profundidades para un ensayo de 3 años.

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

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

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 la tasa de difusión de oxígeno, la temperatura y la resistencia mecánica de un suelo (Martino, 2001).

Franzluebbers y Stuedemann (2008), observaron que la infiltración tendió a disminuir luego del pastoreo de coberturas, pero encontraron diferencias significativas solo en 2 de 7 muestreos medidos el segundo y tercer verano de un experimento a largo plazo.

El deterioro de la estructura del suelo por el pisoteo repetido puede ser visto como un proceso de retroalimentación positiva. El grado de deformación del suelo determinará la velocidad a la cual la capacidad de infiltración de la capa superior del suelo disminuye, lo que, a su vez, controla la acumulación de agua libre en la superficie del suelo, y por lo tanto aumenta la susceptibilidad del suelo al pisoteo (Proffitt et al., 1995).

El uso de bromuro de como trazador cualitativo para el movimiento del agua durante el período de pastoreo mostró cómo las diferencias en las propiedades hídricas del suelo superficial entre los tratamientos de pastoreo afectó a la redistribución de agua de lluvia dentro del perfil del suelo. Menos bromuro apareció más allá de los 0,25 m de profundidad bajo pastoreo continuo en comparación con el pastoreo rotativo y el testigo sin pastoreo, probablemente debido a la reducción de la densidad y continuidad de macroporos (Proffitt et al., 1995).

La destrucción de los macroporos del suelo a través de sistema de pastoreo continuo, es probable que promueva el encharcamiento de la superficie. Esto no sólo reducirá la aireación del suelo, sino también hace que el suelo sea más susceptible al daño producido por el pisoteo. Propiedades hidráulicas pobres del suelo superficial bajo pastoreo continuo, puede reducir el

almacenamiento de agua en el suelo y dar lugar a la senescencia temprana la pastura (Proffitt et al., citados por Proffitt et al., 1995).

Por otro lado Arranz et al. (2004) en un experimento donde se realizó pastoreo directo de avena vs. un testigo sin pastorear encontraron que la cantidad de mesoporos (particularmente importantes para el almacenamiento de agua) aumentó si bien los cambios fueron diferenciales entre tratamientos y profundidades.

Corsi, citado por Ernst (2004) afirma que para las condiciones de Uruguay es normal mantener el suelo a capacidad de campo durante todo el invierno y la posibilidad de recarga del perfil a inicio de la primavera es alta.

#### 2.2.4 Efecto sobre la aireación del suelo

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 raíces (Martino, 2001).

Proffitt et al. (1995) realizaron un experimento en el cual evaluó el efecto del pastoreo continuo vs. pastoreo rotativo y no pastoreo. Las dos diferencias más notables entre los tratamientos son las irregularidades que crean los cascos de las ovejas en la compactación del suelo en pastoreo continuo, y la destrucción virtual de toda la porosidad, tanto en la superficie (0-45 mm) como en la capa subsuperficial (45-100 mm) del suelo en comparación con pastoreo rotativo y el testigo sin pastoreo. Por debajo de la densa corteza que forma sobre la superficie del suelo en todos los tratamientos, la porosidad media de capa superior del suelo (45 mm) bajo pastoreo rotativo y no pastoreo fue alta en aproximadamente 25 y 20%, respectivamente, mientras que la media de la porosidad de la misma capa del suelo bajo pastoreo continuo fue considerablemente menor en aproximadamente 5%.

En esta misma línea, Arranz et al. (2004) llegaron a la conclusión que el pastoreo produjo una reducción significativa ( $P = 0,001$ ) de los macroporos grandes en los primeros 5 cm de suelo. También fue significativa para los 5 a 15 cm, mientras que estas diferencias no se encontraron en mayor profundidad. Cabe destacar que los macroporos (mayores a  $9 \mu\text{m}$ ) son los que tienen un mayor control sobre la aireación del suelo debido a que permiten el flujo primario de agua durante la infiltración y drenaje (Arranz et al., 2004).

Remarcando la importancia de los macroporos, Rucks et al. (2004) afirman que estos no retienen el agua contra la fuerza de la gravedad, y por lo tanto son los responsables del drenaje y la aireación del suelo, constituyendo además, el principal espacio en el que se desarrollan las raíces.

## 2.3 RELACIÓN ENTRE PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO Y EL DESEMPEÑO DEL CULTIVO DE SOJA

Las plantas responden de varias formas a un ambiente hostil. Tanto los órganos subterráneos, que reciben una influencia directa, como las partes aéreas, que reciben señales desde el subsuelo, son afectados (Martino, 2001).

La compactación produce una mala implantación de cultivo, las raíces tienen más dificultad en penetrar el suelo y un acceso reducido a los nutrientes. Todo esto se traduce en un menor desarrollo del sistema radical de las plantas y por lo tanto un menor desarrollo de la planta en su conjunto lo que redundará en una menor producción (Arranz et al., 2004).

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., citados por Artigas y García, 2012).

La compactación del suelo afecta a propiedades claves (porosidad, densidad, la impedancia mecánica, conductividad hidráulica, agua disponible para la planta), y tiene el potencial de alterar drásticamente la morfología y fisiología vegetal (Passioura, 2002).

### 2.3.1 Resistencia a la penetración

Las raíces que crecen en un medio poroso, como es el suelo, deben superar la resistencia mecánica que el mismo les impone. Ello se logra ya sea a través de la penetración de poros y canales ya existentes de un tamaño mayor que el de las raíces, o deformando la estructura del medio (Wiersum, citado por Martino, 2001). Para deformar esta estructura las raíces deben superar las barreras mecánicas, fracturando o comprimiendo el suelo (Barley y Greacen, citados por Martino, 2001)

Las raíces al ser sometidas a elevadas resistencias mecánicas reducen su tasa de elongación e incrementan su diámetro, se vuelven contorsionadas y por momentos tienden a crecer horizontalmente (Atwell, Barley, Wilson et al.,

Kirkegaard et al., Taylor y Burnett, citados por Martino, 2001). Los cambios morfológicos se deben no solo a consecuencias mecánicas sino que también a mecanismos hormonales (Martino, 2001).

En un experimento con plantas de trigo, el área de hojas estuvo muy relacionado con la resistencia a la penetración medida con un penetrómetro, incluso cuando varió por cambios en la densidad aparente del suelo o el contenido de agua del mismo. La elongación de las raíces es fuertemente afectada cuando la resistencia medida por el penetrómetro es importante, pero en estos experimentos no hubo evidencia de que las raíces no fueran capaces de extraer suficiente agua y nutrientes para cubrir las necesidades de las hojas. Las plantas reaccionan muy temprano al suelo compactado, la primera hoja emerge cuando la planta se nutre aún de los nutrientes de la semilla. La subsiguiente tasa de crecimiento es mucho menos afectada, por lo que el tamaño relativo de plantas creciendo en suelos no compactados y compactados permanece aproximadamente constante después de la respuesta inicial, con hojas consecuentemente más chicas y tasas de aparición de hojas más lentas en el suelo compactado (Masle y Passioura, Masle, citados por Passioura, 2002).

También fue reportado un menor tamaño de hojas en plantas creciendo en suelos compactados por Beemster y Masle, citados por Passioura (2002) quienes explicaron este menor tamaño por menor tamaño de células de las hojas.

Si bien el crecimiento de las raíces es fuertemente afectado cuando la resistencia a la penetración es alta, no siempre las raíces son incapaces de extraer suficiente agua y nutrientes requeridos por las hojas (Passioura, 2002).

### 2.3.2 Densidad aparente

Una respuesta común del sistema radicular al aumento de la densidad aparente es reducir su longitud, concentrando las raíces en la capa superficial del suelo y disminuyendo la profundidad. El mejor crecimiento de las raíces en el suelo suelto puede, en parte, deberse a la mayor temperatura del suelo en la superficie comparada con las capas más profundas al comienzo de la estación de crecimiento (Lipiec, 2003).

La compactación del suelo lleva a una alta concentración de las raíces en las capas superficiales y reducción de las mismas en profundidad. Esta concentración en las capas superficiales del suelo puede deberse a un mayor crecimiento horizontal (Lipiec, 2003).

### 2.3.3 Tamaño de los agregados

Dürr y Aubertot, citados por Farina y Gauthier (2006), trabajando en remolacha azucarera, realizaron experimentos con agregados de diferentes medidas, llegando a la conclusión de que el tamaño de agregados afecta el porcentaje de emergencia de las plántulas, el cual decrece cuando los agregados comienzan a ser mayores a 10 mm. Según los autores una de las explicaciones para la menor emergencia es que a mayor tamaño de agregados comienza a haber un efecto de la rugosidad del agregado porque el hipocótilo no puede emerger cuando queda atrapado en alguna cavidad, por su geotropismo negativo.

Además del impedimento físico que provoca un gran tamaño de agregados sobre la emergencia de un cultivo, también lo afecta en forma indirecta ya que tiene relación sobre las propiedades físico-químicas del suelo. Poros grandes en el suelo generalmente favorecen a altas tasas de infiltración y una aireación adecuada para el crecimiento de las plantas. Su existencia continuada en el suelo depende de la estabilidad de los agregados (Kemper y Rocenas, citados por Farina y Gauthier, 2006).

### 2.3.4 Aireación del suelo

Reducciones en los rendimientos de cultivos son resultado de compactación por pobre aireación de suelo o restricción al crecimiento de raíz por mecanismos imperantes (Eavis, Boone et al., citados por Farina y Gauthier, 2006).

### 2.3.5 Propiedades hidráulicas del suelo y uso del agua

Procesos de compactación afectan las propiedades hidráulicas asociadas al flujo de agua del suelo. La retención de agua del suelo y transporte son alterados en respuesta a cambios en el espacio de poros geométricos (Horton et al., citados por Farina y Gauthier, 2006).

En experimentos llevados a cabo por Lipiec (2003), bajo condiciones de suficiente agua almacenada, el total de agua usada fue menor cuando aumentó el nivel de compactación del suelo mientras la tasa de absorción de agua por las raíces fue mayor en suelos moderadamente compactados.

La compactación del suelo afecta la transformación y extracción de nutrientes a través de cambios en las propiedades hidráulicas del suelo,

aireación y propiedades difusivas y el crecimiento y configuración de las raíces (Lipiec y Stêpniewski, citados por Liepic, 2003).

## 2.4 ANTECEDENTES

Cuadro 1. Antecedentes, primera parte.

Referencia	Rovira et al. (2014)	Galli et al. (2013), Larripa et al. (2013)	Artigas y García (2012)
Localización	Treinta y Tres, Uruguay	Zavalla, Argentina	Paysandú, Uruguay
Duración	1 año (2013)	1 año (2012)	1 año (2011)
Forraje pastoreado	Raigrás	Raigrás	Avena
Cultivo siguiente	Soja	Soja	Soja
Tratamientos	Pastoreo con terneros Pastoreo con corderos	Suelo desnudo, CC sin pastoreo, pastoreo de CC con baja carga animal, pastoreo con carga media, pastoreo con carga media alta, pastoreo con carga alta	Sin cultivo de cobertura, cultivo de cobertura sin y con pastoreo
Características del pastoreo	Pastoreo continuo. 2,5 terneros/ha y 12,5 corderos/ha	Pastoreo con vaquillonas holando (200-350 kg)	Pastoreo con 12 corderos/ha
Resultados	Densidad aparente (DAP): se incrementó un 15% en el tratamiento con corderos respecto al tratamiento con terneros Resistencia a la penetración (RP): sin diferencias Rendimiento en grano: sin efectos significativos	DAP: aumentó en el sentido de las cargas mayores Rendimiento en grano: sin efectos significativos	No se vieron efectos sobre el rendimiento ni implantación La RP tendió a aumentar en los primeros 2 cm pero sin llegar a valores críticos

Cuadro 2. Antecedentes, segunda parte.

Referencia	Fernández et al. (2010)	Méndez et al. (2009)	Kiessling et al. (2008)
Localización	Santa Fe, Argentina	Treinta y Tres, Uruguay	Bordenave, Argentina
Duración	3 años (2005-2008)	1 año (2008)	8 años (1998-2006)
Forraje pastoreado	Rastrojo de cultivos y alfalfa en una rotación de 8 años de fase agrícola y 4 años de fase pastura	Raigrás	Avena
Cultivo siguiente	Alterna entre maíz y soja	Arroz	Trigo
Tratamientos	Pastoreado, no pastoreado	Sin cultivo de cobertura, cultivo de cobertura sin y con pastoreo	Pastoreado, no pastoreado
Características del pastoreo	Rastrojos: carga constante de 1.1 animales/ha. Alfalfa: esquema rotacional con cargas altas (30-40 animales/ha)	Pastoreo con ovinos	No específica
Resultados	DAP: solo se encontraron diferencias en el 2005, año que fue muy lluvioso (mayor DAP en el tratamiento pastoreado), diferencias que no se ven en los años siguientes en el mismo sitio	RP: se incrementó debido al pastoreo Rendimiento en grano: no hubieron diferencias significativas	DAP: se registraron incrementos en el tratamiento pastoreado para los estratos 5-10 y 10-15 cm

Cuadro 3. Antecedentes, tercera parte.

Referencia	Zamora et al. (2006)	Clark et al. (2004)	Venanzi et al. (2002)
Localización	Sur de la provincia de buenos aires, Argentina	Iowa, Estados Unidos	Provincia de Bs. As., Argentina
Duración	2 años (2004-2005)	3 años	5 años (1998-2002)
Forraje pastoreado	Raigrás y avena	Rastrojo de maíz	Mijo, avena y maíz
Cultivo siguiente	Soja y girasol	Soja	Trigo en el caso del maíz y mijo; girasol y maíz en el caso de la avena
Tratamientos	Tres chacras comerciales. Cada productor realiza el pastoreo que habitaba.	Pastoreado, no pastoreado	Pastoreo directo y no pastoreo (cosecha mecánica)
Características del pastoreo	Pastoreo continuo, rotativo con franjas diarias, y rotativo con franjas semanales	Pastoreo rotativo con vacas angus preñadas de 600 kg aprox. Carga: 3,7 vacas/ha	Variable según sitio, rotativo con altas cargas instantáneas
Resultados	Bajo impacto del pastoreo sobre las propiedades físicas evaluadas (RP, DAP, H%), sólo se incrementó la RP en los primeros 5 cm Sin efectos sobre el rendimiento de soja y girasol	Sin diferencias en el contenido de agua ni humedad. DAP: tampoco se encontraron diferencias significativas. RP: significativamente mayor en los primeros 10 cm luego del pastoreo en los 3 años. Rugosidad del suelo: sin diferencias. Sin diferencias en la implantación ni en el rendimiento de soja.	RP: se incrementó en los primeros 10 cm DAP: se incrementó en algunos sitios para los primeros 10 cm Rendimiento: sin diferencias significativas

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 LOCALIZACIÓN DEL SITIO EXPERIMENTAL

El experimento se realizó en el potrero 16 de la Unidad del “Lago” de INIA La Estanzuela (Ruta 50, km 11, Colonia, Uruguay) como parte de un proyecto a largo plazo que tiene como objetivo cuantificar el efecto del pastoreo animal del cultivo de cobertura sobre el cultivo de soja en tres años consecutivos. Esta tesis continúa el trabajo de estudiantes de la escuela agraria “La Carolina” quienes realizaron el trabajo de campo durante el pastoreo invernal de la avena por lo que los datos sobre dicho pastoreo son tomados de su trabajo final (Miranda e Iturralde, 2016).

