

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EFFECTO DE LA CARGA ANIMAL Y MEZCLA FORRAJERA SOBRE
PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DEL SUELO Y LA PRODUCTIVIDAD DE
LA PASTURA**

por

María Florencia MARANGES BORDABEHERE

Amaro Alejandro NADAL FIANDRA

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

MONTEVIDEO

URUGUAY

2015

Tesis aprobada por:

Director: _____
Ing. Agr. MSc. Ramiro Zanoniani

Ing. Agr. PhD. Pablo Boggiano

Ing. Agr. Alfredo Silbermann.

Fecha: 4 de mayo de 2015

Autor: _____
María Florencia Maranges

Amaro Nadal

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Agronomía por permitirnos acceder a nuestra formación académica.

A nuestro director de tesis Ing. Agr. MSc. Ramiro Zanoniani por confiarnos la elaboración de este trabajo de tesis y por el incondicional apoyo brindado en todas las instancias durante la elaboración del mismo.

Al personal de laboratorio por la invaluable ayuda brindada durante el trabajo de campo.

A nuestras familias por el apoyo que nos brindaron durante los cinco años de la carrera.

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>	3
2.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS ESPECIES Y CULTIVARES QUE COMPONEN LA MEZCLA.....	3
2.1.1 <u>Festuca arundinacea</u>	3
2.1.2 <u>Dactylis glomerata</u>	5
2.1.3 <u>Trifolium repens</u>	7
2.1.4 <u>Lotus corniculatus</u>	9
2.1.5 <u>Medicago sativa</u>	11
2.2 MEZCLAS FORRAJERAS.....	13
2.2.1 <u>Componentes de la mezcla</u>	14
2.2.2 <u>Importancia de la mezcla de especies</u>	15
2.3 MEZCLAS DE LA TESIS	17
2.3.1 <u>Dactylis glomerata y Medicago Sativa</u>	17
2.3.2 <u>Trifolium repens- Lotus corniculatus- Festuca arundinacea</u>	18
2.4 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SUELO.....	19
2.5 COMPACTACIÓN DEL SUELO Y SU EFECTO EN LA PRODUCTIVIDAD Y FISIOLOGÍA VEGETAL.....	21
2.5.1 <u>Importancia y efecto de la compactación del suelo</u>	21
2.5.2 <u>Efectos de la compactación en el comportamiento vegetal</u>	22
2.6 MANEJO DE LA CARGA.....	24
2.7 EFECTO DE LAS PRADERAS EN LAS PROPIEDADES DEL SUELO.....	24
2.7.1 <u>Efectos del sistema radicular de las pasturas en las propiedades físicas del suelo</u>	26
2.7.2 <u>Efecto sobre la materia orgánica</u>	27
2.8 EFECTO DEL PASTOREO EN EL SISTEMA.....	27

2.8.1	<u>Aspectos generales</u>	28
2.8.2	<u>Parámetros que definen el pastoreo</u>	28
2.8.2.1	Intensidad.....	28
2.8.2.2	Frecuencia.....	29
2.8.3	<u>Efectos sobre las especies que componen la mezcla</u>	30
3.	<u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	34
3.1	CONDICIONES EXPERIMENTALES GENERALES...	34
3.1.1	<u>Ubicación y período experimental</u>	34
3.1.2	<u>Descripción del sitio experimental</u>	34
3.1.3	<u>Antecedentes del área experimental</u>	34
3.1.4	<u>Tratamientos</u>	35
3.1.5	<u>Diseño experimental</u>	36
3.2	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	37
3.2.1	<u>Variables estudiadas</u>	37
3.2.1.1	Infiltración.....	37
3.2.1.2	Carbono orgánico-potasio-fósforo....	37
3.2.1.3	Densidad aparente.....	38
3.2.1.4	Forraje disponible.....	38
3.2.1.5	Raíces.....	38
3.3	HIPÓTESIS.....	39
3.3.1	<u>Hipótesis biológica</u>	39
3.3.2	<u>Hipótesis estadística</u>	39
3.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	39
3.4.1	<u>Modelo estadístico</u>	39
4.	<u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	41
4.1	CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DEL PERÍODO DE EVALUACIÓN.....	41
4.1.1	<u>Temperatura</u>	41
4.1.2	<u>Precipitaciones</u>	42
4.1.3	<u>Balace hídrico</u>	43
4.1.4	<u>Efecto de las precipitaciones sobre la infiltración</u> ...	45
4.2	PARÁMETROS DEL SUELO Y DE LAS PASTURAS ESTUDIADOS.....	47
4.2.1	<u>Carbono orgánico de 0 a 5 cm</u>	47
4.2.2	<u>Carbono orgánico de 5 a 10 cm</u>	48
4.2.3	<u>Carbono orgánico de 10 a 20 cm</u>	50
4.2.4	<u>Fósforo</u>	51
4.2.5	<u>Potasio</u>	54
4.2.6	<u>Densidad aparente</u>	55
4.2.7	<u>Producción de forraje inicial</u>	57

4.2.8	<u>Infiltración</u>	58
4.2.9	<u>Raíces de 0 a 20 cm</u>	60
4.2.10	<u>Raíces de 20 cm a más profundidad de suelo</u>	60
4.2.11	<u>Raíces totales en el perfil</u>	61
5.	<u>CONCLUSIONES</u>	65
5.1	<u>CONSIDERACIONES FINALES</u>	65
6.	<u>RESUMEN</u>	69
7.	<u>SUMMARY</u>	71
8.	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	73
9.	<u>ANEXOS</u>	82

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Producción de forraje anual y acumulada de <i>Festuca arundinacea</i> cv. Tacuabé (kg/ha/año de MS).....	5
2. Producción de forraje estacional de <i>Trifolium repens</i> cv. Zapicán (kg/ha de MS).....	9
3. Producción de forraje estacional de <i>Lotus corniculatus</i> cv. San Gabriel (kg/ha de MS) evaluada en dos años.....	11
4. Producción de forraje anual y acumulada de <i>Medicago sativa</i> cv. Chaná (kg/ha de MS) para tres años de evaluación.....	13
5. Intensidad de pastoreo para cuatro especies de interés.....	29
6. Porcentaje de carbono orgánico en la fracción de 0 a 5 cm según tratamiento.....	46
7. Porcentaje de carbono orgánico en la fracción de 5 a 10 cm según tratamiento	48
8. Porcentaje de suelo descubierto promedio según tratamiento.....	49
9. Porcentaje de carbono orgánico en la fracción de 10 a 20 cm según tratamiento	50
10. Fósforo (ppm) según tratamiento de 0 a 5 cm de suelo.....	51
11. Contenido de fósforo (ppm) según tratamiento de 5 a 10 cm de suelo.....	52
12. Contenido de fósforo (ppm) según tratamiento de 10 a 20 cm de suelo.....	53
13. Potasio de 0 a 5 cm de suelo según tratamiento.....	54

14. Potasio de 5 a 10 cm de suelo según tratamiento.....	54
15. Densidad aparente (g/cm^3) según tratamiento para los diferentes estratos de suelo estudiados.....	56
16. Resultados de materia seca según tratamiento.....	57
17. Primer medida de infiltración (segundos) para los diferentes tratamientos.....	58
18. Segunda medida de infiltración para los diferentes tratamientos y análisis de varianza.....	59
19. Peso de raíces presentes en la fracción de 0 a 20 cm de suelo.....	60
20. Raíces presentes en la profundidad de 20 cm a más del suelo.....	61
Figura No.	
1. Croquis del diseño experimental.....	36
2. Temperatura media de la serie histórica en Paysandú y del período experimental en la EEMAC según mes.....	41
3. Precipitaciones de la serie histórica y del período experimental para la EEMAC según mes.....	42
4. Balance hídrico del período experimental para la EEMAC según mes.....	44
5. Precipitaciones del mes de marzo de 2014 en la EEMAC, Paysandú.....	46
6. Valores de potasio ($\text{meq}/100 \text{ g}$ de suelo) en la fracción de 10 a 20 cm de suelo según tratamiento.....	55
7. Raíces totales en el perfil del suelo según tratamiento.....	63

1. INTRODUCCIÓN

La producción de forraje en el Uruguay se basa en diferentes alternativas desde las más extensivas tales como pasturas naturales y mejoramientos, hasta las más intensivas como pasturas implantadas o verdeos. En los últimos años, dado el importante avance de la agricultura favorecido por altos precios, la producción de forraje se vio desplazada de forma significativa a zonas más marginales. Luego de la implementación obligatoria de los planes de uso y manejo de suelo, y la caída de precios de los granos, el área agrícola se vio disminuida. Las pasturas sembradas, en este marco anteriormente mencionado cobraron relevancia, y se espera que el área continúe creciendo.