El trabajo de campo correspondiente a este trabajo se realizó entre noviembre de 2015 y mayo de 2016, sobre un suelo Brunosol Eutrítico Típico. El mismo presentaba la siguiente proporción de: arena (14%), limo (49%) y arcilla (37%); clasificándose como un suelo limo arcilloso. En la zafra 2014/2015 se realizó una soja y luego de su cosecha se sembró un avena como cobertura (25/4/15). Luego del pastoreo invernal de dicha avena se sembró una soja para la zafra 2015/2016.

#### 3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se realizaron tres tratamientos con tres repeticiones. Dichos tratamientos fueron los siguientes:

- Cobertura: cultivo cobertura sin pastoreo invernal.
- 3 terneros/ha: cultivo cobertura con pastoreo invernal a carga baja controlada (3 terneros/ha).
- 6 terneros/ha: cultivo cobertura con pastoreo invernal a carga moderada controlada (6 terneros/ha).

El diseño experimental es completamente aleatorizado con 3 tratamientos y 3 repeticiones cada uno.

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$$

$i = T1, T2, T3$   
 $j = 1, 2, 3$

El análisis estadístico de los datos relevados se realizó por medio del programa Infostat.

### 3.2.1 Manejo de la avena y del pastoreo

La avena fue sembrada como cobertura el 25 de abril de 2015 a una densidad de 110kg/ha. La variedad de la avena era 1095a (bizantina) con 85% de germinación y 98% de pureza. Se fertilizó a la siembra con 100 kg de 18/46/0 y se aplicó herbicida (1 L MCPA (75%) + 150cc Banvel + 8 gr metsulfuron + 100cc/100L de caldo de Agral 90) el 26 de mayo. El 2 de junio se refertilizó con 120 kg de urea (46/0/0).

En los tratamientos con pastoreo, cuando la humedad del suelo igualó o superó el límite inferior de plasticidad, los animales fueron retirados de la parcela y se volvían a ingresar a la misma cuando la humedad de suelo volvió a estar por debajo de dicho límite. Se determinó en la avena la altura al final del período de pastoreo y la biomasa (kg MS/ha) cada 25 días. En cuanto a los animales se determinó peso vacío a inicio y fin del tratamiento, peso lleno cada 14 días durante el tratamiento (kg) y área de pezuña a inicio y fin del tratamiento (cm<sup>2</sup>). Además se midió a nivel de suelo, además de la determinación de límite inferior de plasticidad, la humedad gravimétrica (% humedad) semanalmente y la densidad aparente y resistencia a la penetración a inicio y fin del tratamiento.

Los animales que pastorearon la avena eran terneros Hereford de 1-2 años e ingresaron con un peso promedio de 187 kg el 14 de julio y fueron retirados el 16 de setiembre con un peso promedio de 254 kg. Durante el este período los animales fueron retirados dos veces de las parcelas por consecuencia de las precipitaciones, la primera fue de 4 días por una lluvia acumulada por 3 días consecutivos de 57 mm y la segunda fue de 13 días luego de una lluvia de 106 mm (Miranda e Iturralde, 2016).

Luego del pastoreo invernal se sembró una soja para la zafra 2015/2016 el 6 de noviembre de 2015, cultivar NS 5258 perteneciente a un grupo de madurez V corto, de crecimiento indeterminado.

### 3.2.2 Manejo de la soja

Se sembró con una sembradora John Deere 1780 de 23 líneas a una densidad de 59 kg/ha con una distancia entre hileras de 38 cm. En lo que a fertilización respecta, se fertilizó a la siembra con 80 kg de 7-40/40-0.

En cuanto al manejo de malezas se realizaron 4 aplicaciones. Las mismas constaron de:

- 2 kg de Roundup ultramax y 0,3 l de Dual Gold el 5 de noviembre

- 2 kg de Roundup ultramax y 35 g de Cloransulam el 21 de diciembre
- 3,5 l de Roundup Full II el 18 de enero
- 3 l de Roundup Full II, 60 g de Heat y 0,5 l de Dash el 3 de mayo

Para el control de plagas, se realizaron dos aplicaciones, una el 18 de enero con 1,1 l de Lorsban 48 y 0,2 l de Alsystin 480. La otra se realizó el 18 de febrero y consto de 0,2 l de Engeo 247 SC.

La cosecha consto de dos etapas. Con fines experimentales, se cosecho manualmente para luego realizar componentes de rendimiento entre otras medidas. La misma se hizo en parches de 4m de largo por 2 surcos de ancho y se cosecharon 12 parches por parcela. La otra etapa de cosecha fue con una cosechadora comercial y la misma se llevó a cabo el 2 de mayo de 2016.

### 3.3 DETERMINACIONES

#### 3.3.1 Determinaciones de suelo

##### 3.3.1.1 Densidad aparente

Se determinó previamente a la siembra de la avena y 10 días post siembra de la soja en dos estratos; 0-5 cm y 5-10 cm de profundidad. Se tomaron 5 muestras por estrato en un mismo sitio (por cada parcela) el cual fue marcado por GPS y permaneció invariable a lo largo de todo el experimento y entre las diferentes determinaciones de suelo. Para la recolección de muestras se utilizaron cilindros de un volumen conocido, los cuales se enterraron a presión y se retiraron con una pala cuidando de que no se rompiera la estructura del suelo. Luego de que se depositaron en bandejas con una fina capa de agua (1 cm) para llevar las muestras a capacidad de campo y se retiró la tierra que quedara fuera del cilindro por el efecto de expansión de los coloides del suelo para así considerar un volumen constante y disminuir posibles errores de muestreo a campo y diferencias entre muestras por diferencias de humedad entre sitios (al hacerse tres repeticiones por tratamiento, se evaluaron tres sitios por tratamiento). Dichas muestras se enviaron a laboratorio donde se determinó la densidad aparente del suelo.

##### 3.3.1.2 Resistencia a la penetración

La resistencia a la penetración se determinó a la siembra y cosecha de la soja y cada 10 días durante el ciclo del cultivo. Se determinó con un penetrómetro Eijkelkamp de cono con datalogger y GPS incluido, hasta una profundidad de 80 cm, obteniéndose registros de la resistencia a la penetración

cada 2 cm/s de avance en profundidad realizándose 10 muestras por sitio en los mismos sitios donde se determinó la densidad aparente.

#### 3.3.1.3 Humedad gravimétrica

Se determinó la humedad gravimétrica (% humedad) a la siembra y cosecha de la soja y cada 10 días durante el ciclo del cultivo junto con las determinaciones de resistencia a la penetración, siempre y cuando las condiciones climáticas y del suelo lo permitieran. Se muestreó con un calador en tres estratos; 0-10, 10-20 y 20-30 cm de profundidad, realizándose una muestra compuesta, por 10 submuestras, por estrato. Las muestras se pesaron húmedas y luego de 96 hs de secado en una estufa a 60 °C se volvieron a secar, obteniéndose por diferencia de ambos pesos la humedad del suelo.

#### 3.3.1.4 Rugosidad

Se determinó la rugosidad del suelo midiendo la distancia desde una regla colocada sobre caballetes y nivelada con un nivel, al suelo. Cada 10 cm se midió con una cinta métrica la distancia entre la regla y el suelo. Esto se hizo en 2 metros por sitio y en 5 sitios por parcela. A partir de la variación estándar de la altura de las medidas equidistantes en el suelo con respecto a una línea de tendencia que simula la pendiente se estimó la rugosidad del suelo.

### 3.3.2 Determinaciones de planta

#### 3.3.2.1 Implantación

Se midió implantación 20 y 35 dps. Se contó número de plantas por 4 metros en 2 hileras y al mismo tiempo se determinó estado fenológico. Esta determinación se tomó 5 veces por parcela. Por último se contó número de plantas en la cosecha, se contaron las plantas cosechadas (se cosecharon 12 parches de 4 metros por dos líneas distribuidos en zig-zag en toda la parcela).

#### 3.3.2.2 Fenología

Se determinó junto con implantación. Se determinó estado fenológico por la escala de Fehr y Caviness (1971) de 1 cada 10 plantas cuando se contaba implantación.

### 3.3.2.3 Altura

La altura de la planta de soja se determinó en tres ocasiones. La primer determinación de altura se realizó junto con las determinaciones de implantación y fenología el 7 de diciembre de 2015 (30 dps). La segunda se realizó el 13 de enero de 2016 midiéndose la altura de 10 plantas al azar por parcela en el mismo sitio donde se determinó humedad y resistencia a la penetración. La tercera determinación se realizó en la cosecha midiendo la altura de 5 plantas al azar por parche cosechado.

### 3.3.2.4 Rendimiento

Se determinó el rendimiento en grano (kg) a partir de la trilla estática en una cosechadora experimental de los parches cosechados manualmente.

### 3.3.2.5 Componentes de rendimiento

Para la determinación de los componentes de rendimiento de los 12 parches cosechados se tomaron 4 previamente establecidos (número 2, 5, 8 y 11) con el objetivo de cubrir toda la parcela y/o disminuir la variación dentro de la parcela y se eligieron 10 plantas representativas de cada parche. De dichas plantas se determinó; número de vainas con granos, de vainas vanas y de granos por planta. Posteriormente se pesaron 100 granos por parche para estimar peso de mil granos.

## 3.3.3 Otras determinaciones

### 3.3.3.1 Cobertura

Para la determinación de porcentaje de suelo cubierto se usaron rectángulos de 20 por 50 cm subdivididos en cuadros de 5 cm de lado los cuales se depositaban en los entresurcos al azar cubriendo aleatoriamente toda la parcela. Se hicieron 10 medidas por parcela. Se estimó porcentaje de suelo cubierto por cada cuadro por medio de apreciación visual. Esta determinación se realizó en dos ocasiones el 26 de noviembre de 2015 (la soja se encontraba en Vc) y el 8 de diciembre de 2015 (V2-V3).

### 3.3.3.2 Enmalezamiento

Como se observó un grado importante de enmalezamiento y diferencias entre parcelas se decidió medir el mismo aunque no estuviera entre las mediciones predeterminadas para este trabajo. Se cosecharon las malezas a

ras del suelo usando cuadros de 50 cm de lado los cuales se distribuyeron 20 veces por parcela recorriendo la parcela en zig-zag colocando el cuadro a punta de bota cada 15 pasos. Esta medición se realizó dos veces; el 9 de diciembre de 2015 y el 18 de abril de 2016. Se pesaron las muestras húmedas y luego de secarlas a estufa a 60°C por 96 horas se tomó el peso seco. Además se eligieron 5 muestras al azar por parcela y se determinó composición botánica y se determinó el aporte de las diferentes especies al enmalezamiento tanto en peso húmedo como en peso seco.

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

La caracterización climática fue realizada en base a los registros obtenidos por la estación meteorológica de INIA La Estanzuela, los cuales se encuentran disponibles online (INIA. GRAS, s.f.).

En la figura No. 1 se compara el régimen de precipitaciones histórico con el ocurrido durante el período experimental.

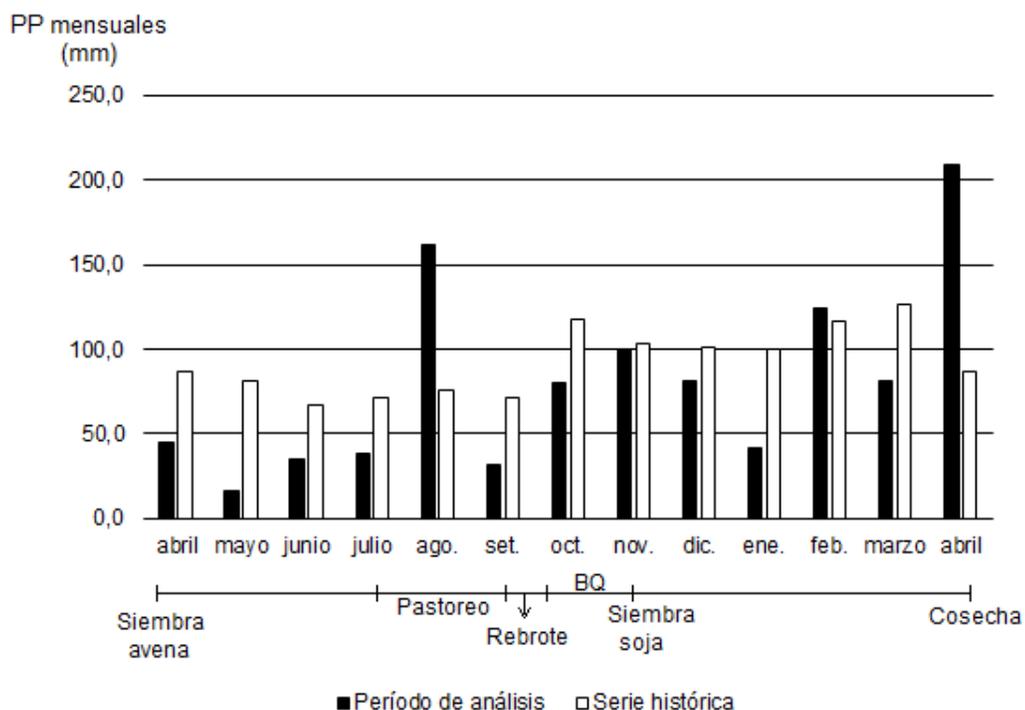


Figura 1. Régimen de precipitaciones durante el período experimental comparado a la serie histórica de la zona (1965-2016).

Durante el período comprendido entre la siembra de la avena y la aplicación de herbicida para iniciar el barbecho químico llovieron 327 mm que corresponden a un 72% del promedio histórico (1965 - 2016) para los mismos meses.

En cuanto al período de barbecho químico correspondiente al período de recarga del perfil del suelo, las precipitaciones alcanzaron 80 mm correspondiendo a un 68% de la serie histórica (1965 - 2016) para el mes de octubre, representando aproximadamente el 60% de la capacidad de almacenaje de agua de este suelo según la estimación de agua disponible potencial calculada en base la unidad de suelo correspondiente (MGAP.RENARE, 2001).

Las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo de soja, comprendido entre noviembre y abril, fueron similares al promedio registrado para la serie histórica (1965 - 2016) para el mismo período. Dentro de dicho periodo cabe destacar que en los meses de enero y marzo llovió un 50% por debajo de la serie histórica y en abril las precipitaciones fueron superiores a la serie histórica en un 140%.

A continuación, en la figura No. 2 se presenta la comparación del promedio histórico (1965 - 2016) de temperaturas medias mensuales para la región y la temperatura media mensual para los meses durante los cuales se realiza el presente estudio.