Es muy común el uso de mezclas forrajeras tipo multipropósito formadas por tres o cuatro especies complementarias, intentando una buena distribución estacional. Las pasturas cultivadas mixtas suponen la sustitución total de la vegetación presente, la preparación de una buena sementera, el agregado de nutrientes y la siembra de mezclas forrajeras compuestas por gramíneas y leguminosas. Uno de los objetivos es lograr de ellas los máximos rendimientos de materia seca por hectárea, explotando las ventajas y bondades que ofrecen ambas familias (Carámbula, 2004). Es fundamental conocer cuál es el aporte y la modificación que ejerce cada especie forrajera en el sistema. Se debe tener claro como altera cada especie de forma individual o en mezcla las propiedades físico-químicas del sistema suelo y su consecuente efecto en la productividad de las pasturas.

Las pasturas son la fuente de alimento disponible más económica para los rumiantes, por lo que resulta de crucial importancia conocer las medidas de manejo necesarias para optimizar su producción de forraje y su utilización por parte de los animales. Es necesario entender las complejas interacciones que ocurren dentro del ecosistema pastoril.

La interrelación entre la pastura y el rumiante en pastoreo es un proceso dinámico y de doble vía, donde por un lado los aspectos físico-químicos y morfológicos de las pasturas influyen el comportamiento animal, y por otro lado el animal afecta la cantidad y calidad del material remanente, determinando la capacidad de rebrote. Además, como ya es sabido el animal en pastoreo afecta propiedades del suelo, tales como el espacio poroso, lo que

conlleva a cambios en la dinámica del agua y aire, afectando en distinto grado a las especies vegetales.

En tiempos de intensificación ganadera y de buena coyuntura de precios, el pasto se sigue manifestando como la opción más barata para producir. Es en este contexto que se remarca la importancia de conocer cuál y cuáles son las mejores alternativas para producir mejor, conservando o mejorando las propiedades del recurso suelo.

Es por lo mencionado que es fundamental combinar perfectamente mezclas forrajeras con cargas animales que el sistema pueda soportar, siempre manteniendo claro el objetivo de mejorar la producción. Conocer como cada una de estas variables y su interacción afecta las propiedades de sistema, surge como la clave para lograr un ambiente productivo y sustentable.

El presente trabajo tiene como objetivo medir el efecto de la carga animal sobre dos mezclas forrajeras, *Festuca arundinacea*, *Trifolium repens* y *Lotus corniculatus* por un lado, y *Dactylis glomerata* y *Medicago sativa* por el otro, en distintos parámetros físico-químicos del suelo y en la productividad inicial de la pastura sembrada luego de retirados los tratamientos. Además de cuantificar el efecto de cada uno de los factores por separado, se pretende buscar la existencia de interacciones entre los mismos.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS ESPECIES Y CULTIVARES QUE COMPONEN LA MEZCLA

2.1.1 *Festuca arundinacea*

Según Carámbula (2007), la festuca es indudablemente una de las gramíneas más importantes utilizadas en la región y un componente esencial en la mayoría de las pasturas cultivadas.

Se trata de una especie perenne invernal, cespitosa a rizomatosa, que se adapta a un amplio rango de suelos pero prospera de mejor manera en los suelos pesados. Las semillas presentan un peso que varía entre 1,8 y 2,2 g/1000 semillas. La festuca, presenta un profundo sistema radicular que se adecúa muy bien a condiciones de alta fertilidad y profundidad. Cabe destacar su tolerancia a condiciones de acidez y alcalinidad.

El número de macollos aumenta en la fase vegetativa durante el otoño-invierno, donde los valores máximos se alcanzan al final de éste, para luego disminuir en la primavera y verano (Formoso, 1995). Es una especie de buena precocidad otoñal con rebrote rápido de fines de invierno y floración temprana en septiembre-octubre (García, 2003).

En cuanto al manejo, la misma admite pastoreos relativamente intensos y frecuentes, debido a la localización de las sustancias de reserva en raíces y rizomas. Son recomendadas frecuencias de 15 a 18 cm e intensidades de 5 a 7 cm. Se debe mencionar la exigencia de la especie de un manejo cuidadoso en el verano. Manejos inadecuados, de altas cargas van a generar problemas de persistencia en la pradera. Por otro lado es importante evitar el proceso de encañado en la primavera, ya que el mismo conduce a importantes pérdidas de calidad y consecuentemente al rechazo de los animales (Ayala et al., 2010).

Existen algunas características negativas de esta especie que son convenientes resaltar. La implantación es lenta y como consecuencia, es fácilmente dominada por especies anuales de crecimiento rápido. Se sugiere que esto podría deberse a una baja movilización de reservas de la semilla y consecuentemente un lento crecimiento radicular (Carámbula, 2007). Por lo anteriormente mencionado, el aporte durante el primer año no es significativo,

pero manejándose adecuadamente es una especie que puede persistir varios años (Langer, 1981). Por otro lado, cabe destacar que la misma presenta baja resiembra natural, por lo tanto se debe ejercer un cuidadoso manejo desde el primer año para evitar la pérdida de plantas, sobre todo durante el verano debido a la falta de latencia de esta especie. Es por lo mencionado que se debe promover el desarrollo de un gran sistema radicular desde fines de invierno, evitando pastoreos demasiado intensos (Carámbula, 2007).

Cowan, citado por Carámbula (2002), menciona que debido a su alto potencial de producción la festuca necesita disponer de altos niveles de fertilidad de suelo. Es por esto que se requiere altas dosis de nitrógeno, ya sea mediante el uso de fertilizantes nitrogenados o el aporte de las leguminosas si se siembra asociada. Las hojas erectas de la planta hacen que la siembra con leguminosas sea una buena alternativa, principalmente con trébol blanco. Cuando el aporte de nitrógeno es escaso la planta se torna amarillenta, minimizándose el macollaje, y consecuentemente la persistencia y rendimiento potencial.

Según Carámbula (2007), un aspecto fundamental que determina el éxito o fracaso de ésta especie como componente de las pasturas sembradas es el manejo acertado de la fertilización y carga.

La festuca puede tener la presencia de un hongo endófito (*Neotyphodium coenophialum*) con el cual establece una relación de mutualismo. El mismo produce dentro de la planta una serie de alcaloides algunos los cuales confieren a las plantas ventajas adaptativas y otros que son nocivos para los animales y son causantes de problemas de toxicidad, conocidos como festucosis. Entre las ventajas para la planta se ha demostrado que la presencia del endófito confiere mayor tolerancia a la sequía, insectos y nematodos, aumenta el macollaje, la persistencia y el rendimiento potencial. El hongo no es una enfermedad para la planta sino que establece con la misma una relación de mutualismo (Ayala et al., 2010). Según Larrambebere (1997) cuando una pastura implantada se encuentra contaminada no es posible erradicar el problema, el control se efectúa mediante la siembra de semilla libre de hongo. Esto último se determina mediante un análisis de semilla al microscopio.

Los cultivares de *Festuca arundinacea* se clasifican en: mediterráneos y continentales. Los primeros tienen un buen potencial de crecimiento invernal,

pero reposan en verano (latencia), son de hojas finas y hábito erecto. Los segundos crecen en todas las estaciones, son de hojas más gruesas y hábito de crecimiento indeterminado, con rendimiento de forraje 20% superiores. El cultivar INIA Tacuabé, utilizado en el experimento pertenece a este segundo grupo.

El cultivar INIA Tacuabé reúne las características de los 8 clones que la componen, buen rendimiento, buena distribución estacional de su producción, resistencia a enfermedades, buena asociación con leguminosas y buena persistencia. Su rusticidad y cualidades forrajeras determinan que sea el cultivar de gramíneas perennes más utilizado en Uruguay. Si bien hoy en día puede ser superada en producción por algún cultivar, en el Programa Nacional de Cultivares siempre está por encima de la media del ensayo.