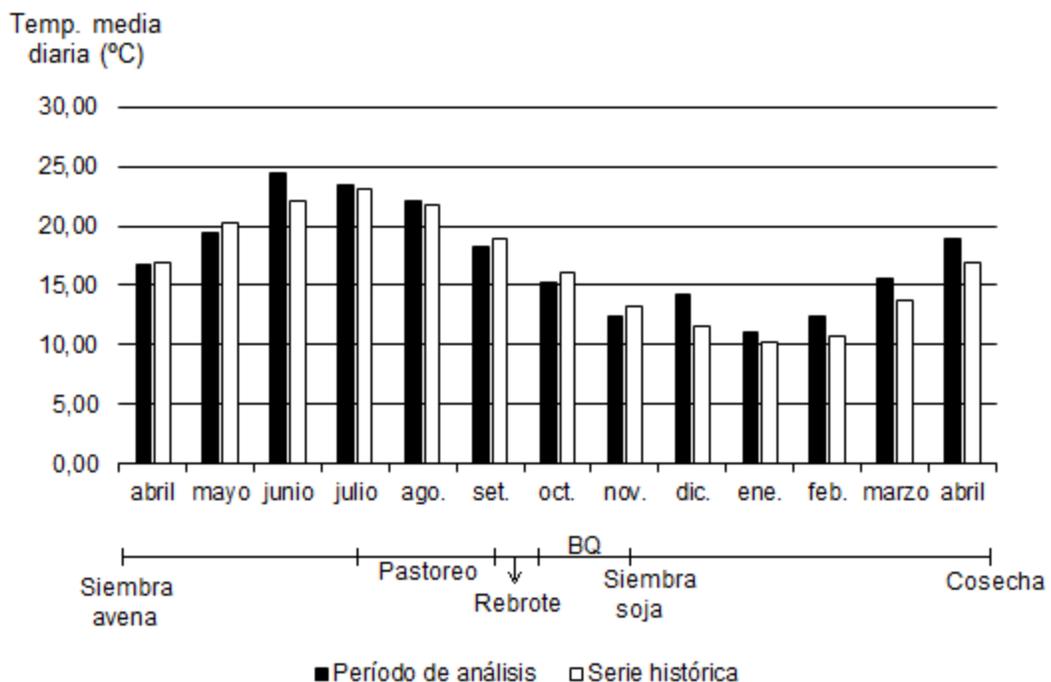


Figura 2. Temperaturas medias mensuales durante el período experimental comparadas a la serie histórica para la zona (1965-2016).

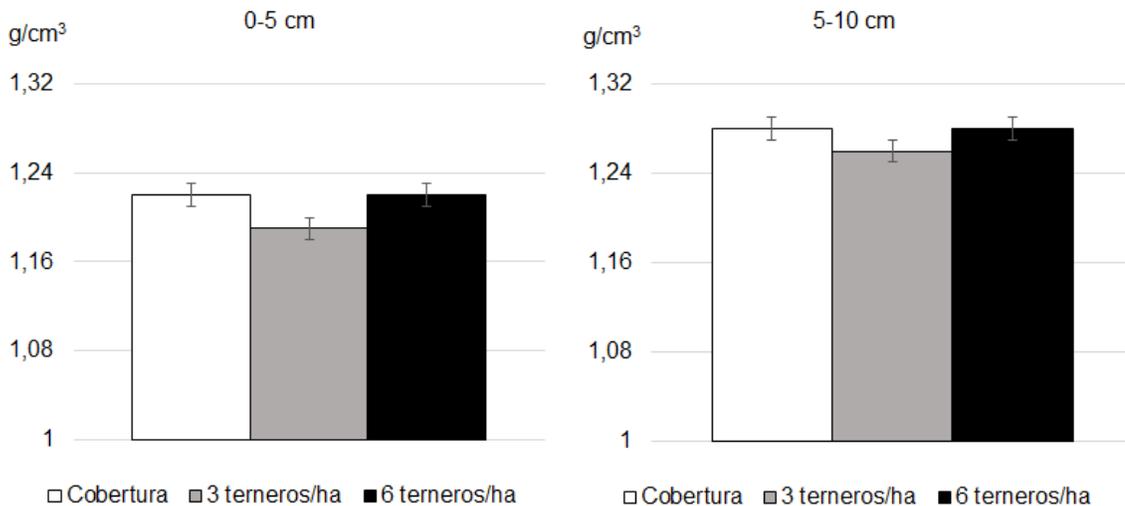
En cuanto a la temperatura no hay grandes diferencias entre la temperatura media para la serie histórica registrada para la estación de INIA La Estanzuela y la temperatura media registrada para el período de análisis para la misma estación experimental. La mayor diferencia se da en los meses de mayo, junio y agosto de 2015 que fueron un 15% más cálidos los dos primeros y 23% el último, que el promedio de la serie histórica para esos meses de los últimos 30 años.

Estos incrementos de temperatura favorecen el crecimiento inicial lo que adelantaría la entrada de los animales para pastorear la avena, lo cual no pudo ser así debido a que las precipitaciones fueron escasas en esta época del año, no favoreciendo de esta manera una buena producción de biomasa inicial debido a las altas temperaturas.

## 4.2 EFECTO DEL PASTOREO DEL CULTIVO DE COBERTURA SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

### 4.2.1 Densidad aparente

A continuación se grafican los resultados del análisis estadístico de los datos de densidad aparente relevados. El análisis estadístico completo se presenta en anexos.



Alfa=0,05; DMS<sub>0-5cm</sub>=0,04936; DMS<sub>0-10cm</sub>=0,04289.

Figura 3. Densidad aparente para los dos estratos relevados (0-5 cm y 5-10 cm) a la siembra de la soja.

Los resultados obtenidos no arrojaron diferencias significativas entre tratamientos tanto para el estrato de 0 a 5 cm como de 5 a 10 cm.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Clark et al. (2004) en un ensayo el cual se pastoreó un rastrojo de maíz con vacas preñadas. A su vez, Kiessling et al. (2008) encontraron que en el mediano plazo el pastoreo animal no afectaría la densidad aparente en siembra directa. Resultados similares obtuvieron Zamora et al. (2002) en un experimento que incluyó pastoreo de raigrás y de avena en tres sitios diferentes.

Por otro lado, Rovira et al. (2014) si encontraron incrementos en la densidad aparente debido al pastoreo animal y mayores incrementos aún en el tratamiento pastoreado con corderos.

Fernández et al. (2010) reportaron incrementos en la densidad aparente en tratamientos con pastoreo, solamente luego de períodos caracterizados por mucha lluvia. En el presente experimento las diferencias en densidad aparente encontradas por Fernández et al. (2010) no se observaron debido a que los animales eran retirados de la parcela al comienzo de la lluvia y retornaban cuando la humedad del suelo lo permitía (cuando se superaba el límite inferior de plasticidad).

El hecho de que no haya diferencias entre los tres tratamientos permite suponer que la porosidad total no se vería afectada por los tratamientos, por lo tanto la relación suelo-aire-agua, tampoco (González y Nogues, citados por Rovira et al., 2014).

Un ensayo realizado por Iturralde y Miranda (2016) en la misma unidad experimental, indicaron proporciones de arcilla en torno al 40%. Según la Universidad de Santa María, RS<sup>1</sup>, para ese porcentaje de arcilla el valor crítico de densidad aparente sería 1,5 g/cm<sup>3</sup>. Esto indicaría que ninguno de los tres tratamientos realizados alcanzó dicho valor, por lo tanto, como se mencionó con anterioridad sería poco probable que se afectara el crecimiento radicular.

#### 4.2.2 Resistencia a la penetración

El análisis de la varianza de las medidas de resistencia a la penetración (RP) realizadas y los resultados correspondientes se detallan en anexos. Se presenta a continuación un resumen de estos resultados en el cuadro No. 4.

---

<sup>1</sup> Curso de paisajismo. Catedra de hidrología. Facultad de Agronomía.  
(<http://www.fagro.edu.uy/hidrologia/paisajismo/AGUA%20EN%20EL%20SUELO.pdf>)

Cuadro 4. Resultados de las medidas de resistencia a la penetración realizadas.

Fecha	Estrato	Cobertura	3 terneros/ha	6 terneros/ha	E.E.	p-valor
06/11/15	0-5	0,86 a	1,29 b	1,21 b	0,08	0,0001
	5-10	1,12 a	1,32 ab	1,36 b	0,06	0,0241
	10-20	1,25	1,19	1,17	0,05	0,4813
	20-30	1,18	1,14	1,06	0,05	0,2091
15/12/15	0-5	0,81 a	1,08 b	0,78 a	0,08	0,0151
	5-10	1,26 a	1,77 b	1,53 ab	0,11	0,0064
	10-20	1,29 a	1,84 b	1,6 ab	0,12	0,0072
	20-30	1,1	1,31	1,32	0,08	0,1249
21/01/16	0-5	1,09	1,12	0,86	0,13	0,3024
	5-10	2,08	2,12	1,62	0,2	0,1371
	10-20	2,64 b	1,27 ab	1,93 a	0,18	0,0258
	20-30	2,67	2,23	2,3	0,17	0,1525
16/02/16	0-5	0,97	1,12	1,05	0,13	0,736
	5-10	1,8	2,01	1,88	0,19	0,7445
	10-20	2,53	2,49	2,57	0,18	0,9525
	20-30	2,84	2,68	2,69	0,17	0,7601
23/02/16	0-5	0,98	0,95	1,09	0,09	0,5176
	5-10	1,58	1,62	1,69	0,09	0,7145
	10-20	1,73	1,58	1,54	0,08	0,2102
	20-30	1,52	1,3	1,48	0,09	0,1619
10/03/16	0-5	0,9 ab	1,26 b	0,89 a	0,11	0,0282
	5-10	1,68 a	2,17 b	1,56 a	0,14	0,0053
	10-20	2,23	2,33	1,97	0,13	0,1189
	20-30	2,31	2,11	1,93	0,12	0,0884
31/03/16	0-5	0,84	0,68	0,64	0,06	0,0765
	5-10	1,33 b	1,01 a	0,94 a	0,09	0,008
	10-20	1,45 b	1,09 a	1,11 a	0,08	0,0036
	20-30	1,39	1,26	1,13	0,09	0,0994
21/04/16	0-5	0,35	0,38	0,38	0,02	0,5411
	5-10	0,68 b	0,65 ab	0,59 a	0,03	0,0514
	10-20	0,88	0,85	0,80	0,03	0,0990
	20-30	1,04	1,03	1,05	0,04	0,9307

Medias con una letra diferente dentro de la misma fila son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

Se observaron diferencias significativas en 6 de las 8 fechas relevadas. En las primeras dos fechas, 6 de noviembre y 15 de diciembre, correspondientes a la siembra y 39 dps, se registraron menores valores de RP para el tratamiento cobertura en los estratos más superficiales. Estos estratos son 0-5 cm y 5-10 cm para siembra y 0-5 cm, 5-10 cm y 10-20 cm para el 15 de diciembre (39 dps). A partir de la tercera fecha (21/01/16), correspondiente a 76 dps, se observan resultados menos consistentes.

Estos resultados coinciden con Venanzi et al. (2002) que encontraron que el pastoreo producía aumentos en la resistencia a la penetración en los primeros centímetros de suelo (estrato 0-10cm). A su vez, Clark et al. (2004), en esta misma línea encontraron similares resultados en los estratos 0-10 y 10-20 cm.

En el sentido contrario, Rovira et al. (2014) determinaron que el pastoreo no producía cambios en la resistencia a la penetración. Los mismos resultados obtuvieron Artigas y García (2012).

A partir de estos resultados, se podría asumir que el efecto del pastoreo sobre la resistencia a la penetración es en el corto plazo.

Si bien se reportan incrementos significativos para los tratamientos pastoreados, la instalación y crecimiento del cultivo no se vio comprometido.

La medida de manejo de retirar los animales cuando la humedad superaba el límite inferior de plasticidad, podría haber contribuido a disminuir el efecto de pastoreo. Esto explicaría la diferencia con Clark et al. (2004) en el sentido que encontraron efectos del pastoreo de largo plazo, quienes pastoreaban las parcelas sin importar la humedad del suelo.

#### 4.2.3 Humedad

A continuación se presenta un resumen de los resultados obtenidos en cuanto a la humedad del suelo. La estimación de humedad gravimétrica del suelo se expresa en porcentaje en el cuadro No. 5. El análisis estadístico completo de los datos relevados se adjunta en anexos.

Cuadro 5. Resultados de la estimación de humedad gravimétrica del suelo.

Fecha	Estrato	Cobertura	3 terneros/ha	6 terneros/ha	E.E.	p-valor
15/12/15	0-10	23,97	21,61	21,52	1,03	0,2398
	10-20	19,46	24,52	25,04	4,36	0,6299
	20-30	30,40	28,61	27,68	1,27	0,3682
23/02/16	0-10	18,40	18,45	18,91	0,65	0,8330
	10-20	19,46	20,54	19,83	0,58	0,4526
	20-30	22,02	23,06	21,76	0,87	0,5681
04/03/16	0-10	17,86	17,21	17,49	0,87	0,8731
	10-20	18,84	19,30	18,54	0,78	0,7909
	20-30	21,37	20,62	21,21	1,71	0,9489
21/03/16	0-10	12,97	14,35	16,67	2,34	0,5608
	10-20	16,29	17,01	15,59	1,33	0,7612
	20-30	18,15	20,11	16,86	1,00	0,1456
31/03/16	0-10	14,22	17,20	13,43	1,97	0,4159
	10-20	13,38	17,31	13,84	1,32	0,1482
	20-30	16,19	17,47	15,23	2,93	0,8658
21/04/16	0-10	19,74	28,03	24,76	5,57	0,5978
	10-20	24,39	26,10	24,47	1,74	0,7460
	20-30	27,81	28,04	20,45	4,02	0,3766

Medias con una letra diferente dentro de la misma fila son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

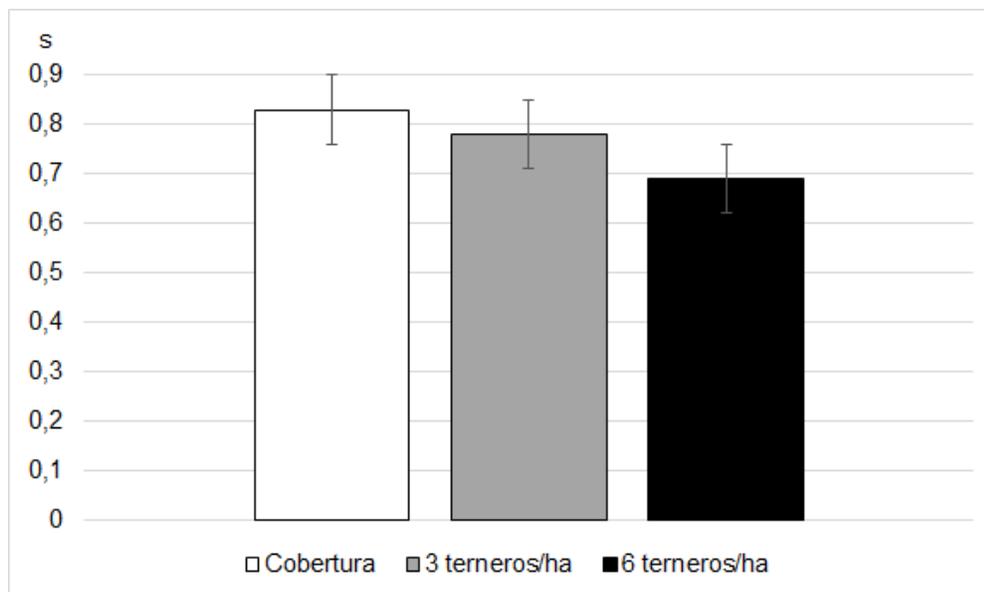
Los resultados obtenidos muestran que no hubo diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre tratamientos para ninguno de los tres estratos y para ninguna de las fechas de muestreo. Los mismos resultados obtuvieron Clark et al. (2004) luego del pastoreo de rastrojo de maíz.