Cuadro No. 1. Producción de forraje anual y acumulada de *Festuca arundinacea* cv. Tacuabé (kg/ha/año de MS)

Año de siembra	Primer año	Segundo año	Tercer año	Total
1997	8.232	11.735	7.243	27.249
1998	7.413	9.168	6.600	23.237

Fuente: INASE (2004)

2.1.2 *Dactylis glomerata*

Se trata de una especie perenne invernal, C3, cespitosa. Se la reconoce por la presencia de macollos achatados intravaginales, lígula blanca, sin aurículas, hojas y vainas glabras, y lámina navicular. La inflorescencia es una panoja con espiguillas en manojos apretados, con semillas cuyo peso varía entre 0,7 y 1,3 g/1000 semillas (García, 1995).

Se caracteriza por ser una especie de adaptación a un amplio rango de suelos. Tolerancia moderada de acidez y baja fertilidad, además de un amplio rango de texturas (siempre que sean de permeabilidad adecuada). Tiene menores requerimientos de fertilidad que festuca, phalaris y raigrás (García, 1995).

Según García (2003), se destaca por su resistencia a la sequía y crecimiento durante el verano dado que hace un uso más eficiente del agua,

aunque Carámbula (2007), afirma que el comportamiento de esta especie en esta estación es peor que el de la festuca ya que presenta un sistema radicular superficial por lo que deberá promoverse su expansión antes y durante el verano a través del mantenimiento de áreas foliares adecuadas.

En cuanto a su crecimiento inicial es más rápido que el de festuca, lo que genera una buena implantación y mayor aporte de materia seca el primer año de vida (Carámbula, 2007). Según García (2003), requiere de siembras superficiales y se implanta bien con siembras al voleo.

Su floración tardía y carencia de latencia estival alargan su estación de crecimiento, convirtiéndolo en un muy buen competidor para la gramilla (*Cynodon dactylon*). Por otro lado es importante mencionar, su buen comportamiento en siembras asociadas, explicado por su alto vigor inicial y su gran tolerancia a la sombra (Carámbula, 2007).

En cuanto al manejo es una especie que se adapta muy bien al pastoreo rotativo, y se ve perjudicada con pastoreos intensos dado que las reservas se almacenan en la base de hojas y tallos. Son recomendadas frecuencias de 15 a 20 cm e intensidades de 5 a 7 cm. Además, el hecho de que *Dactylis glomerata* no tenga reposo estival y su sistema radicular sea superficial, provoca que su manejo deba ser muy cuidadoso en el verano, de forma que se promueva una buena producción de raíces (Carámbula, 2002). Según Langer (1981), a menos que sea sometida a pastoreos muy intensos, esta especie tiende a tornarse algo grosera y muy cespitosa, siendo en estas condiciones no muy aceptada por los animales en pastoreo. Es más susceptible que la festuca al daño por pisoteo.

Esta especie permite lograr dietas balanceadas debido a su buena adaptación con las leguminosas. En algunas zonas se lo asocia con alfalfa, de ser así deberá elegirse un cultivar de resistente al frío de esta especie y que tengan crecimiento temprano en primavera ya que si hay excedente de forraje se logra un heno de buena calidad (Carámbula, 2007).

El cultivar utilizado en el experimento fue INIA Perseo. Se obtuvo en La Estanzuela luego de tres ciclos de selección con énfasis en rendimiento y calidad. Es un cultivar resistente a royas, pero tiene mal comportamiento frente a manchas foliares. Información brindada por INASE (2010), afirma que en algunos años mucha área foliar estuvo afectada por manchas. Presenta un

hábito semi-erecto, y en cuanto a la producción de forraje mostró rendimientos superiores al testigo INIA Oberón.

Según la evaluación de cultivares de Estanzuela durante 2011, el cultivar INIA Perseo, registró producciones para su primer y segundo año de vida de 6100 y 9100 kg MS/ha respectivamente, para siembras de 2009, 2010 y 2011 (INASE, 2012).

2.1.3 *Trifolium repens*

El trébol blanco es caracterizado como una leguminosa perenne estolonífera de ciclo invernal, la cual alcanza su máxima producción en la primavera.

Según Carámbula (2002) por su alta producción de forraje de calidad excelente, su persistencia con manejos intensivos y la habilidad para competir con gramíneas perennes a la vez que cederles nitrógeno, esta especie contribuye a formar las mejores pasturas del mundo.

Esta especie es glabra, de hábito postrado, con varios tallos extendiéndose por la superficie del suelo y produciéndose raíces adventicias en cada nudo. El sistema radicular primario se pierde una vez que la planta se establece (Langer, 1981).

Se adapta bien en suelos medianos y pesados, fértiles, y húmedos. No tolera suelos superficiales, pobres, muy ácidos o arenosos. En caso de suelos arenosos se debe aumentar la fertilidad antes de sembrar la especie (Carámbula, 2007).

Su fijación biológica de nitrógeno es alta al igual que la del *Trifolium pratense*, pero es importante destacar que el *Trifolium repens* transfiere el doble de nitrógeno a las gramíneas que se le asocian en mezclas forrajeras. Por otro lado, es superior en digestibilidad y apetecibilidad a las demás leguminosas, incluso que alfalfa. Es una especie que posee un alto valor nutritivo a lo largo de toda la estación de crecimiento (Carámbula, 1977).

Esta especie tiene una gran estabilidad productiva acompañada de buenos rendimientos siempre y cuando en el ambiente exista buena cantidad de fósforo y adecuada cantidad de humedad.

El trébol blanco tiene la capacidad de persistir vegetativamente o con la formación de semillas duras lo cual le permite germinación escalonada permitiendo escapar a malas condiciones ambientales de un año en particular. Esta especie responde marcadamente frente a situaciones de alto suministro de agua, húmedas, potenciando el crecimiento vegetativo en desmedro del reproductivo. Para tener buenos rendimientos de semilla esta especie requiere, un déficit hídrico moderado durante su fase reproductiva (Formoso, 2010).

Por otra parte tiene bajo vigor inicial y establecimiento lento, por lo que la etapa de implantación es muy importante para lograr la persistencia de la misma (Carámbula, 2007).

En cuanto al manejo, se adapta bien a pastoreos intensos, fundamentalmente explicado por su porte rastrero, meristemas contra el suelo, índice de área foliar bajo, hojas maduras ubicadas en el estrato superior y las jóvenes en el inferior (Carámbula, 2007). La velocidad de rebrote después del pastoreo depende del área foliar remanente, que dado su hábito tan postrado es considerable. A pesar de ser una especie resistente a pastoreos intensos, se ve desfavorecida si se pastorea de forma excesiva. En pasturas sometidas a pastoreos muy intensos, una cierta cantidad de inflorescencias logran producir semilla (habiendo siempre una alta proporción de semillas duras). Por lo tanto si bien condiciones de sobrepastoreo o sequía afectan la pastura, no necesariamente significa perder todas las plantas, ya que aparecerán otras que las reemplazarán.

Presenta además como puntos negativos su comportamiento deficitario frente a la sequía y la alta producción de meteorismo lo que dificulta su manejo principalmente en praderas puras.

El cultivar utilizado en la mezcla fue Estanzuela Zapicán, que según la caracterización varietal de INIA-INASE presenta hoja grande, hábito estolonífero, de floración temprana y abundante. Sus mejores cualidades son su rápido establecimiento y excelente producción invernal. Se adapta a diferentes tipos de suelos, preferentemente fértiles.

Cuadro No. 2. Producción de forraje estacional de *Trifolium repens* cv. Zapicán (kg/ha de MS) evaluada en dos años.

	Invierno	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Total
E. Zapicán	1.885	3.530	5.123	2.368	2.960	1.421	17.313
Media del ensayo	1.521	3.778	5.481	2.081	2.458	1.505	16.820

Fuente: INASE (2004)

2.1.4 *Lotus corniculatus*

Es una especie perenne estival de hábito de crecimiento erecto a decumbente dependiendo del cultivar. Presenta una raíz pivotante y profunda, con presencia de corona en la parte superior y numerosas raíces secundarias (Carámbula, 2010).

Según Langer (1981), el lotus tiene la capacidad de adaptarse a un amplio rango de suelos dada su gran plasticidad. Esto último le permite desarrollarse en suelos que son demasiados húmedos para especies como la alfalfa y en suelos demasiados secos para el trébol blanco. Es capaz de persistir en suelos moderadamente ácidos y alcalinos aun cuando estos presentan bajos porcentajes de fósforo. Es poco apto para suelos superficiales ya que se ve limitado el desarrollo radicular.

El potencial de producir en verano, cuando las condiciones ambientales limitan el rendimiento de las otras especies, es de mucho valor, ya que solamente se ve superado por la alfalfa, la cual está limitada a suelos con determinadas características, tales como, suelo profundo, de pH neutro a ligeramente alcalino, bien drenado y ricos en fósforo (Carámbula, 2007).

Esta especie, por sus características morfológicas, es sensible a las prácticas de manejo del pastoreo ya que presenta como característica, tallos erectos, lo que determina que mediante la defoliación se retire no solamente folíolos sino también meristemas axilares y apicales que se encuentran por encima de la altura de corte. Se recomienda realizar pastoreo rotativo para permitir su máximo desarrollo y evitar por otra parte los pastoreos intensos. Según Formoso (1993), el manejo del pastoreo en lotus hace que sea la más sensible, en términos productivos, a la variación de frecuencia de defoliación

impuesta de las leguminosas más usadas en el país (*Trifolium repens*, *Trifolium pratense* y *Lotus corniculatus*). Según Carámbula (2002), el lotus se beneficia con pastoreos controlados que le permitan alcanzar alturas de 20 a 25 cm, antes de ser defoliado. En caso de que el pastoreo sea continuo, se deberá de dejar rastros de no menos de 7,5 cm. Manejos demasiado frecuentes e intensos, determinan problemas en la producción y longevidad de las plantas. Esto último es explicado por la presencia de hojas nuevas, de alta capacidad fotosintética en la parte superior del canopeo, determinando que el área foliar remanente sea de baja capacidad fotosintética, siendo responsable el rebrote de las reservas previamente acumuladas en la raíz y corona.

La producción de forraje muestra un descenso luego del segundo año de vida, explicado por una disminución en el número de plantas ocasionado por lesiones en la raíz y corona causado por diversos organismos. Además de disminuir la producción de forraje al avanzar la edad, también se concentra cada vez más en el período estival (Formoso, 1993).

Según Altier et al. (1996) tal como se mencionó anteriormente el género *Lotus* presenta una incidencia importante de enfermedades de raíz y corona que afectan la persistencia de la especie. Carámbula (2007) afirma que su persistencia por resiembra natural es problemática. Otros autores aseguran que la especie presenta una buena resiembra si se la deja semillar, para lo cual debe realizarse un manejo intenso en el otoño, permitiendo la entrada de luz de modo de lograr un buen reclutamiento otoñal de plantas y así reemplazar aquellas que han muerto (Zanoniani y Ducamp, 2004).

Según Díaz Lago et al. (1996), la máxima tasa de crecimiento ocurre en primavera, rondando los 40 kg MS / ha/ día en el segundo año de vida.

Su resistencia a la sequía, su alto valor nutritivo, ausencia de meteorismo y su persistencia hacen de ella una especie muy recomendada para ser incluida en mezclas forrajeras (Formoso, 1993).

Según la caracterización de INIA para forrajeras en el 2010, el cultivar San Gabriel presenta una excelente adaptación al pastoreo, comprobada versatilidad y amplia adaptación ambiental. Presenta una producción continua a lo largo de todo el año. Este cultivar florece temprano y presenta un periodo de floración muy prolongado. Está recomendado para siembra directa y también para mejoramientos de campo. Se destaca de los otros cultivares por su

rendimiento anual e invernal debido a que se mantiene activo durante el inicio del invierno, pero también a que crece activamente durante la primavera temprana.

Cuadro No. 3. Producción de forraje estacional de *Lotus corniculatus* cv. San Gabriel (kg /ha de MS) evaluada en dos años.

	Prim 97	Ver 98	Oto 98	Inv 98	Prim 98	Ver 99	Total
San Gabriel	3.528	3.855	1.336	844	4.684	1.738	15.985

Fuente: INASE (2004)

2.1.5 Medicago sativa

Es una especie leguminosa, perenne estival con hábito de crecimiento erecto que concentra su producción en primavera-verano (65-75%) independientemente del grado de latencia del cultivar. Posee una raíz pivotante pudiendo penetrar en el suelo hasta 8-10 metros, lo que le permite llegar al agua de las capas profundas. Presenta corona, que es el asiento de las yemas que darán origen a los nuevos tallos (Carámbula, 2007).

Esta especie según Carámbula (2002) presenta cualidades excelentes, por sus altos rendimientos en cantidad y calidad de forraje, por su carácter mejorador de suelos y restaurador de fertilidad en las rotaciones.

La alfalfa, requiere suelos fértiles profundos con buenos drenajes por sobre toda las cosas y es muy sensible a condiciones de acidez.

Tiene un buen vigor inicial y establecimiento, aunque no se implanta en siembras en cobertura (Carámbula, 2007).

En cuanto a su valor nutritivo, es muy alto principalmente en estado vegetativo, sin embargo presenta cambios constantes a lo largo del año en los valores de digestibilidad. Los mayores valores se encuentran en primavera, aumentando la aceptabilidad por parte de los animales en pastoreo (Rebuffo, 2000).

Haciendo referencia al manejo, admite pastoreos intensos pero pocos frecuentes dado que el rebrote se da a partir de las yemas de la corona y

utilizando las reservas de las mismas. Con este manejo, la planta realiza una mejor gestión de los nutrientes dentro de la planta, entre defoliaciones para asegurar buenos rendimientos y persistencia. Según Formoso (2000), un manejo adecuado del pastoreo es la clave para asegurar en esta especie el menor costo por kg de materia seca digestible producida. Esta especie posee el atributo de indicar claramente cuando su condición fisiológica se ha restablecido del pastoreo y por tanto se encuentra en condiciones de ser pastoreada o cortada nuevamente. Este indicador es el crecimiento de nuevos tallos que emergen desde la base de la corona. Bajo estas circunstancias las plantas pueden haber alcanzado una altura suficiente, restaurado el peso de sus raíces, y el nivel de reservas adecuado. Una vez que la pastura fue pastoreada con una alta eficiencia de utilización, donde al cultivo se le han retirado todas las hojas, se reinicia el proceso de rebrote (Formoso, 2000). Es importante resaltar la baja eficiencia fotosintética de las hojas remanentes luego del pastoreo, debido a que las hojas nuevas y de alta eficiencia en esta especie se encuentran en la parte superior del canopeo. Estudios sugieren que las hojas remanentes son más bien un factor adverso en lugar de una fuente de productos energéticos. Es por lo mencionado anteriormente, la importancia de manejar el pastoreo de esta pastura de forma intensa, pero poco frecuente de forma de permitir la acumulación de reservas.

Estudios detallados por Leach, Langer y Keoghan, citados por Langer (1981) muestran que las yemas situadas en, o próximas a la corona, son los centros de regeneración más importantes luego que la planta es cortada o pastoreada. Cuando la defoliación ocurre en una etapa inmadura, el rebrote se puede dar a partir de las axilas de las hojas remanentes. Si bien estos tallos aparecen antes que los que surgen de las yemas basales, contribuyen solo en forma limitada a la recuperación de la planta. Según Langer (1981), la defoliación cuando la planta está en comienzo de floración, producirá el máximo rendimiento de materia seca y preservará la persistencia de la planta.

Presenta como inconveniente, tal como se mencionó, una mala implantación en siembras en cobertura y una elevada producción de meteorismo sobre todo en etapas previas a la floración. No tiene resiembra natural dado que posee alelopatía (Carámbula, 2007).

La utilización de la alfalfa en mezclas forrajeras, especialmente con gramíneas perennes como cebadilla, dactylis y festuca es una alternativa

ampliamente utilizada en Argentina. El uso de la alfalfa en mezclas en Uruguay comenzó hace relativamente poco tiempo, siendo cada vez más los productores que optan por esta alternativa. Las principales ventajas del uso de la alfalfa en mezcla son la reducción del meteorismo y del enmalezamiento (Rebuffo, 2000).