Ernst (2004), evaluando distintos cultivos de cobertura, donde no encontró diferencias en cuanto a disponibilidad de agua para el cultivo de maíz. Esto coincide con lo mencionado por Corsi, citado por Ernst (2004), que afirma que los cultivos de cobertura no son una limitante desde el punto de vista de la disponibilidad de agua para el cultivo de verano siguiente.

A partir de los resultados obtenidos y de los antecedentes mencionados, se podría asumir que es más importante para la recarga del perfil, las precipitaciones ocurridas en el periodo de barbecho, que el manejo o tipo de cobertura que se realice.

#### 4.2.4 Rugosidad

El análisis de la varianza realizado se adjunta en la sección anexos. La figura que se presenta a continuación es el resultado de graficar los resultados del mismo.



Alfa=0,05; DMS=0,25121.

Figura 4. Estimación de rugosidad del suelo 35 días post siembra (variación estándar de la diferencia de altura entre puntos equidistantes en el suelo y una función que simula la pendiente del terreno).

Los resultados obtenidos para esta variable, indican que no hay diferencias estadísticas entre los tres tratamientos. Sin embargo, se observa una tendencia a un aumento de la rugosidad a medida que disminuye la carga animal.

Estos resultados concuerdan con lo encontrado por Proffitt, citado por Martino (2001), donde se observó que retirar los animales cuando la humedad alcanzaba el límite inferior de plasticidad, reducía notoriamente el deterioro de las propiedades físicas del suelo.

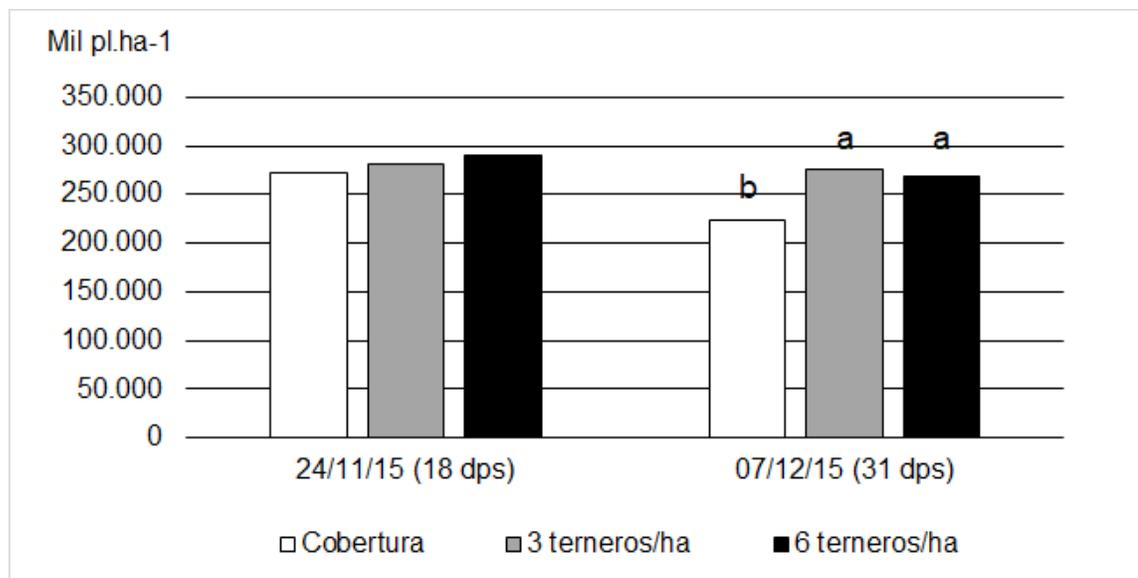
A su vez, Scholefield, citado por Clark et al. (2004) indicó, que el pastoreo en suelos con humedad por encima del límite plástico inferior, llevaría a un desplazamiento de partículas por lo que la rugosidad tendería a aumentar.

Clark et al. (2004), sí observaron aumentos de la rugosidad debido al pastoreo, pero en condiciones de suelo con alto contenido de humedad.

#### 4.3 EFECTO DEL PASTOREO DEL CULTIVO DE COBERTURA SOBRE EL CULTIVO DE SOJA

##### 4.3.1 Implantación

En cuanto a implantación, se grafican los resultados en la figura No. 5 y además se presenta el análisis estadístico completo en anexos.



Alfa=0,05; DMS<sub>24/11</sub>=23.562; DMS<sub>7/12</sub>=29.891.

Figura 5. Implantación de soja a los 18 y 31 días post siembra.

No se observaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre tratamientos para la primera fecha (18 dps), no siendo así para la segunda fecha (31 dps), donde el tratamiento cobertura logró menos plantas.

Resultados similares obtuvieron Artigas y García (2012), quienes observaron mayor implantación en el tratamiento cultivo cobertura con pastoreo que para el tratamiento sin pastoreo.

Estos resultados contrastan con los encontrados por Clark et al. en 2004 donde no se encontraron diferencias significativas en un experimento de tres años que consistió en el pastoreo de rastrojos de maíz.

Las diferencias en implantación pueden ser atribuidas a una menor radiación incidente por la cobertura de rastrojo como lo indican Tanner et al., Shen et al., citados por Bastos et al. (2007). A su vez, Unger, citado por Bastos et al. (2007) afirma que la temperatura del suelo con rastrojo en superficie es menor, debido a que el rastrojo o cobertura recibe la mayor cantidad de radiación directa y refleja más, actuando como capa aislante. Esta menor temperatura de suelo sería otro de los factores afectando implantación.

Unger también afirma que una mayor cobertura en suelo reduciría la evaporación, aumentando así la humedad de suelo. Para este caso no se observaron diferencias significativas entre tratamientos en cuanto a esta variable, por lo que se descartaría que la humedad afectase la implantación.

Cabe destacar, que si bien en la primer fecha de muestreo no se observaron diferencias significativas, hay una tendencia a una mejor implantación en los tratamientos con pastoreo posiblemente debido a una mayor temperatura de suelo y a un mejor contacto de la semilla con el suelo al haber menor cobertura en superficie.

#### 4.3.2 Fenología

El registro de estado fenológico se realizó en dos fechas correspondientes a 18 y 31 días post siembra. Para realizar el análisis estadístico se le asignó un número a cada estado fenológico. El mismo y la escala empleada se detallan en la sección anexos.

Cuadro 6. Estado fenológico promedio para 18 y 31 días post siembra.

Fecha	Cobertura	3 terneros/ha	6 terneros/ha	E.E.	p-valor
24/11/15 (18 dps)	0,92	0,95	0,97	0,03	0,4653
07/12/15 (31 dps)	3,43 b	3,65 a	3,65 a	0,06	0,0074

Medias con una letra diferente dentro de la misma fila son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Escala:  $V_e=0$ ,  $V_c=1$ ,  $V_1=2$ ,  $V_2=3$ ,  $V_3=4$ ,  $V_4=5$ .

No se observaron diferencias significativas entre tratamientos para la primera fecha de muestreo. No obstante, para la segunda fecha de muestro, si se observaron diferencias significativas, donde el tratamiento cobertura se encontraba en un menor estado de desarrollo.

Estas diferencias entre tratamientos podrían deberse a que al haber más cobertura en suelo, la radiación interceptada por las plántulas es menor. Esto

lleva a una menor tasa de crecimiento. A su vez, mayor cobertura, lleva a una menor temperatura por lo que la tasa de crecimiento también se vería afectada.

Artigas y García (2012) encontraron diferencias en el estado fenológico en soja comparando un tratamiento con cultivo de cobertura sin pastoreo y otro tratamiento sin cultivo de cobertura. Estos autores mencionan que una posible explicación a esa diferencia puede ser que la abundante cobertura por rastrojo interfiriese con la velocidad de emergencia de las plántulas por limitar la luz que pueden absorber, y ofrecer una resistencia física a su crecimiento.

#### 4.3.3 Altura de plantas

En el cuadro No. 7 se presentan las medias de los registros de altura de plantas (el análisis estadístico completo se encuentra en la sección anexos).

Cuadro 7. Altura de plantas (cm) para tres estadios relevados.

Fecha	Cobertura	3 terneros/ha	6 terneros/ha	E.E.	p-valor
07/12/15 (31 dps- V2/V3)	12,95 a	12,44 ab	11,63 b	0,26	0,0023
31/1/2016 (89 dps - R1)	49,13	51,00	52,67	1,26	0,1443
29/04/16 (cosecha- R8)	54,95	55,51	55,25	1,01	0,9258

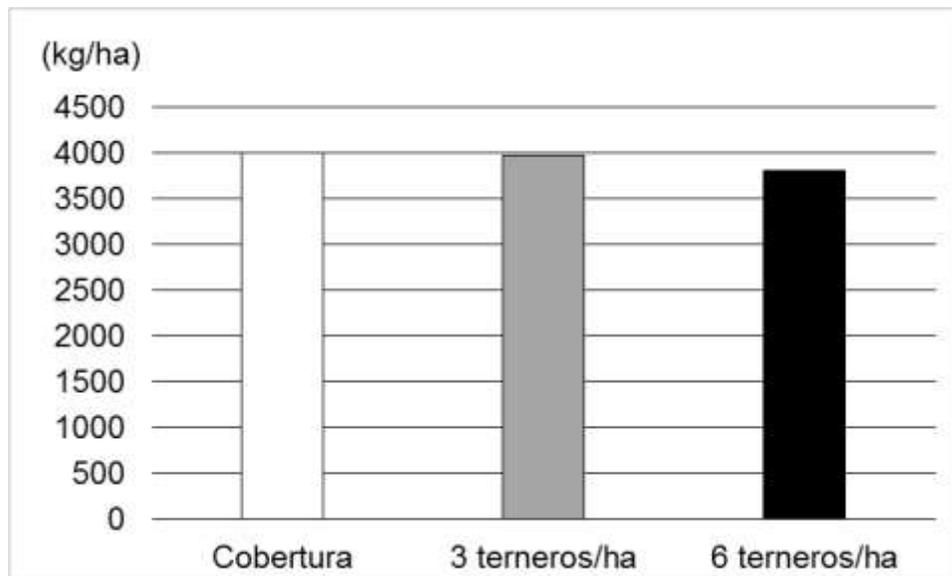
Medias con una letra diferente dentro de la misma fila son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

Los relevamientos de altura de plantas arrojaron diferencias significativas para la primera fecha entre el tratamiento cobertura y el tratamiento 6 terneros/ha, obteniéndose una media de altura mayor en el tratamiento cobertura. Ya en la segunda fecha de muestreo estas diferencias no se observaron, siendo estadísticamente iguales los tres tratamientos. Esto se mantuvo hasta cosecha.

Hovermale, citado por Bastos et al. (2007), estudiando la respuesta de la soja a diferentes cantidades de cobertura en superficie encontró que a mayor cobertura, las plantas tenían mayor altura. Debido al efecto de sombreado por la cobertura y a la menor radiación interceptada por la planta, la misma responde alargando los entrenudos en busca de más y mejor radiación.

#### 4.3.4 Rendimiento

A continuación se pueden observar los resultados de rendimiento en grano, de la cosecha de la soja. El análisis estadístico se adjunta en anexos.



Alfa=0,05; DMS=321,83835.

Figura 6. Rendimiento en grano con humedad de cosecha (16 %).

No se encontraron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) de rendimiento en grano, con 16% de humedad, que fue la humedad de cosecha.

Según la FAO (1996), la base o tolerancia de humedad en grano para soja es de 13% y al secar el grano con 16% de humedad para llevarlo a 13% se produce una merma de rendimiento en peso de 3,45%. Por lo tanto, los rendimientos con 13% de humedad para los tratamientos cobertura, 3 terneros/ha y 6 terneros/ha serían 3869, 3835, 3672 kg/ha respectivamente.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Artigas y García (2012), quienes no encontraron diferencias en el rendimiento del cultivo de soja posterior a una avena que fue pastoreada con corderos. Larripa et al. (2013) tampoco encontraron un efecto significativo negativo sobre la producción de granos de un cultivo de soja sembrado a continuación de raigrás pastoreado con vaquillonas. Al igual que los autores anteriores, Méndez et al. (2009) concluyeron que el pastoreo de un cultivo de cobertura no afectó el rendimiento del cultivo siguiente de arroz. Similares resultados a los anteriormente mencionados obtuvieron Clark et al. (2004) quienes no encontraron diferencias

en rendimiento de soja posterior a un rastrojo de maíz pastoreado y uno no pastoreado. En el mismo sentido, Venanzi et al. (2002), luego de una experiencia de 5 años en los cuales se realizó pastoreo de diferentes coberturas y rastrojos de cultivos y se evaluó el rendimiento de los cultivos posteriores al pastoreo, concluyen que el pastoreo no afectó el rendimiento en grano.

#### 4.3.5 Componentes del rendimiento

A continuación se presentan los resultados del análisis estadístico, adjuntado por completo en anexos, de los componentes de rendimiento.

Cuadro 8. Rendimiento en grano y sus componentes numéricos.

Variable	Cobertura	3 terneros/ha	6 terneros/ha	E.E.	p-valor
Rendimiento (kg/ha)*	4.007	3.972	3.803	96	0,2778
No. Plantas (mil pl.ha <sup>-1</sup> )	251.736 b	268.914 ab	282.894 a	5.403	0,0004
granos/planta	100,1 a	85,27 b	77,97 b	2,73	0,0001
PMG (g)	211,8 b	208,7 b	220,5 a	1,8	0,0001

\*Rendimiento con humedad de cosecha (16%)

Medias con una letra diferente dentro de la misma fila son significativamente diferentes (p < 0,05).

Como se observa en el cuadro No. 8 los componentes del rendimiento difieren estadísticamente entre tratamientos. Hay una tendencia marcada que al aumentar la carga aumenta el no. de plantas por hectárea y disminuye el no. de granos por planta. El no. de plantas/ha es mayor estadísticamente para el tratamiento 6 terneros/ha frente al tratamiento cobertura, pero el no. de granos por planta registra el menor valor con diferencias estadísticas respecto al tratamiento cobertura. Para el caso del tratamiento 3 terneros/ha el no. de plantas/ha no difiere estadísticamente ni del tratamiento cobertura ni del tratamiento 6 terneros/ha.