Existe un alto número de cultivares, los cuales se diferencian en el grado de latencia invernal (con latencia, latencia intermedia y sin latencia). La latencia invernal constituye una adaptación de la especie para sobrevivir las condiciones adversas del invierno (INASE, 2012). En otras palabras la presencia de latencia indica el período en el cual la especie no produce. Este último aspecto es muy relevante ya que nos va a indicar la distribución estacional del forraje y el potencial de producción.

El cultivar utilizado fue Chaná, caracterizado como de latencia intermedia. Presenta porte erecto, tallos largos y corona grande de numerosos tallos. En el primer año de vida presenta una alta producción de materia seca, explicada por su alta precocidad y vigor de plántulas.

Cuadro No. 4. Producción de forraje anual y acumulada de *Medicago Sativa* cv. Chaná (kg/ha de MS) para tres años de evaluación.

	Primer Año – 97	Segundo Año – 98	Tercer Año – 99	Total
Estanzuela Chaná	3.845	11.890	6.375	22.056
Media del Ensayo	3.365	10.897	6.391	20.651

Fuente: INASE (2004)

2.2 MEZCLAS FORRAJERAS

Según Carámbula (2007), una mezcla forrajera, consiste en una población artificial, formada por dos o más especies, de diferentes características morfológicas y fisiológicas, en las que al menos una presenta hábito de vida perenne.

Algunas de las razones por las que se justifica el uso de mezclas en vez de cultivos puros son por su mayor producción y uniformidad estacional, menor variabilidad interanual, mayor calidad del forraje y menor riesgo de meteorismo (Schneiter, 2005).

Carámbula (2007) afirma que uno de los objetivos más importantes de la producción de forraje en pasturas mixtas, es obtener los máximos rendimientos de materia seca por hectárea, explotando al mismo tiempo las bondades que presentan las gramíneas y leguminosas. Como consecuencia de la asociación de especies se produce un proceso de interferencias, que pueden tener diferentes resultados, tales como, una mutua depresión, la depresión de una especie en detrimento de la otra, mutuo beneficio, o falta de interferencia.

La elección de las especies que formarán la mezcla es decisiva tanto para la productividad como para la longevidad. En dicha elección es indispensable considerar tres factores: suelo, clima y propósito. Las especies con que cuenta el país para producir responden distinto a estos tres factores citados, por lo que estos resultan ser condicionantes para su elección (Carámbula, 2007).

Las mezclas ultra simples están formadas por una gramínea y una leguminosa, ambas de ciclo estival o invernal. Las mezclas simples se encuentran formadas por una mezcla simple más una gramínea o leguminosa de ciclo complementario. Por último, las mezclas complejas pueden estar formadas por varias gramíneas y leguminosas de ciclo similar o de ciclo complementario. Langer (1981), plantea la dificultad de manejar óptimamente todas las especies de la mezcla, siendo favorecidas algunas más que otras.

2.2.1 Componentes de la mezcla

La necesidad de que las pasturas estén formadas por especies de distintas familias surge por diversas razones. Las gramíneas aportan una productividad sostenida por muchos años, buena estabilidad en la pastura (en especial si son perennes), amplia adaptación a una gran variedad de suelos, baja sensibilidad al pastoreo o cortes, baja susceptibilidad a plagas y enfermedades y son competitivas frente a las malezas (Carámbula, 2007).

Las leguminosas aportan nitrógeno a las plantas y al suelo, además son de alto valor nutritivo mejorando el consumo animal. Por otro lado se debe mencionar la capacidad de ésta familia de promover pasturas longevas. La adición de leguminosas a gramíneas incrementa la calidad del forraje y reemplaza la cantidad de fertilización nitrogenada necesaria (Breazu et al., 2006).

Al instalar una pastura el objetivo es 60-70% de gramíneas, 20-30% de leguminosas y 10% de malezas (Carámbula, 2007).

En suelos pobres se recomienda favorecer a las leguminosas y en los ricos a las gramíneas. En los primeros el predominio de las leguminosas es necesario si se quiere elevar rápidamente la fertilidad del suelo.

Cabe destacar que una pastura mayormente compuesta por leguminosas (alta en proteínas y baja en carbohidratos solubles), favorece la producción de leche y el engorde de corderos. Pasturas más “maduras”, son beneficiosas para la producción de carne vacuna (Parsi, 2001).

La mayoría de las pasturas cultivadas presenta un desequilibrio a favor de la leguminosa, inclusive desde el momento de la implantación, dada la mayor facilidad de establecer leguminosas que gramíneas. Este desbalance se acentúa en pasturas sembradas sobre suelos pobres o degradados. Lo anteriormente mencionado explica la baja persistencia de las pasturas sembradas, dado que una vez incrementado el nivel de nitrógeno del suelo por fijación simbiótica, la invasión de especies mejor adaptadas dominan la pradera (gramíneas) (Carámbula, 2007).

2.2.2 Importancia de la mezcla de especies

Las mezclas forrajeras presentan una serie de características de gran importancia que se explicitan a continuación.

Dentro de las especies forrajeras, tanto gramíneas como leguminosas, existen diferencias de adaptación a regiones tropicales, subtropicales o templadas, encontrando diferentes respuestas a los parámetros climáticos. Por esto, es muy común el uso de mezclas forrajeras tipo multipropósito formadas por tres o cuatro especies complementarias (invernales-estivales), intentando una buena distribución estacional (Carámbula, 2004).

El uso de mezclas presenta la ventaja de obtener una producción más prolongada y sostenida en el tiempo. Las especies en las mezclas pueden compensar su crecimiento frente a diferentes factores climáticos, edáficos y de manejo, manteniendo no solamente en forma más homogénea los rendimientos en ciertas épocas del año, sino también alargando el período de productividad de la pastura y confiriéndole una mayor flexibilidad en su utilización (Langer, 1981).

Otro aspecto favorable, es la disminución de la incidencia de malezas. Por último se menciona, el efecto positivo de las mezclas frente al valor nutritivo, volviéndolo más balanceado, lo que genera un estímulo del consumo animal (Carámbula, 2007).

Cabe resaltar que la elección de una pastura mezcla, no necesariamente implica que las especies rindan más que sembradas puras. Hay que seleccionar correctamente las especies que la van a formar. Esto último implica, seleccionar plantas que crezcan en periodos distintos, de manera de controlar la competencia entre las mismas. Por otro lado se deben elegir especies con exigencias contrastantes de nutrientes. Otro aspecto importante es tener especies con requerimientos de manejo similares de manera de no favorecer a ninguna en particular (Santiñaque y Carámbula, 1981).

Se debe recordar, que cuantas más especies contenga la mezcla, tanto más difícil es mantener el balance deseable entre sus componentes. Según Carámbula (2007) es más fácil degradar pasturas complejas que pasturas simples. Diferentes condiciones ambientales van a conducir indefectiblemente a la dominancia de ciertas especies sobre otras. En estos casos donde ocurre dominancia, el período productivo estará determinado por las especies que dominen la mezcla. Es por todo lo mencionado que se destaca la importancia de elegir correctamente las especies que componen la mezcla.

Estudios realizados por Santiñaque y Carámbula (1981) indican que la combinación de especies de ciclo estival con especies de ciclo invernal fue más productiva que los respectivos "monocultivos" (mezclas invernales y mezclas estivales). Afirman que esta superioridad de las mezclas complementarias se debió a la combinación de especies con distintas respuestas a los principales factores climáticos. En otras palabras, especies con distintos ritmos de crecimiento anual, cambian el orden de dominancia a lo largo del año, minimizando la competencia. Las mezclas invernales y estivales manejadas por separado mostraron rendimientos intermedios al de las mezclas individuales, siendo esta alternativa menos productiva que las mezclas complementarias.

2.3 CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS EVALUADAS

2.3.1 *Dactylis glomerata y Medicago sativa*

Se trata de una mezcla ultra simple (una gramínea más una leguminosa), de ciclo complementario. El dactylis presenta como característica diferencial, su crecimiento erecto que hace que su comportamiento en mezclas con otras especies erectas sea muy bueno. Según Formoso (2000), las mezclas que presentaban a la alfalfa como leguminosa, producían más, en relación a las que incluían trébol blanco. Esta supremacía de la alfalfa se incrementaba en magnitud con la edad de la pastura dada su persistencia productiva. La mayor producción de forraje anual y estival de mezclas forrajeras con alfalfa se explica simplemente por ser materiales con mayor potencial de producción de forraje, en relación a las otras leguminosas que ofrece el mercado.