En cuanto a peso de mil granos (PMG), el tratamiento 6 terneros/ha fue estadísticamente superior. Además se marca una tendencia que a medida que aumenta la carga el PMG aumenta.

Estos resultados podrían ser explicados por lo mencionado por Andrade y Sadras (2000), quienes explican la gran estabilidad de rendimiento de soja debido a su alta plasticidad tanto vegetativa como reproductiva. Aumentos o

disminuciones en número de plantas por unidad de superficie, produce aumentos o disminuciones en no. de granos, en orden inverso. Este último componente de rendimiento es el más afectado por la densidad de plantas. El peso de granos, en cambio, depende del genotipo y de las condiciones ambientales durante el llenado (Egli, Andrade y Ferreiro, citados por Andrade y Sadras, 2000). Ante cambios en la densidad de plantas, este segundo componente del rendimiento presenta escasa variación en soja (Valentinuz et al., Board et al., citados por Andrade y Sadras, 2000).

Artigas y García (2012), también evaluaron componentes del rendimiento de soja. Evaluaron no. de plantas por metro lineal y obtuvieron resultados similares a los que se obtuvieron en el presente trabajo (en mil plantas/ha).

El componente granos/planta resulta del producto entre granos/vaina y vainas/planta, esto se detalla en el cuadro No. 9.

Cuadro 9. Componentes de la variable no. granos/planta.

Variable	Cobertura	3 terneros/ha	6 terneros/ha	E.E.	p-valor
no. vainas/planta*	49,92 a	42,91 b	38,48 b	1,34	0,0001
no. granos/vaina	2,02	1,99	2,04	0,03	0,4172
no. vainas vanas/planta	1,92 b	2,52 a	1,89 b	0,17	0,0130

\*sin contar las vainas vanas

Medias con una letra diferente dentro de la misma fila son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

Los resultados obtenidos arrojaron diferencias significativas para vainas por planta entre el tratamiento cobertura y los pastoreados, a favor del primero. Esto no se observó en el componente granos/vaina, ya que no hubo diferencias estadísticas entre tratamientos. En cuanto a vainas vanas, hubo diferencias significativas entre el tratamiento 3 terneros/ha y 6 terneros/ha y cobertura.

La variable vainas/planta marca una tendencia que es la misma que se observa en granos/planta; a medida que aumenta la carga de pastoreo disminuye la cantidad de vainas/planta.

Esto podría explicarse por una fuerte influencia genética en la determinación de la cantidad de granos por vaina. Kantolic (2003) menciona que el componente número de granos por vaina tiene un alto grado influencia genética. Existen genotipos que tienen una alta proporción de vainas con tres lóculos y otros que predominan vainas con dos lóculos. El número de vainas por planta sería lo que la planta de soja aumentaría en el caso del tratamiento

cobertura, con menor número de plantas/ha para expresar su plasticidad reproductiva y así lograr concretar el rendimiento similar a los tratamientos con pastoreo.

Artigas y García (2012), obtuvieron resultados similares; registraron mayor número de vainas por planta en un tratamiento con cultivo de cobertura sin pastoreo con respecto a otro tratamiento con pastoreo del cultivo de cobertura.

En cuanto a la cantidad de vainas vanas/planta el tratamiento 3 terneros/ha es superior al tratamiento cobertura y el tratamiento 6 terneros/ha. Estos resultados no son del todo claros, pero parecería que no hay un efecto del pastoreo sobre la cantidad de vainas vanas/planta.

#### 4.4 EFECTO DEL PASTOREO DEL CULTIVO DE COBERTURA SOBRE OTRAS VARIABLES DEL SISTEMA

##### 4.4.1 Cobertura

En el cuadro No. 10 se resumen los resultados obtenidos en cuanto a cobertura del suelo por el rastrojo de avena. El análisis de la varianza completo se adjunta en la sección anexos.

Cuadro 10. Porcentaje de cobertura del suelo 20 y 30 días post siembra (dps) de soja.

Fecha	Cobertura	3 terneros/ha	6 terneros/ha	E.E.	p-valor
26/11/2015 (20 dps)	92,72 a	79,69 a	51,19 b	4,01	0,0001
8/12/2015 (30 dps)	95,79 a	91,12 a	70,37 b	3,14	0,0001

Medias con una letra diferente dentro de la misma fila son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

En ambas fechas se observaron diferencias significativas para el tratamiento de 6 terneros/ha. A pesar de esto, no se vio afectada la implantación y no se observaron diferencias significativas entre tratamientos en cuanto a número de plantas para la primer fecha.

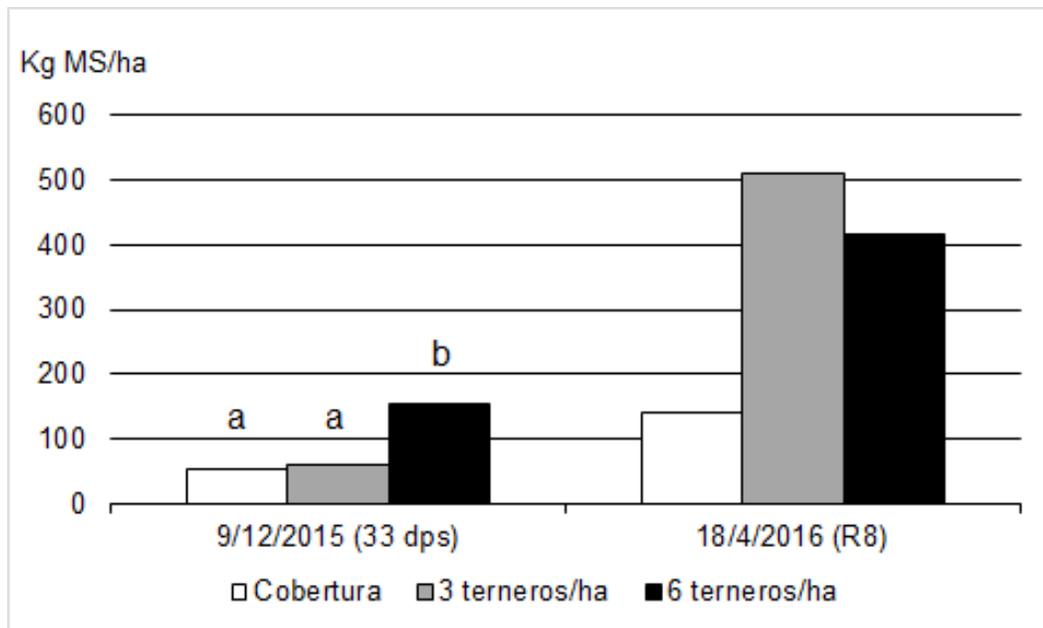
Para los 30 dps se registran mayores porcentajes de cobertura en relación al muestreo realizado 20 dps para todos los tratamientos. Esto podría explicarse por el hecho que el rastrojo de avena 20 dps de la soja se mantenga

cierta parte en pie y no cubriendo el suelo. Al realizarse el muestreo a nivel de suelo, sería razonable pensar que la mayor cobertura del suelo a los 30 dps se deba a una mayor proporción de rastrojo sobre el suelo y a una menor proporción de rastrojo anclado y por encima del mismo.

A pesar de que se observaron diferencias significativas para el tratamiento de 6 terneros/ha, aun así la cobertura del suelo era buena, por lo que se estaría cumpliendo con el rol de la cobertura de proteger el suelo contra la erosión. De acuerdo a la RUSLE (revised universal soil loss equation) usada para predecir el grado de erosión, una cobertura del suelo por residuos de tan solo un 10% puede reducir el grado de erosión en torno a un 30%; y con un 50% de cobertura la reducción de la erosión puede ser mayor a un 80% (Moldenhauer y Langdale, citados por Sarrantonio y Galldant, 2003).

#### 4.4.2 Enmalezamiento

En lo que se refiere a la presencia de malezas se midió en dos ocasiones y en la figura siguiente se grafican los resultados del análisis estadístico de esta variable, el mismo se adjunta completo en anexos.



Alfa=0,05; DMS<sub>9/12</sub>=42,2241; DMS<sub>18/4</sub>=467,76495.

Figura 7. Enmalezamiento (kg MS/ha).

Como se observa en la figura No. 7, a los 30 días post siembra (9/12/2017) se encontraron diferencias significativas en infestación de malezas

entre el tratamiento 6 terneros/ha y el tratamiento cobertura y 3 terneros/ha, siendo mayor en el tratamiento 6 terneros/ha. Ya para el 18 de abril, con el cultivo en madurez fisiológica, 10 días pre cosecha, si bien hay mayor presencia de malezas en los tratamientos con pastoreo que en el tratamiento cultivo de cobertura sin pastoreo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas.

Es pertinente destacar que, a partir del grado de infestación de malezas constatado en estadios tempranos del cultivo, se realizaron aplicaciones para controlarlas y prevenir nuevas emergencias.

Los resultados obtenidos indicarían que el pastoreo del cultivo de cobertura generaría una menor cantidad de biomasa sobre el suelo, lo que podría hacer a este cultivo pastoreado un menor competidor con las malezas que si no recibiera pastoreo. Ya en el ciclo del cultivo siguiente, soja en este caso, la menor cantidad de rastrojos a causa del pastoreo favorecería el establecimiento y crecimiento de malezas en comparación con un cultivo de cobertura que no recibe pastoreo. Esto último sería más importante en etapas iniciales del ciclo del cultivo de soja donde el mismo no cerró la entre fila y compite menos con las eventuales malezas que puedan surgir.

Mohler y Teasdale, citados por Sarrantonio y Galldant (2003), afirman que los residuos de cultivos de cobertura física y químicamente suprimen malezas llevando a densidades reducidas. Sin embargo, Teasdale, citado por Sarrantonio y Galldant (2003), concluye que los residuos de cultivos de cobertura en sistemas de no-laboreo, mientras reducen la erosión del suelo y mejoran la calidad del suelo, solos no proveen niveles aceptables de control de malezas.

## 5 CONCLUSIONES

De las propiedades físicas del suelo evaluadas, la densidad aparente, la humedad del suelo y la rugosidad del mismo en términos generales no se vieron afectadas por los distintos tratamientos. La propiedad estudiada que arrojó diferencias significativas, fue resistencia a la penetración. Esto se dio para los estratos superiores y en los primeros estadios de desarrollo del cultivo (en siembra de soja y 40 dps cuando el cultivo se encontraba en el estadio V3). En las siguientes fechas de muestreo, si bien se dan diferencias significativas, los resultados no son atribuibles a un efecto del pastoreo. El retiro de los animales cuando ocurrieron precipitaciones y el retorno de los mismos luego de que la humedad del suelo se encontrara por debajo del límite inferior de plasticidad parece haber sido un factor influyente en la poca variación de las propiedades físicas evaluadas.

Las determinaciones realizadas a nivel de cultivo si mostraron diferencias significativas entre tratamientos con pastoreo y sin pastoreo. La implantación a los 30 dps fue menor para los tratamientos con pastoreo respecto al tratamiento cultivo de cobertura sin pastoreo. Estas diferencias se mantienen ya que en cosecha se confirma una mayor población en tratamientos con pastoreo. En cuanto al estado fenológico, los tratamientos con pastoreo tuvieron un desarrollo inicial más rápido que el tratamiento sin pastoreo. Por último se constató una mayor altura de plantas en el tratamiento sin pastoreo en estadios iniciales de desarrollo del cultivo (30dps), diferencias que no se mantienen en estados de desarrollo más avanzados. Estas diferencias en establecimiento, desarrollo y crecimiento iniciales se podrían adjudicar a la mayor cantidad de cobertura por rastrojo en suelo para el tratamiento sin pastoreo.

En cuanto a rendimiento, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. Si se encontraron diferencias significativas para los componentes del mismo, pero debido a la capacidad de compensación o plasticidad reproductiva de la soja, estas diferencias no se tradujeron en rendimiento. Dichas diferencias constaron en un menor número de plantas en tratamientos sin pastoreo que llevó a la formación de mayor cantidad de granos por planta por parte del cultivo como compensación, logrando así rendimientos similares.

Para el caso de malezas se observaron diferencias significativas en desmedro del tratamiento con pastoreo. Esto sugeriría realizar un manejo más ajustado de las mismas en casos donde se pastoree el cultivo de cobertura. Por otro lado, la cobertura del suelo también mostró diferencias significativas,

siendo menor la misma en el tratamiento 6 terneros/ha sin llegar a valores que comprometan las funciones del cultivo de cobertura.

A partir de los resultados obtenidos, se podría concluir, que si bien el pastoreo no genera diferencias en rendimiento o propiedades físicas del suelo, el mismo debe ser controlado para no poner en riesgo el sistema. Dicho de otra forma, incorporar ganadería en un sistema agrícola mediante el pastoreo de los cultivos de cobertura sería rentable ya que no generaría efectos negativos sobre el cultivo de renta si se tiene la precaución de retirar animales en períodos en los cuales el suelo está muy húmedo y se hace un manejo ajustado de malezas.

Resulta necesaria la realización de estudios de largo plazo que confirmen los resultados obtenidos y descarten efectos acumulativos.

## 6 RESUMEN

Para la mayoría de los suelos del Uruguay donde se realiza agricultura es casi inevitable el doble cultivo anual o el uso de pasturas perennes o de gramíneas de verano (maíz o sorgo) para lograr no sobrepasar el máximo permitido de erosión de suelo. El uso de cultivos de cobertura es una alternativa promisoría para la agricultura ya que la función específica del mismo es mantener el suelo cubierto, protegiéndolo de la erosión, reduciendo las pérdidas de nutrientes por lavado y escurrimiento. Debido a que el cultivo de cobertura es un costo sin retorno económico efectivo en el corto plazo, parecería ser que el pastoreo podría ser una alternativa para disminuir los costos de implantación, siempre que se mantengan los niveles mínimos de biomasa que permitan cumplir su rol en el sistema. Se evaluó el efecto del cultivo de cobertura (avena) sin y con pastoreo a dos cargas contrastantes (3 terneros/ha y 6 terneros/ha), sobre las propiedades físicas del suelo y el rendimiento de la soja posterior. Los resultados obtenidos no mostraron mayores diferencias entre tratamientos tanto para densidad aparente como para humedad del suelo y rugosidad del mismo. Si se observaron diferencias significativas para resistencia a la penetración. Esta última fue mayor para los tratamientos con pastoreo en 2 de las 8 fechas de muestreo y para los primeros estratos 0-10 y 10-20 cm. El rendimiento no mostró diferencias significativas entre tratamientos. Los tres tratamientos lograron rendimientos similares a partir de diferencias significativas en los componentes numéricos del rendimiento. Se registró un mayor número de plantas para los tratamientos pastoreados pero a su vez un menor número de granos por planta.

Palabras clave: Cultivo de cobertura; Pastoreo; Soja; Propiedades físicas del suelo.

## 7 SUMMARY

In most of the uruguayan soils where agriculture is practiced, double annual cultivation or the use of perennial pastures or summer grasses (maize or sorghum) is almost inevitable so as not to exceed the maximum permissible soil erosion. The use of cover crops is a promising alternative for agriculture since its specific function is to keep the soil covered, protecting it from erosion, reducing nutrient losses through washing and run-off. Since cover cropping is a cost with no economic return in the short term, it would seem that grazing could be an alternative to lower implementation costs, provided that the minimum levels of biomass are maintained to fulfill their role in the system. The effect of cover crop (oats) with and without grazing on two contrasting loads (3 calves / ha and 6 calves / ha), on the physical properties of the soil and the performance of the soybean planted afterwards were evaluated. The results did not show greater differences between treatments for bulk density as well as soil moisture or roughness. Resistance to penetration did show significant differences. The latter was higher for treatments with grazing on 2 of the 8 sampling dates and for the first strata 0-10 and 10-20 cm. The yields did not show any significant differences between treatments. All three treatments achieved similar yields from significant differences in numerical performance components. A greater number of plants were registered for the grazed treatments, but in turn a smaller number of grains per plant.

Keywords: Cover crop; Grazing; Soyeam; Soil physical properties.

## 8 BIBLIOGRAFÍA

1. Andrade, F. H.; Vega, C. R. 2000. Densidad de plantas y espaciamento entre hileras. In: Andrade, F. H.; Sadras, V. O. eds. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Buenos Aires, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. pp. 97-133.
2. Arranz, C.; Galantini, J.; Iglesias, J.; Kruger, H.; Venanzi, S. 2004. Sistemas de labranza; efecto del pastoreo animal sobre la distribución del tamaño de poros. Bahía Blanca, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). 7 p.
3. Artigas, M.; García, I. 2012. Efecto del cultivo de cobertura con y sin pastoreo sobre implantación, crecimiento y rendimiento de soja. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 65 p
4. Bastos, M.; Feller, D.; Ingold, J. 2007. 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.
5. Blanco-Canqui, H.; Shaver, T.; Lindquist, J.; Shapiro, C.; Elmore, R.; Francis, C.; Hergert, G. 2015. Cover crops and ecosystem services; insights from studies in temperate soils. *Agronomy Journal*. 107(6): 2449-2474.
6. Bratschi, A.; López, F. 2012. Empleo de cultivos cobertura y su incidencia en nitratos, agua acumulada en el suelo y rendimiento de maíz. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 60 p.
7. Cardozo, G.; Ayala, W.; Barrios, E.; Serrón, N.; Terra, J.; Cantou, G. 2012. Cultivos de cobertura en esquemas agrícolas. In: Jornada Anual Unidad Experimental Palo a Pique (2012, Treinta y Tres). Producción animal. Montevideo, INIA. pp. 57-61 (Actividades de Difusión no. 695).
8. Clark, J. T.; Russell, J. R.; 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.

9. Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, M. G.; Gonzalez, L.; Tablada, M.; Robledo, C. W. 2016. InfoStat versión 2016. (en línea). Córdoba, Universidad Nacional de Córdoba. FCA. Grupo InfoStat. s.p. Consultado jul. 2016. Disponible en <http://www.infostat.com.ar>
10. Ernst, O. 2004. Leguminosas como cultivo de cobertura. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. no. 21: 1-10.
11. \_\_\_\_\_.; Siri Prieto, G. 2009. Impact of perennial pasture and tillage systems on carbon input and soil quality Indicators. *Soil and Tillage Research*. 105: 260-268.
12. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 1996. Secado de granos y secadoras. (en línea). Santiago, Chile. s.p. Consultado 16 jun. 2017. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/X5028S/X5028S02.htm>
13. Fariña, P.; Gauthier, A. 2006. Efecto del manejo del barbecho sobre disponibilidad de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 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.
14. Fernández, P. L.; Álvarez, C. R.; Schindler, V. 2010. Changes in topsoil bulk density after grazing crop residues under no-till farming. *Geoderma*. 159: 24-30.
15. Floss, E. L. 2000. Benefícios da biomassa de aveia ao sistema de semeadura direta. *Revista Plantio Direto*. 57: 25-29.
16. Franzluebbbers, 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 and Tillage Research*. 100: 141–153.
17. Galli, J. R.; Di Leo, N.; Bonel, B.; Larripa, M.; Montico, S. 2013. Modificaciones en la condición edáfica por el pastoreo de cultivos de cobertura. *In*: Congreso Argentino de Producción Animal (36º., 2013, Corrientes). Resúmenes. *Revista Argentina de Producción Animal*. 33: 87.

18. García Préchac, F.; Ernst, O.; Siri Prieto, G.; Terra, J. A. 2004. Integrating no-till into crop–pasture rotations in Uruguay. *Soil and Tillage Research*. 77: 1–13.
19. INIA.GRAS (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Unidad de Agro-clima y Sistemas de información, UY). s.f. Banco de datos agroclimáticos. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 20 abr. 2017. Disponible en <http://www.inia.uy/gras/Clima/Banco-datos-agroclimatico>
20. Kantolic, A. 2003. Bases funcionales de la determinación de rendimiento. In: Satorre, E. ed. *El libro de la soja*. Buenos Aires, AACREA – AAPRESID. pp.31-34.
21. Kiessling, R. J.; Galantini, J. A.; Iglesias, J. O.; Krüger, H.; Venanzi, S. 2008. Efecto del pisoteo animal sobre la porosidad del suelo en lotes bajo siembra directa continua. In: Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo (21º., 2008, Potrero de los Funes). Resúmenes. Buenos Aires, INTA. s.p.
22. Larripa, M. J.; Quinteros, M.; Di Leo, N.; Bonel, B.; Montico, S.; Galli, J. R. 2013. El pastoreo de cultivos de cobertura influye en los rendimientos de la soja sucesora. *Revista Argentina de Producción Animal*. 33 (supl. 1): 49-95.
23. Martino, D. L. 2001. Manejo de restricciones físicas del suelo en sistemas de siembra directa In: Díaz Rossello, R. coord. *Siembra directa en el cono Sur*. Montevideo, Uruguay, PROCISUR. pp. 225-257
24. MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Dirección de Estadísticas Agropecuarias, UY). 2014. Anuario estadístico agropecuario 2014. (en línea). Montevideo. 243 p. Consultado mar. 2016. Disponible en [http://www.mgap.gub.uy/portal/hgxpp001.aspx?7,5,754,O,S,0,MNU;E;27;9;MNU;](http://www.mgap.gub.uy/portal/hgxpp001.aspx?7,5,754,O,S,0,MNU;E;27;9;MNU)
25. \_\_\_\_\_. RENARE (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Dirección General de Recursos Naturales Renovables, UY). 2001. Agua disponible de las tierras del Uruguay; segunda aproximación. (en línea). Montevideo. 13 p. Consultado jul. 2016. Disponible en <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219220807174344.pdf>

26. Miranda, M.; Iturralde, J. 2016. Efecto del cultivo cobertura con y sin pastoreo sobre la producción animal, las propiedades físicas del suelo y la implantación de la soja posterior. Técnico agropecuario. Ismael Cortinas, Uruguay. Universidad del Trabajo del Uruguay. Escuela Agraria Superior "La Carolina". 32 p.
27. Passioura, J. B. 2002. Soil conditions and plant growth. *Plant, Cell and Environment*. 25: 311–318.
28. Proffitt, A. P. B.; Bendotty, S.; McGarry, D. 1995. A comparison between continuous and controlled grazing on a red duplex soil. Effects on soil physical characteristics. *Soil and Tillage Research*. 35: 199-210.
29. Rovira, P.; Echeverría, J.; Soarez de Lima, J. M. 2014. Pastoreo de raigrás como cultivo de cobertura con corderos o terneros en sistemas ganadero-agrícolas. *In: Seminario de Actualización; Estrategias de Intensificación Ganadera (2014, Treinta y Tres). Trabajos presentados*. Montevideo, INIA. pp. 49-58 (Actividades de Difusión no. 734).
30. Rucks, L.; García, F.; Kaplán, A.; Ponce de León, J.; Hill, M. 2004. Propiedades físicas del suelo. Caracterización de la plasticidad del suelo. Montevideo, Facultad de Agronomía. 68 p.
31. Sarrantonio, M.; Gallandt, E. 2003. The role of cover crops in North American cropping systems. *Journal of Crop Production*. 8: 53-74.
32. Tourn, M.; Soza, E.; Hidalgo, R.; Di Marco, R. 2003. Emergencia de soja de segunda sobre trigo en siembra directa parte 2; efecto de la velocidad de avance. *Agrotecnia*. 11: 30-36
33. 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 jun. 2016. Disponible en [http://www.produccion-animal.com.ar/suelos\\_ganaderos/57-santi5.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/suelos_ganaderos/57-santi5.pdf)
34. Zamora, M.; Duhalde, J. M.; Carrasco, N.; Báez, A.; Jensen, M.; Di Nocio, L. 2002. Pastoreo de verdeos de invierno bajo siembra directa; efectos sobre el suelo y rendimiento de los cultivos posteriores. *Producción de carne*. (en línea). Tres Arroyos, Buenos Aires,

INTA. 9 p. Consultado jun. 2016. Disponible en [http://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/pasturas\\_cultivadas\\_verdeos\\_invierno/52-pastoreo.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_verdeos_invierno/52-pastoreo.pdf)

## 9 ANEXOS

### ANÁLISIS DE DATOS

A continuación se presentan los resultados del análisis estadístico de cada variable. Para simplificar el procesamiento de datos, al tratamiento de cultivo de cobertura sin pastoreo se le asignó el número 1, al pastoreo del cultivo de cobertura con 3 terneros/ha se le asignó el número 2 y al pastoreo con 6 terneros por hectárea se le asignó el número 3.

#### Densidad aparente

Análisis de la varianza:

Fecha	Estrato	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
25/04/15	0-5 cm	Densidad	45	0,05	3,9E-03	6,55

Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,01	2	3,7E-03	1,09	0,3468
Tratamiento	0,01	2	3,7E-03	1,09	0,3468
Error	0,14	42	3,4E-03		
Total	0,15	44			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,05182

Error: 0,0034 gl: 42

Tratamiento	Medias	n	E.E.
1,00	0,88	15	0,02 A
3,00	0,89	15	0,02 A
2,00	0,91	15	0,02 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

Fecha	Estrato	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
25/04/15	5-10 cm	Densidad	45	4,7E-03	0,00	5,41

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5,4E-04	2	2,7E-04	0,10	0,9061
Tratamiento	5,4E-04	2	2,7E-04	0,10	0,9061
Error	0,11	42	2,7E-03		
Total	0,11	44			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,04629

Error: 0,0027 gl: 42

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
3,00	0,96	15	0,01	A
2,00	0,96	15	0,01	A
1,00	0,97	15	0,01	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

Fecha	Estrato	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
05/11/15	0-5 cm	Densidad	45	0,08	0,03	4,60

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,01	2	0,01	1,77	0,1831
Tratamiento	0,01	2	0,01	1,77	0,1831
Error	0,13	42	3,1E-03		
Total	0,14	44			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,04936

Error: 0,0031 gl: 42

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
2,00	1,19	15	0,01	A
1,00	1,22	15	0,01	A
3,00	1,22	15	0,01	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

Fecha	Estrato	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
05/11/15	5-10 cm	Densidad	45	0,03	0,00	3,80

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2,7E-03	2	1,3E-03	0,57	0,5684
Tratamiento	2,7E-03	2	1,3E-03	0,57	0,5684
Error	0,10	42	2,3E-03		
Total	0,10	44			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,04289

Error: 0,0023 gl: 42

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
2,00	1,26	15	0,01	A
3,00	1,28	15	0,01	A
1,00	1,28	15	0,01	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

## Resistencia a la penetración

### Análisis de la varianza

<u>Fecha</u>	<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R<sup>2</sup></u>	<u>R<sup>2</sup> Aj</u>	<u>CV</u>
6/11/2015	RP 0-5 cm	90	0,20	0,18	36,73

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	3,81	2	1,90	10,64	0,0001
Tratamiento	3,81	2	1,90	10,64	0,0001
Error	15,56	87	0,18		
Total	19,36	89			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,26036

Error: 0,1788 gl: 87

<u>Tratamiento</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	
1,00	0,86	30	0,08	A
2,00	1,29	30	0,08	B
3,00	1,31	30	0,08	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

<u>Fecha</u>	<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R<sup>2</sup></u>	<u>R<sup>2</sup> Aj</u>	<u>CV</u>
6/11/2015	RP 5-10 cm	90	0,08	0,06	27,61

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	0,95	2	0,48	3,89	0,0241
Tratamiento	0,95	2	0,48	3,89	0,0241
Error	10,63	87	0,12		
Total	11,58	89			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,21518

Error: 0,1222 gl: 87

<u>Tratamiento</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	
1,00	1,12	30	0,06	A
2,00	1,32	30	0,06	A B
3,00	1,36	30	0,06	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

<u>Fecha</u>	<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R<sup>2</sup></u>	<u>R<sup>2</sup> Aj</u>	<u>CV</u>
6/11/2015	RP 10-20 cm	90	0,02	0,00	22,05

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,10	2	0,05	0,74	0,4813
Tratamiento	0,10	2	0,05	0,74	0,4813
Error	6,12	87	0,07		
Total	6,22	89			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,16325

Error: 0,0703 gl: 87

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
3,00	1,17	30	0,05	A
2,00	1,19	30	0,05	A
1,00	1,25	30	0,05	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fecha	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
6/11/2015	RP 20-30 cm	90	0,04	0,01	23,84

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,23	2	0,12	1,59	0,2091
Tratamiento	0,23	2	0,12	1,59	0,2091
Error	6,28	87	0,07		
Total	6,51	89			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,16545

Error: 0,0722 gl: 87

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
3,00	1,06	30	0,05	A
2,00	1,14	30	0,05	A
1,00	1,18	30	0,05	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fecha	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
15/12/2015	RP 0-5 cm	90	0,09	0,07	48,50

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1,65	2	0,82	4,40	0,0151
Tratamiento	1,65	2	0,82	4,40	0,0151
Error	16,29	87	0,19		
Total	17,94	89			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,26640

Error: 0,1872 gl: 87

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
3,00	0,78	30	0,08	A
1,00	0,81	30	0,08	A
2,00	1,08	30	0,08	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fecha	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
15/12/2015	RP 5-10 cm	90	0,11	0,09	40,27

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4,00	2	2,00	5,36	0,0064
Tratamiento	4,00	2	2,00	5,36	0,0064
Error	32,48	87	0,37		
Total	36,48	89			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,37616

Error: 0,3733 gl: 87

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
1,00	1,26	30	0,11	A
3,00	1,52	30	0,11	A B
2,00	1,77	30	0,11	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fecha	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
15/12/2015	RP 10-20cm	90	0,11	0,09	41,90