Según Zanoniani (2012), mezclar dactylis con alfalfa es una opción interesante para reducir los riesgos de meteorismo, por su buen aporte de fibra y por la mejora del piso.

Trabajos realizados por Zuo, citado por Gomes de Freitas y Klaassen (2011), explicitan como la producción de la mezcla es mayor, que la producción obtenida por cada cultivo separado.

Por su hábito de crecimiento más erecto, su floración tardía, y buen potencial estival, esta gramínea perenne es la que mejor se asocia con alfalfa. La alfalfa sembrada asociada con una gramínea perenne como lo es el dactylis, mejora la estructura del suelo. Esto último se explica en parte, por el buen desarrollo radicular de la gramínea, favorecido por el aporte de nitrógeno del componente leguminoso de la mezcla.

Formoso (2000), enumera las ventajas de asociar alfalfa con gramíneas perennes. La producción a partir del tercer año de vida es mayor en relación a los cultivos puros, siendo su producción mejor distribuida a lo largo de las estaciones. La presencia de malezas en las mezclas de alfalfa con una gramínea perenne es sustancialmente menor. Por último es importante destacar, tal como se mencionó, que el uso de mezclas mejora el piso de la pastura, evidenciándose esto principalmente frente a condiciones de humedad.

2.3.2 Trifolium repens-Lotus corniculatus-Festuca arundinacea

Se trata de una mezcla simple, compuesta por una mezcla ultra simple invernal más otra especie de ciclo complementario (estival).

La festuca es una de las gramíneas más utilizadas en la región, dada su gran adaptación a diferentes ambientes, debiéndose utilizar en mezclas con leguminosas con el objetivo de elevar el valor nutritivo. La inclusión de una gramínea perenne como la festuca, le confiere una mayor persistencia a la pastura, explicado fundamentalmente por el control ejercido sobre la gramilla. Esta especie presenta además otros atributos destacables, tales como un lento establecimiento durante la implantación y porte cespitoso erecto por lo que no ejerce efectos importantes en la competencia sobre la leguminosa, particularmente a la hora de captar luz (Carámbula, 2007).

Como se ha mencionado anteriormente en el trabajo, la inclusión del componente leguminosa, mejora la calidad y digestibilidad de la mezcla, incrementando el consumo animal.

Según Carámbula (2002), la inclusión de *Trifolium repens* y *Lotus corniculatus* en forma conjunta, se traduce en una mezcla de gran adaptación a diversas condiciones climáticas, a distintos suelos y a manejos indefinidos por lo cual siempre muestran adecuado comportamiento y amplia versatilidad. Estos atributos le permiten ofrecer una mayor seguridad de entrega de forraje durante un período muy amplio de tiempo, dado que ambas especies presentan ciclos complementarios. La presencia del lotus y festuca disminuyen las posibilidades de que se produzcan problemas de meteorismo.

Festuca y trébol blanco son excelentes especies para combinar en mezclas. Sin embargo, la inclusión de leguminosas estivales, como lotus, extienden el período de pastoreo hacia las estaciones calurosas y secas frente a pasturas de gramíneas templadas solas, alargando el período productivo de la pastura (Hall y Vough, 2007).

Cuando alfalfa aparece asociada a gramíneas perennes en pasturas mezclas se mejora la estructura de los suelos. Esto se debe a que las raíces en cabellera de la gramíneas se ven favorecidas en su desarrollo por el nitrógeno aportado por la leguminosa, se produce un fuerte anclaje de las partículas del

suelo fijándolas y se evita su disgregación reduciendo el riesgo potencial de erosión (Viglizzo, 1995).

2.4 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SUELO

El suelo es un sistema complejo, compuesto por materiales orgánicos e inorgánicos, aire y agua.

Las propiedades físicas del suelo son de extrema importancia, por su relación directa con la productividad de las pasturas y por la dificultad de recuperación de las mismas en caso de pérdida. Su conocimiento permite desarrollar de forma más eficiente las prácticas de labranza, las recomendaciones de fertilización, riego, entre otras.

Según García (2004), la condición física de un suelo, determina, la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes.

La profundidad, textura, estructura, densidad aparente, infiltración, son parámetros físicos que determinan las condiciones de drenaje y aireación del suelo, las cuales se relacionan directamente con la capacidad de la planta de tomar agua, oxígeno y nutrientes.

La profundidad del suelo es una característica relevante, ya que de ésta depende la capacidad de almacenar agua para las plantas, además de limitar la capacidad de exploración de las raíces en el volumen del suelo. Cuanto más profundo es el perfil mayor independencia se logra de las condiciones climáticas.

La textura, se refiere a la proporción de arena, limo y arcilla expresados en porcentaje. La misma se relaciona con la retención de agua, con la aireación y la fertilidad del suelo. Se dice que un suelo tiene buena textura cuando la proporción de los elementos que lo constituyen le dan la posibilidad de ser un soporte capaz de favorecer la fijación del sistema radicular de las plantas y su nutrición. Las fracciones finas generan que el movimiento de aire y agua se retarde en relación a lo que sucede en las fracciones gruesas. Sin embargo, los suelos pesados pueden presentar buenas condiciones de drenaje y aireación si el suelo presenta buena estructura (García, 2004).

La estructura, hace referencia al arreglo de las partículas fundamentales del suelo (arena, limo y arcilla), determinando el espacio entre las mismas que está compuesto principalmente por macroporos. Según García (2004), la estructura del suelo y su estabilidad juegan un rol importante en muchos procesos del suelo y su interacción con las plantas: erosión, infiltración de agua, exploración radicular, aeración y resistencia mecánica. Esto indica que todas las prácticas agronómicas deberían hacerse con carácter de conservación de la misma. Batey y Davies, citados por Rovira (1979), señalan que la estructura del suelo está sujeta a cambios y puede ser afectada y alterada rápidamente por factores como el laboreo, el pisoteo animal, la lluvia, adiciones de materia orgánica entre otros. Este autor también menciona que se puede incrementar la estabilidad de los agregados mediante el crecimiento vegetal, cultivos o pasturas. Batey y Davies, citados por Rovira (1979), sostienen que los problemas que más frecuentemente ocurren con respecto a la estructura del suelo son tres: compactación, inestabilidad superficial, y condiciones anaeróbicas del suelo. La compactación y falta de oxígeno no solo restringe la proliferación de raíces y su absorción de agua y nutrientes sino que también impide la actividad microbológica.

La densidad aparente refleja el contenido total de porosidad en un suelo y es importante para el manejo de los mismos (refleja compactación y facilidad de circulación de agua y aire). La densidad aparente, a diferencia de la textura es una propiedad dinámica que varía con las condiciones de estructura. Tal como se mencionó anteriormente la estructura del suelo puede variar por diversos factores, tales como pasadas de maquinaria, carga animal, entre otros. En otras palabras la densidad aparente puede servir como un indicador de la compactación que presenta el suelo y su restricción relativa al desarrollo radicular de las plantas. Los valores bajos de densidad aparente son propios de suelos porosos, bien aireados con buen drenaje y buena penetración de raíces. Los valores altos son representativos de suelos compactos y poco porosos con aireación deficiente e infiltración lenta de agua, lo que puede provocar que las raíces tengan dificultad para elongarse y de este modo alcanzar agua y nutrientes (Rovira, 1979).

2.5 COMPACTACIÓN DEL SUELO Y SU EFECTO EN LA PRODUCTIVIDAD Y FISIOLOGÍA VEGETAL

2.5.1 Importancia y efectos de la compactación del suelo

Según Bowen (1981), la compactación es el proceso de aumento de la densidad aparente del suelo, como respuesta a la aplicación de una fuerza externa.

La compactación del suelo, es un proceso de degradación edáfica, que tiene importantes efectos ecológicos y económicos. Este proceso, se asocia con la pérdida de los poros del suelo (en especial los más grandes), causando pérdida de permeabilidad al aire, inconvenientes con el flujo de agua, transporte de iones, y restricciones importantes para el crecimiento radicular. La compactación afecta los mecanismos de difusión, y flujos de masas o movimientos de nutrientes del suelo a la raíz, disminuyendo la cantidad de nutrientes que van a la planta (Kemper y Rosenau, 1971).

La raíz requiere de la presencia de oxígeno suficiente para no afectar su crecimiento. La porosidad del suelo afecta marcadamente la cantidad de oxígeno disponible en el perfil. La compactación, tal como se mencionó, afecta la porosidad, determinando una disminución importante en la cantidad de oxígeno.

Las características anteriormente mencionadas, estarán afectando el futuro crecimiento de las plantas.

La susceptibilidad a la compactación del suelo, depende de la textura, estructura, porosidad, relación C/N y grado de humedad (Carrasco, 1989).

Según Aruani y Behmer (2004), la resistencia a la penetración tiene mayor incidencia en la distribución radical, en suelos de granulometría media que en suelos de granulometría gruesa.

El pisoteo animal es uno de los factores más importantes en generar compactación, alterando principalmente la estructura del perfil. Altas cargas animales determinan mayor pisoteo, mayores dificultades para sacar el ganado de pasturas cuando no hay piso por exceso de precipitaciones y mayores demandas de alimento por parte del ganado (Formoso, 2007). Este último factor induce a pastoreos de rastrojos, menores niveles de residuos y cobertura

vegetal, mayor tránsito de animales y de maquinaria para suplementar el ganado, determinando un proceso creciente de compactación del suelo.

La respuesta del suelo al tránsito por animales depende del contenido hídrico que posee cuando es pastoreado. Cuando el suelo está seco, su capacidad soportar presiones externas es máxima, y de este modo, la probabilidad de que sufra daño estructural es mínima. En cambio, cuando el suelo está húmedo, el suelo se vuelve propenso a sufrir compactación superficial. Tal como se mencionó anteriormente, ésta deformación se hace a expensas de la reducción de los macroporos (Taboada, 2007).

La reducción del tamaño de los poros, reduce marcadamente la velocidad de infiltración del agua de lluvia. Si un poro se reduce diez veces de tamaño, la cantidad de agua que puede fluir a través del mismo en un tiempo dado será 10 000 veces menor que antes de ser reducido. Esto destaca el efecto perjudicial de la compactación sobre la tasa de infiltración del agua de lluvia.

Cabe destacar que hay suelos con presencia de arcillas expansivas, los cuales en los períodos secos originan contracciones en los suelos durante los procesos de secado, y las fisuras internas que se producen tienen efectos descompactadores. Con el tiempo estos suelos compactados, luego de varios ciclos de secado y humedecimiento tienden a recobrar su condición estructural “resiliencia estructural” (Formoso, 2007).

2.5.2 Efectos de la compactación en el comportamiento vegetal

Estudios realizados por Formoso (2007), indican que la pérdida de estructura de los suelos debida a los procesos de compactación aumenta las dificultades de implantación de las especies, limitan el crecimiento vegetal y las fuerzas regenerativas.

Según Martino (2002) las plantas responden de varias formas a un ambiente físico de suelo hostil. Tanto los órganos subterráneos que reciben influencia directa del ambiente subterráneo como los órganos aéreos que reciben señales del sub suelo son afectados.

La sintomatología típica del crecimiento bajo condiciones de compactación, se podría resumir en una reducción del crecimiento de la raíz

(largo, volumen, peso), mayor ramificación, engrosamiento y densidad radicular (Russel y Goss 1974, Oussible et al. 1992).

Según Ernst (1992), las raíces que crecen en horizontes compactados, presentan mayor diámetro y densidad debido a que las células de la corteza radicular son más cortas y más anchas. Estudios demuestran que cuando la resistencia mecánica que ejerce el suelo dado el efecto de compactación es superior a la capacidad de penetración de las raíces se afecta el normal desarrollo radicular. Principalmente el largo de la raíz disminuye, y en respuesta a esto se ensancha y se genera un sistema radicular más denso.

Por otra parte Bennie, citado por Giardinieriv (2004) encontró que cuando las plantas se ven obligadas a crecer en un ambiente compactado, desarrollan otro tipo de respuesta en relación a la mencionada anteriormente. La misma consiste en un desvío en el crecimiento de las raíces que pasan a tener mayor crecimiento lateral, paralelo a la superficie del suelo.

La anaerobiosis provocada por la compactación también produce efectos morfológicos y fisiológicos en las plantas. Entre las respuestas morfológicas se destaca el marchitamiento, la reducción del crecimiento radicular, clorosis de las hojas y senescencia prematura (Russell, citado por Martino, 2002)

Formoso (2007) luego de un proceso de investigación, concluye que la especie más sensible a la compactación fue la festuca, seguida por alfalfa, trébol blanco y lotus, con depresiones del área cubierta del 52%, 69%, 38% y 23% respectivamente. Afirma que todas las especies estudiadas disminuyeron sus rendimientos en condiciones de suelo compactado en relación a suelo sin compactar, principalmente durante las primeras etapas de crecimiento. Las depresiones de rendimiento fueron de 79, 66, 34, 80 y 92% para festuca, dactylis, trébol blanco, lotus y alfalfa respectivamente. El experimento mencionado concluye además, que el trébol blanco es la especie que demora menos tiempo en recuperarse del estrés, mientras la alfalfa presentó daños permanentes.

2.6 MANEJO DE LA CARGA

La carga animal se define como el número de animales por unidad de superficie, mientras que la presión de pastoreo se ha definido como el número de animales por unidad de forraje disponible (Mott, 1960).

La producción de materia seca de una pastura, es lo que determina la dotación que el sistema puede mantener, siendo esta, su capacidad de carga.

El manejo de la carga significa equilibrar la demanda de los animales con la oferta de las pasturas, con el objetivo de maximizar la eficiencia económica de la empresa. La carga animal es el principal medio para manejar racionalmente la oferta de forraje. La carga animal tiene alta influencia en el desempeño individual de los animales en pastoreo, ya que la cantidad y calidad que el animal consume determina en gran parte lo que el animal produce (Bayer, 2011).

Una alta carga termina con un proceso de sobrepastoreo, reduciendo la producción de las pasturas y consecuentemente la producción de carne. Una baja carga animal determina inicialmente un buen desempeño animal, explicado esto último por una mayor posibilidad de seleccionar alimento más digestible y con menos porcentaje de fibra. Si esta situación se mantiene, el forraje envejecerá, disminuyendo su digestibilidad, y por tanto determinando una baja producción de carne.

Como ya se mencionó el pisoteo animal es uno de los principales factores en determinar compactación del suelo, es por eso que el manejo de la carga juega un importante rol en la conservación de la estructura del suelo.

2.7 EFECTO DE LAS PRADERAS EN LAS PROPIEDADES DEL SUELO

Formoso (2007), destaca que el cambio técnico hacia la siembra directa observado en los últimos años, conjuntamente con el pastoreo, en los sistemas de producción intensiva, realizados con cargas animales altas, están conduciendo al deterioro de la estructura de los suelos, mayor compactación superficial, menores tasas de infiltración, disminución de la macroporosidad, etc. En estos sistemas intensivos se hace difícil el manejo del pastoreo sobre todo en los periodos de suelos muy húmedo. Por otra parte los volúmenes de residuos incorporados al suelo son bajos dadas las altas cargas, por lo que el deterioro es aún mayor.

En este contexto las pasturas sembradas constituyen un elemento importante en el aporte de materia orgánica al suelo, especialmente en los sistemas más intensivos.

Según Marchesi, citado por Rovira (1979), los efectos de las praderas sobre las propiedades físicas de los suelos y sus roles como mejoradoras de la productividad potencial de éstos depende de: a) su composición botánica; b) la productividad o grado de desarrollo de las plantas; c) manejo; d) años de permanencia.

Greenland (1981) establece que la magnitud de los cambios en la condición estructural del suelo ocasionados por pasturas depende del suelo y la composición botánica y vigor de la pastura. Los cambios se pueden resumir en un incremento en la estabilidad de los agregados, disminución de la impedancia mecánica, incremento en la retención de agua, mejoras en la infiltración y permeabilidad y decrecimiento en la susceptibilidad a la erosión.

La inclusión de las praderas en las rotaciones lleva a que se obtengan valores de materia orgánica mayores que en los casos en los que se integran solo cultivos (Formoso, 2000).