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4,55	2	2,28	5,23	0,0072
Tratamiento	4,55	2	2,28	5,23	0,0072
Error	37,88	87	0,44		
Total	42,43	89			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,40624

Error: 0,4354 gl: 87

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
1,00	1,29	30	0,12	A
3,00	1,60	30	0,12	A B
2,00	1,84	30	0,12	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fecha	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
15/12/2015	RP 20-30 cm	90	0,05	0,02	37,08

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,90	2	0,45	2,13	0,1249
Tratamiento	0,90	2	0,45	2,13	0,1249
Error	18,38	87	0,21		
Total	19,29	89			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,28302

Error: 0,2113 gl: 87

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
1,00	1,10	30	0,08	A
2,00	1,31	30	0,08	A
3,00	1,32	30	0,08	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fecha	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
21/1/2016	RP 0-5 cm	90	0,03	4,8E-03	69,42

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1,21	2	0,61	1,21	0,3024
Tratamiento	1,21	2	0,61	1,21	0,3024
Error	43,54	87	0,50		
Total	44,75	89			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,43553

Error: 0,5004 gl: 87

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
3,00	0,86	30	0,13	A
1,00	1,08	30	0,13	A
2,00	1,12	30	0,13	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fecha	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
21/1/2016	RP 5-10 cm	90	0,04	0,02	55,12

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4,64	2	2,32	2,03	0,1371
Tratamiento	4,64	2	2,32	2,03	0,1371
Error	99,38	87	1,14		
Total	104,02	89			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,65802

Error: 1,1423 gl: 87

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
3,00	1,62	30	0,20	A
1,00	2,08	30	0,20	A
2,00	2,12	30	0,20	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fecha	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
21/1/2016	RP 10-20 cm	90	0,08	0,06	43,49

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	7,51	2	3,75	3,82	0,0258
Tratamiento	7,51	2	3,75	3,82	0,0258
Error	85,57	87	0,98		
Total	93,08	89			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,61058

Error: 0,9835 gl: 87

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
3,00	1,93	30	0,18	A
2,00	2,27	30	0,18	A B
1,00	2,64	30	0,18	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fecha	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
21/1/2016	RP 20-30 cm	90	0,04	0,02	38,99

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	3,37	2	1,68	1,92	0,1525
Tratamiento	3,37	2	1,68	1,92	0,1525
Error	76,24	87	0,88		
Total	79,61	89			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,57635

Error: 0,8763 gl: 87

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
2,00	2,23	30	0,17	A
3,00	2,30	30	0,17	A
1,00	2,67	30	0,17	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fecha	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
16/2/2016	RP 0-5 cm	89	0,01	0,00	68,71

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,32	2	0,16	0,31	0,7360
Tratamiento	0,32	2	0,16	0,31	0,7360
Error	44,52	86	0,52		
Total	44,84	88			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,44559

Error: 0,5176 gl: 86

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
1,00	0,97	30	0,13	A
3,00	1,05	29	0,13	A
2,00	1,12	30	0,13	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fecha	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
16/2/2016	RP 5-10 cm	89	0,01	0,00	54,92

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,64	2	0,32	0,30	0,7445
Tratamiento	0,64	2	0,32	0,30	0,7445
Error	93,39	86	1,09		
Total	94,03	88			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,64537

Error: 1,0859 gl: 86

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
1,00	1,80	30	0,19	A
3,00	1,88	29	0,19	A
2,00	2,01	30	0,19	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fecha	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
16/2/2016	RP 10-20 cm	89	1,1E-03	0,00	38,15

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,09	2	0,05	0,05	0,9525
Tratamiento	0,09	2	0,05	0,05	0,9525
Error	80,26	86	0,93		
Total	80,35	88			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,59831

Error: 0,9333 gl: 86

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
2,00	2,49	30	0,18	A
1,00	2,53	30	0,18	A
3,00	2,57	29	0,18	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Fecha	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
16/2/2016	RP 20-30 cm	89	0,01	0,00	34,60

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,49	2	0,25	0,28	0,7601
Tratamiento	0,49	2	0,25	0,28	0,7601
Error	77,14	86	0,90		
Total	77,64	88			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,58657

Error: 0,8970 gl: 86

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
2,00	2,68	30	0,17	A
3,00	2,69	29	0,18	A
1,00	2,84	30	0,17	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

RP 0-5 cm

Fecha	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
23/2/2016	RP 0-5 cm	90	0,02	0,00	49,34

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,33	2	0,17	0,66	0,5176
Tratamiento	0,33	2	0,17	0,66	0,5176
Error	21,64	87	0,25		
Total	21,97	89			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,30704

Error: 0,2487 gl: 87

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
2,00	0,95	30	0,09	A
1,00	0,98	30	0,09	A
3,00	1,09	30	0,09	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

RP 5-10 cm

Fecha	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
23/2/2016	RP 5-10 cm	90	0,01	0,00	31,49

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,18	2	0,09	0,34	0,7145
Tratamiento	0,18	2	0,09	0,34	0,7145
Error	22,99	87	0,26		
Total	23,17	89			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,31651

Error: 0,2643 gl: 87

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
1,00	1,58	30	0,09	A
2,00	1,62	30	0,09	A
3,00	1,69	30	0,09	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

RP 10-20 cm

Fecha	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
23/2/2016	RP 10-20 cm	90	0,04	0,01	26,17

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,57	2	0,28	1,59	0,2102
Tratamiento	0,57	2	0,28	1,59	0,2102
Error	15,55	87	0,18		
Total	16,11	89			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,26025

Error: 0,1787 gl: 87

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
3,00	1,54	30	0,08	A
2,00	1,58	30	0,08	A
1,00	1,73	30	0,08	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

RP 20-30 cm

Fecha	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
23/2/2016	RP 20-30 cm	90	0,04	0,02	33,27

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,84	2	0,42	1,86	0,1619
Tratamiento	0,84	2	0,42	1,86	0,1619
Error	19,73	87	0,23		
Total	20,58	89			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,29321

Error: 0,2268 gl: 87

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
2,00	1,30	30	0,09	A
3,00	1,48	30	0,09	A
1,00	1,52	30	0,09	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

RP 0-5 cm

Fecha	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
10/3/2016	RP 0-5 cm	90	0,08	0,06	58,68

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2,66	2	1,33	3,72	0,0282
Tratamiento	2,66	2	1,33	3,72	0,0282
Error	31,06	87	0,36		
Total	33,72	89			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,36789

Error: 0,3571 gl: 87

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
3,00	0,89	30	0,11	A	
1,00	0,90	30	0,11	A	B
2,00	1,26	30	0,11		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

RP 5-10 cm

Fecha	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
10/3/2016	RP 5-10 cm	90	0,11	0,09	41,34

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	6,19	2	3,09	5,58	0,0053
Tratamiento	6,19	2	3,09	5,58	0,0053
Error	48,26	87	0,55		
Total	54,45	89			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,45854

Error: 0,5547 gl: 87

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
3,00	1,56	30	0,14	A	
1,00	1,68	30	0,14	A	
2,00	2,17	30	0,14		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

RP 10-20 cm

Fecha	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
10/3/2016	RP 10-20 cm	90	0,05	0,03	32,30

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2,16	2	1,08	2,18	0,1189
Tratamiento	2,16	2	1,08	2,18	0,1189
Error	43,00	87	0,49		
Total	45,15	89			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,43282

Error: 0,4942 gl: 87

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
3,00	1,97	30	0,13	A
1,00	2,23	30	0,13	A
2,00	2,33	30	0,13	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

RP 20-30 cm

Fecha	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
10/3/2016	RP 20-30 cm	90	0,05	0,03	31,33

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2,19	2	1,10	2,49	0,0884
Tratamiento	2,19	2	1,10	2,49	0,0884
Error	38,27	87	0,44		
Total	40,47	89			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,40834

Error: 0,4399 gl: 87

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
3,00	1,93	30	0,12	A
2,00	2,11	30	0,12	A
1,00	2,31	30	0,12	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

RP 0-5 cm

Fecha	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
31/3/2016	RP 0-5 cm	90	0,06	0,04	48,13

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
------	----	----	----	---	---------

Modelo.	0,64	2	0,32	2,65	0,0765
Tratamiento	0,64	2	0,32	2,65	0,0765
Error	10,48	87	0,12		
Total	11,12	89			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,21373

Error: 0,1205 gl: 87

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
3,00	0,64	30	0,06	A
2,00	0,68	30	0,06	A
1,00	0,84	30	0,06	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

RP 5-10 cm

Fecha	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
31/3/2016	RP 5-10 cm	90	0,11	0,08	45,59

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2,54	2	1,27	5,11	0,0080
Tratamiento	2,54	2	1,27	5,11	0,0080
Error	21,64	87	0,25		
Total	24,18	89			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,30707

Error: 0,2488 gl: 87

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
3,00	0,94	30	0,09	A
2,00	1,01	30	0,09	A
1,00	1,33	30	0,09	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

RP 10-20 cm

Fecha	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
31/3/2016	RP 10-20 cm	90	0,12	0,10	37,64

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2,53	2	1,26	6,01	0,0036
Tratamiento	2,53	2	1,26	6,01	0,0036

Error	18,28	87	0,21
Total	20,80	89	

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,28220

Error: 0,2101 gl: 87

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
2,00	1,09	30	0,08	A
3,00	1,11	30	0,08	A
1,00	1,45	30	0,08	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

RP 20-30 cm

Fecha	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
31/3/2016	RP 20-30 cm	90	0,05	0,03	37,58

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1,06	2	0,53	2,37	0,0994
Tratamiento	1,06	2	0,53	2,37	0,0994
Error	19,44	87	0,22		
Total	20,49	89			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,29099

Error: 0,2234 gl: 87

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
3,00	1,13	30	0,09	A
2,00	1,26	30	0,09	A
1,00	1,39	30	0,09	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

RP 0-5 cm

Fecha	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
21/4/2016	RP 0-5 cm	180	0,01	0,00	42,17

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,03	2	0,02	0,62	0,5411
Tratamiento	0,03	2	0,02	0,62	0,5411
Error	4,37	177	0,02		
Total	4,40	179			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,06737

Error: 0,0247 gl: 177

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
1,00	0,35	60	0,02	A
3,00	0,38	60	0,02	A
2,00	0,38	60	0,02	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

RP 5-10 cm

Fecha	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
21/4/2016	RP 5-10 cm	180	0,03	0,02	32,98

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,27	2	0,13	3,02	0,0514
Tratamiento	0,27	2	0,13	3,02	0,0514
Error	7,88	177	0,04		
Total	8,15	179			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,09044

Error: 0,0445 gl: 177

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
3,00	0,59	60	0,03	A
2,00	0,65	60	0,03	A B
1,00	0,68	60	0,03	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

RP 10-20 cm

Fecha	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
21/4/2016	RP 10-20 cm	180	0,03	0,01	24,64

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,20	2	0,10	2,34	0,0990
Tratamiento	0,20	2	0,10	2,34	0,0990
Error	7,68	177	0,04		
Total	7,89	179			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,08928

Error: 0,0434 gl: 177

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
3,00	0,80	60	0,03	A
2,00	0,85	60	0,03	A
1,00	0,88	60	0,03	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

RP 20-30 cm

Fecha	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
21/4/2016	RP 20-30 cm	180	8,1E-04	0,00	28,26

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,01	2	0,01	0,07	0,9307
Tratamiento	0,01	2	0,01	0,07	0,9307
Error	15,26	177	0,09		
Total	15,28	179			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,12584

Error: 0,0862 gl: 177

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
2,00	1,03	60	0,04	A
1,00	1,04	60	0,04	A
3,00	1,05	60	0,04	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Humedad gravimétrica

Análisis de la varianza

Fecha	Estrato	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
15/12/2015	0-10 cm	Humedad	9	0,38	0,17	7,97

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	11,63	2	5,81	1,83	0,2398
Tratamiento	11,63	2	5,81	1,83	0,2398
Error	19,07	6	3,18		
Total	30,70	8			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=4,46662

Error: 3,1788 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	E.E.
1,00	23,97	3	1,03 A
2,00	21,61	3	1,03 A
3,00	21,52	3	1,03 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fecha	Estrato	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
15/12/2015	10-20 cm	Humedad	9	0,14	0,00	32,84

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	57,06	2	28,53	0,50	0,6299
Tratamiento	57,06	2	28,53	0,50	0,6299
Error	342,57	6	57,10		
Total	399,64	8			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=18,92998

Error: 57,0957 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	E.E.
3,00	25,04	3	4,36 A
2,00	24,52	3	4,36 A
1,00	19,46	3	4,36 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fecha	Estrato	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
15/12/2015	20-30 cm	Humedad	9	0,28	0,04	7,63

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	11,53	2	5,76	1,19	0,3682
Tratamiento	11,53	2	5,76	1,19	0,3682
Error	29,16	6	4,86		
Total	40,69	8			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=5,52336

Error: 4,8608 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	E.E.
1,00	30,40	3	1,27 A
2,00	28,61	3	1,27 A
3,00	27,68	3	1,27 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fecha	Estrato	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
23/2/2016	0-10 cm	Humedad	9	0,06	0,00	6,02

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,47	2	0,24	0,19	0,8330
Tratamiento	0,47	2	0,24	0,19	0,8330
Error	7,52	6	1,25		
Total	8,00	8			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=2,80523

Error: 1,2538 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	E.E.
3,00	18,91	3	0,65 A
2,00	18,45	3	0,65 A
1,00	18,40	3	0,65 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fecha	Estrato	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
23/2/2016	10-20 cm	Humedad	9	0,23	0,00	5,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1,81	2	0,90	0,91	0,4526
Tratamiento	1,81	2	0,90	0,91	0,4526
Error	5,98	6	1,00		
Total	7,78	8			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=2,50037

Error: 0,9961 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	E.E.
2,00	20,54	3	0,58 A
3,00	19,83	3	0,58 A
1,00	19,46	3	0,58 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fecha	Estrato	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
-------	---------	----------	---	----------------	-------------------	----

23/2/2016 20-30 cm Humedad 9 0,17 0,00 6,80

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	2,85	2	1,43	0,62	0,5681
Tratamiento	2,85	2	1,43	0,62	0,5681
Error	13,76	6	2,29		
<u>Total</u>	<u>16,61</u>	<u>8</u>			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=3,79391

Error: 2,2934 gl: 6

<u>Tratamiento</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	
2,00	23,06	3	0,87	A
1,00	22,02	3	0,87	A
3,00	21,76	3	0,87	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fecha Estrato Variable N R<sup>2</sup> R<sup>2</sup> Aj CV  
4/3/2016 0-10 cm Humedad 9 0,04 0,00 8,62

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	0,63	2	0,32	0,14	0,8731
Tratamiento	0,63	2	0,32	0,14	0,8731
Error	13,68	6	2,28		
<u>Total</u>	<u>14,31</u>	<u>8</u>			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=3,78218