García (2004), afirma que la vegetación presenta una acción muy importante en la formación de estructura: a) produce residuos que son la fuente de energía para la actividad microbiana; b) el sistema radicular no solo contribuye a la cantidad de residuos sino que influye en la formación de agregados; c) la cubierta vegetal protege la estabilidad de los agregados contra la acción de la gota de lluvia.

Marchesi, citado por Rovira (1979) señala a la composición botánica de las praderas como uno de los factores más importantes en determinar el efecto sobre las propiedades físicas del suelo y la productividad potencial del mismo.

Las gramíneas en general tienen dos efectos en las propiedades físicas del suelo: estabilizan la estructura y hacen más friables los suelos de texturas pesadas. Cabe destacar que la friabilidad es un proceso muy lento y lleva por lo tanto bastante tiempo.

Las leguminosas de raíz profunda son capaces de mejorar la permeabilidad y penetrabilidad del sub suelo. La alfalfa se destaca como la especie leguminosa mejor formadora de estructura (Carámbula, 2002).

Garmendia, citado por Rovira (1979) señala la superioridad desde el punto de vista de la formación de estructura, de la mezcla de gramíneas y leguminosas frente al uso de cada componente por separado, y se está de acuerdo en que las gramíneas producen principalmente una estructura granular en el horizonte superficial, mientras que la presencia de leguminosas promueve la estabilidad de la estructura y la agregación del sub suelo.

2.7.1 Efecto del sistema radicular de las pasturas en las propiedades físicas del suelo

Greenland, citado por Rovira (1979), afirma que la proliferación de raíces juega un rol importante en la restauración de un suelo al estado en el cual está integrado, fundamentalmente de agregados estables al agua y porosos durante la etapa de pasturas. Este mismo autor, resalta que la combinación de fuerzas físicas asociadas al crecimiento de las raíces determina en parte el efecto de una pastura sobre la condición física del suelo.

Marchesi y Elhordoy (1979), destacan que el efecto de las gramíneas generalmente es superior al de las leguminosas, debido a la mayor abundancia de raíces y a la mayor ramificación de las mismas. Las gramíneas tienen un sistema radicular más largo y fino que las leguminosas, además de tener más pelos radiculares y mayor área de exploración.

Estudios llevados a cabo por Formoso (2007), caracterizan los sistemas radiculares de siete especies, dentro de las cuales se destacan las estudiadas en el presente trabajo (festuca, trébol blanco, lotus, alfalfa y dactylis). Cabe mencionar que todas las especies estudiadas presentaron sistemas radiculares que sobrepasaron los 90 cm, destacándose la alfalfa como la forrajera que alcanzó mayor profundidad promedio de exploración (146 cm). *Dactylis glomerata* se mostró como la especie con sistema radicular más superficial llegando a los 94 cm. Trébol blanco fue la leguminosa de peor comportamiento dado que apenas logro superar los 100 cm no presentando diferencias con dactylis.

En el mismo experimento realizado por Formoso (2007), se cuantificó el peso y el número de raíces con laboreo convencional y en siembra directa de trebol blanco, festuca y lotus. Se encontró que festuca tuvo tendencia a mayor número de raíces en los 10 primeros cm y en el total evaluado. Lotus tuvo los valores más bajos y trébol blanco alcanzó valores intermedios. Para las tres

especies, el número máximo de raíces se ubicaron en los 10 cm superiores del perfil.

En cuanto al peso de raíces fue alfalfa la especie que presentó los mayores pesos de raíces tanto en estratos superficiales de 10 cm como en todo el perfil. En el otro extremo fue trébol blanco el que registró los menores valores. Todas las especies evaluadas tienen la mayor concentración de su peso de raíces en los primeros 10 cm, siendo esto más marcado en las gramíneas perennes que en las leguminosas.

2.7.2 Efecto sobre la materia orgánica

La materia orgánica es el mayor reservorio y fuente de los nutrientes requeridos por las plantas, la misma contribuye al crecimiento vegetal a través de sus efectos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. La inclusión de pasturas provee un mayor aporte de fitomasa aérea y radicular, permitiendo un mejor aporte de materia orgánica al suelo. Un suelo que tiene mayor materia orgánica tendrá una mejor agregación y tenderá a ser menos denso, permitiendo un mejor manejo y penetración de raíces. Debido a la estructura más estable logrará tasas superiores de infiltración y será capaz de resistir mejor el impacto generado por la gota de lluvia (García, 2004).

Según Silva (2002), la materia orgánica tiene un efecto directo como indirecto sobre la disponibilidad de nutrientes para el crecimiento vegetal. Es una fuente de nitrógeno, fósforo y azufre cuando es mineralizada por los microorganismos del suelo. Como efecto indirecto la materia orgánica se requiere como fuente de energía para la fijación bacteriana de nitrógeno. Por otra parte, el mencionado autor destaca que la disponibilidad de fosfatos es mejorada con la adición de materia orgánica, presumiblemente debido a la quelatación de cationes polivalentes por los ácidos orgánicos y otros productos de la descomposición.

2.8 EFECTOS DEL PASTOREO EN EL SISTEMA

2.8.1 Aspectos generales

La interacción planta-animal es muy compleja. Por un lado las características de las pasturas (cantidad y calidad), van a determinar, junto con el potencial propio del animal, su desempeño. Por el otro lado, el forraje removido determina la cantidad y tipo de material remanente, que

posteriormente influenciará la capacidad de rebrote de la planta. El control de los mencionados procesos está en la base del manejo de los sistemas pastoriles.

Borrelli y Oliva (2001), destaca que al momento de asignar los animales a un potrero, sabemos que las pasturas se van a modificar en varios aspectos. Los animales realizan un proceso de defoliación selectiva, remueven el suelo con sus pezuñas y redistribuyen nutrientes y semillas con sus deyecciones. Muchos de los factores mencionados, pueden estar afectados directa o indirectamente por el ambiente.

Según Carámbula (2007), el manejo de la defoliación para permitir rendimientos elevados de forraje durante la etapa vegetativa, debe considerar de forma primordial la frecuencia y la intensidad del pastoreo, presentando la menor pérdida posible de recursos naturales y favoreciendo a la vez el buen comportamiento animal. Cada corte o pastoreo que se efectúe afecta la entrega de forraje de la pastura a través de los dos factores ya mencionados, frecuencia e intensidad los cuales generalmente tienen efectos opuestos.

Según Harris (1978), las estrategias de manejo basadas en estos factores (frecuencia e intensidad), y el momento de uso de una pradera tienen influencia directa sobre la composición botánica, el rendimiento y la calidad de la misma.

2.8.2 Parámetros que definen el pastoreo

2.8.2.1 Intensidad

Según Harris (1978), la intensidad se define como la proporción de forraje que es removido en la defoliación. La intensidad no solo afecta el rendimiento de cada defoliación sino que condiciona el rebrote y por lo tanto la producción total de la pastura. De esta forma mayor intensidad tiene como beneficio la cantidad de forraje cosechado pero como perjuicio la producción de forraje subsiguiente (Carámbula, 2007).

Parsons y Penning (1988), consideran que la eliminación de la mayor parte del área foliar es sinónimo de utilización eficiente del forraje. En concordancia con lo mencionado, Chilbroste et al. (2008) afirman que de esta manera aumenta la remoción de forraje verde y disminuyen las pérdidas por senescencia.

El área foliar remanente, es determinada por la intensidad de la defoliación y por el tipo de crecimiento de la especie, esto sumado a la eficiencia fotosintética determina el crecimiento luego de la defoliación (Carámbula, 2007).

La intensidad del pastoreo afecta el número de plantas, el número de macollos, y en particular el peso de los mismos (Saldanha et al., 2010)

Por todo lo mencionado anteriormente, para no afectar negativamente el crecimiento posterior cada especie tiene una altura recomendada de rastrojo (intensidad) a la que se debe pastorear. En el cuadro a continuación se presenta este dato para varias especies de interés agronómico.

Cuadro No. 5. Intensidad de pastoreo para cuatro especies de interés.

Especie	Alfalfa	Lotus	Trébol blanco	Trébol rojo
Altura de rastrojo luego del pastoreo	3-4	5	2-3	2-3