Error: 2,2792 gl: 6

<u>Tratamiento</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	
1,00	17,86	3	0,87	A
3,00	17,49	3	0,87	A
2,00	17,21	3	0,87	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fecha Estrato Variable N R<sup>2</sup> R<sup>2</sup> Aj CV  
4/3/2016 10-20 cm Humedad 9 0,08 0,00 7,18

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	0,90	2	0,45	0,24	0,7909

Tratamiento	0,90	2	0,45	0,24	0,7909
Error	11,05	6	1,84		
Total	11,95	8			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=3,39930

Error: 1,8411 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
2,00	19,30	3	0,78	A
1,00	18,84	3	0,78	A
3,00	18,54	3	0,78	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fecha	Estrato	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
4/3/2016	20-30 cm	Humedad	9	0,02	0,00	14,05

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,93	2	0,46	0,05	0,9489
Tratamiento	0,93	2	0,46	0,05	0,9489
Error	52,59	6	8,76		
Total	53,52	8			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=7,41691

Error: 8,7649 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
1,00	21,37	3	1,71	A
3,00	21,21	3	1,71	A
2,00	20,62	3	1,71	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fecha	Estrato	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
21/3/2016	0-10 cm	Humedad	9	0,18	0,00	27,66

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	20,98	2	10,49	0,64	0,5608
Tratamiento	20,98	2	10,49	0,64	0,5608
Error	98,68	6	16,45		
Total	119,66	8			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=10,15996

Error: 16,4470 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	E.E.
3,00	16,67	3	2,34 A
2,00	14,35	3	2,34 A
1,00	12,97	3	2,34 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fecha	Estrato	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
21/3/2016	10-20 cm	Humedad	9	0,09	0,00	14,18

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	3,05	2	1,53	0,29	0,7612
Tratamiento	3,05	2	1,53	0,29	0,7612
Error	32,05	6	5,34		
Total	35,11	8			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=5,79044

Error: 5,3423 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	E.E.
2,00	17,01	3	1,33 A
1,00	16,29	3	1,33 A
3,00	15,59	3	1,33 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fecha	Estrato	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
21/3/2016	20-30 cm	Humedad	9	0,47	0,30	9,40

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	16,13	2	8,06	2,70	0,1456
Tratamiento	16,13	2	8,06	2,70	0,1456
Error	17,90	6	2,98		
Total	34,03	8			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=4,32720

Error: 2,9834 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	E.E.
2,00	20,11	3	1,00 A
1,00	18,15	3	1,00 A

3,00                      16,86    3   1,00    A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

<u>Fecha</u>	<u>Estrato</u>	<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R<sup>2</sup></u>	<u>R<sup>2</sup> Aj</u>	<u>CV</u>
31/3/2016	0-10 cm	Humedad	9	0,25	4,7E-03	22,81

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	23,71	2	11,85	1,02	0,4159
Tratamiento	23,71	2	11,85	1,02	0,4159
Error	69,80	6	11,63		
Total	93,50	8			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=8,54452

Error: 11,6326 gl: 6

<u>Tratamiento</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	
2,00	17,20	3	1,97	A
1,00	14,22	3	1,97	A
3,00	13,43	3	1,97	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

<u>Fecha</u>	<u>Estrato</u>	<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R<sup>2</sup></u>	<u>R<sup>2</sup> Aj</u>	<u>CV</u>
31/3/2016	10-20 cm	Humedad	9	0,47	0,29	15,37

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	27,79	2	13,90	2,67	0,1482
Tratamiento	27,79	2	13,90	2,67	0,1482
Error	31,23	6	5,21		
Total	59,03	8			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=5,71580

Error: 5,2054 gl: 6

<u>Tratamiento</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	
2,00	17,31	3	1,32	A
3,00	13,84	3	1,32	A
1,00	13,38	3	1,32	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fecha	Estrato	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
31/3/2016	20-30 cm	Humedad	9	0,05	0,00	31,09

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	7,58	2	3,79	0,15	0,8658
Tratamiento	7,58	2	3,79	0,15	0,8658
Error	154,02	6	25,67		
Total	161,60	8			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=12,69312

Error: 25,6708 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	E.E.
2,00	17,47	3	2,93 A
1,00	16,19	3	2,93 A
3,00	15,23	3	2,93 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fecha	Estrato	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
21/4/2016	0-10 cm	Humedad	9	0,16	0,00	39,93

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	104,63	2	52,32	0,56	0,5978
Tratamiento	104,63	2	52,32	0,56	0,5978
Error	559,27	6	93,21		
Total	663,90	8			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=24,18704

Error: 93,2112 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	E.E.
2,00	28,03	3	5,57 A
3,00	24,76	3	5,57 A
1,00	19,74	3	5,57 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fecha	Estrato	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
21/4/2016	10-20 cm	Humedad	9	0,09	0,00	12,04

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
------	----	----	----	---	---------

Modelo.	5,57	2	2,78	0,31	0,7460
Tratamiento	5,57	2	2,78	0,31	0,7460
Error	54,29	6	9,05		
Total	59,86	8			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=7,53583

Error: 9,0483 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
2,00	26,10	3	1,74	A
3,00	24,47	3	1,74	A
1,00	24,39	3	1,74	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fecha	Estrato	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
21/4/2016	20-30 cm	Humedad	9	0,28	0,04	27,39

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	112,03	2	56,01	1,15	0,3766
Tratamiento	112,03	2	56,01	1,15	0,3766
Error	291,12	6	48,52		
Total	403,15	8			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=17,45055

Error: 48,5200 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
2,00	28,04	3	4,02	A
1,00	27,81	3	4,02	A
3,00	20,45	3	4,02	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

## Rugosidad

Análisis de la varianza

Fecha	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
8/12/15	Desvío	45	0,04	0,00	36,97

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,14	2	0,07	0,86	0,4293
Tratamiento	0,14	2	0,07	0,86	0,4293

Error	3,37	42	0,08
Total	3,51	44	

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,25121

Error: 0,0802 gl: 42

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
3,00	0,69	15	0,07	A
2,00	0,78	15	0,07	A
1,00	0,83	15	0,07	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

### Implantación

#### Análisis de la varianza

Fecha	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
24/11/15	mil pl.ha-1	90	0,03	0,01	13,61

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4112563481,07	2	2056281740,54	1,40	0,2511
Tratamiento	4112563481,07	2	2056281740,54	1,40	0,2511
Error	127428511657,43	87	1464695536,29		
Total	131541075138,50	89			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS= 23562,51581

Error: 1464695536,2923 gl: 87

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
1,00	272916,67	30	6987,36	A
2,00	281359,65	30	6987,36	A
3,00	289473,68	30	6987,36	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fecha	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
7/12/15	mil pl.ha-1	90	0,19	0,17	18,93

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	47420600569,41	2	23710300284,70	10,06	0,0001
Tratamiento	47420600569,41	2	23710300284,70	10,06	0,0001
Error	205078846375,81	87	2357228119,26		
Total	252499446945,21	89			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=29891,57415

Error: 2357228119,2622 gl: 87

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
1,00	224342,11	30	8864,21	A
3,00	269078,95	30	8864,21	B
2,00	276206,14	30	8864,21	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

### Fenología

Para realizar el análisis estadístico de los registros del estado fenológico se estableció una escala la cual se detalla a continuación:

Ve=0, Vc=1, V1=2, V2=3, V3=4, V4=5

### Análisis de la varianza

Fecha	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
24/11/15	Fenología	90	0,02	0,00	15,71

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,03	2	0,02	0,77	0,4653
Tratamiento	0,03	2	0,02	0,77	0,4653
Error	1,94	87	0,02		
Total	1,97	89			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,09190

Error: 0,0223 gl: 87

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
3,00	0,97	30	0,03	A
2,00	0,95	30	0,03	A
1,00	0,92	30	0,03	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fecha	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
7/12/15	Fenología	90	0,11	0,09	8,49

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,96	2	0,48	5,19	0,0074
Tratamiento	0,96	2	0,48	5,19	0,0074

Error	8,01	87	0,09
Total	8,96	89	

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,18679

Error: 0,0920 gl: 87

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
2,00	3,65	30	0,06	A
3,00	3,65	30	0,06	A
1,00	3,43	30	0,06	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

### Altura

#### Análisis de la varianza

Fecha	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
7/12/15	Altura (cm)	90	0,13	0,11	11,56

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	26,54	2	13,27	6,52	0,0023
Tratamiento	26,54	2	13,27	6,52	0,0023
Error	176,99	87	2,03		
Total	203,52	89			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,87813

Error: 2,0343 gl: 87

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
1,00	12,95	30	0,26	A
2,00	12,44	30	0,26	A B
3,00	11,63	30	0,26	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fecha	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
21/01/16	Altura (cm)	90	0,04	0,02	13,51

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	187,47	2	93,73	1,98	0,1443
Tratamiento	187,47	2	93,73	1,98	0,1443
Error	4120,13	87	47,36		
Total	4307,60	89			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=4,23686

Error: 47,3579 gl: 87

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
3,00	52,67	30	1,26	A
2,00	51,00	30	1,26	A
1,00	49,13	30	1,26	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fecha	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
29/04/16	Altura (cm)	108	1,5E-03	0,00	10,98

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5,68	2	2,84	0,08	0,9258
Tratamiento	5,68	2	2,84	0,08	0,9258
Error	3863,30	105	36,79		
Total	3868,97	107			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=3,39900

Error: 36,7933 gl: 105

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
1,00	54,95	36	1,01	A
3,00	55,25	36	1,01	A
2,00	55,51	36	1,01	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

## Rendimiento

Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Rendimiento	108	0,02	0,01	14,62

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	855485,18	2	427742,59	1,30	0,2778
Tratamiento	855485,18	2	427742,59	1,30	0,2778
Error	34636253,76	105	329869,08		
Total	35491738,94	107			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=321,83835

Error: 329869,0835 gl: 105

Tratamiento	Medias	n	E.E.
3,00	3803,64	36	95,72 A
2,00	3972,31	36	95,72 A
1,00	4007,58	36	95,72 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

### Componentes de rendimiento

Análisis de la varianza

No. Plantas (mil plantas/ha)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Mil pl.ha-1	108	0,14	0,12	12,10

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	17536846273,21	2	8768423136,61	8,34	0,0004
Tratamiento	17536846273,21	2	8768423136,61	8,34	0,0004
Error	110345851608,19	105	1050912872,46		
Total	127882697881,40	107			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=18165,62481

Error: 1050912872,4589 gl: 105

Tratamiento	Medias	n	E.E.
1,00	251736,11	36	5402,96 B
2,00	268914,47	36	5402,96 A B
3,00	282894,74	36	5402,96 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

No. de granos/planta:

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
No. de granos/planta	540	0,06	0,06	41,77

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	45570,63	2	22785,32	16,96	<0,0001
Tratamiento	45570,63	2	22785,32	16,96	<0,0001
Error	721511,55	537	1343,60		

Total 767082,18 539

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=9,06909

Error: 1343,5969 gl: 537

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
1,00	100,05	180	2,73	A
2,00	85,27	180	2,73	B
3,00	77,97	180	2,73	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Vainas/planta (sin incluir vainas vanas)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Vainas/planta	540	0,06	0,06	40,95

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	11976,54	2	5988,27	18,64	<0,0001
Tratamiento	11976,54	2	5988,27	18,64	<0,0001
Error	172514,06	537	321,26		
Total	184490,60	539			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=4,43460

Error: 321,2552 gl: 537

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
1,00	49,92	180	1,34	A
2,00	42,91	180	1,34	B
3,00	38,48	180	1,34	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Granos/vaina

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Granos/vaina	540	3,3E-03	0,00	16,65

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,20	2	0,10	0,88	0,4172
Tratamiento	0,20	2	0,10	0,88	0,4172
Error	60,45	537	0,11		
Total	60,64	539			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,08301

Error: 0,1126 gl: 537

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
2,00	1,99	180	0,03	A
1,00	2,02	180	0,03	A
3,00	2,04	180	0,03	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Vainas vanas

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Vainas vanas	540	0,02	0,01	107,94

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	45,29	2	22,65	4,38	0,0130
Tratamiento	45,29	2	22,65	4,38	0,0130
Error	2778,48	537	5,17		
Total	2823,77	539			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=0,56279

Error: 5,1741 gl: 537

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
2,00	2,52	180	0,17	A
1,00	1,92	180	0,17	B
3,00	1,89	180	0,17	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Peso de mil granos:

Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
PMG	108	0,18	0,16	5,06

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2690,08	2	1345,04	11,53	<0,0001
Tratamiento	2690,08	2	1345,04	11,53	<0,0001
Error	12247,75	105	116,65		
Total	14937,83	107			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=6,05202

Error: 116,6452 gl: 105

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
2,00	208,71	36	1,80	B
1,00	211,75	36	1,80	B
3,00	220,49	36	1,80	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

### Cobertura

Análisis de la varianza

Fecha	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
26/11/15	Cobertura	90	0,39	0,38	29,45

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	27073,95	2	13536,97	28,10	<0,0001
Tratamiento	27073,95	2	13536,97	28,10	<0,0001
Error	41904,98	87	481,67		
Total	68978,93	89			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=13,51205

Error: 481,6664 gl: 87

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
1,00	92,72	30	4,01	A
2,00	79,69	30	4,01	A
3,00	51,19	30	4,01	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fecha	Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
08/12/15	Cobertura	90	0,30	0,28	20,04

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	10990,63	2	5495,32	18,61	<0,0001
Tratamiento	10990,63	2	5495,32	18,61	<0,0001
Error	25691,93	87	295,31		
Total	36682,56	89			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=10,58002

Error: 295,3095 gl: 87

Tratamiento	Medias	n	E.E.
-------------	--------	---	------

1,00	95,79	30	3,14	A
2,00	91,12	30	3,14	A
3,00	70,37	30	3,14	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

### Enmalezamiento

Análisis de la varianza del enmalezamiento (Kg MS/ha):

<u>Fecha</u>	<u>N</u>	<u>R<sup>2</sup></u>	<u>R<sup>2</sup> Aj</u>	<u>CV</u>
09/12/16	180	0,14	0,13	118,96

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	360236,89	2	180118,44	14,83	<0,0001
Tratamiento	360236,89	2	180118,44	14,83	<0,0001
Error	2149418,46	177	12143,61		
Total	2509655,35	179			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=47,22410

Error: 12143,6071 gl: 177

<u>Tratamiento</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	
1,00	53,94	60	14,23	A
2,00	68,63	60	14,23	A
3,00	155,33	60	14,23	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

<u>Fecha</u>	<u>N</u>	<u>R<sup>2</sup></u>	<u>R<sup>2</sup> Aj</u>	<u>CV</u>
18/04/16	180	0,02	0,01	307,19

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	4405915,73	2	2202957,87	1,85	0,1604
Tratamiento	4405915,73	2	2202957,87	1,85	0,1604
Error	210886580,27	177	1191449,61		
Total	215292496,00	179			

Test: tukey Alfa=0,05 DMS=467,76495

Error: 1191449,6060 gl: 177

<u>Tratamiento</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	
1,00	140,93	60	140,92	A
3,00	415,20	60	140,92	A
2,00	509,87	60	140,92	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )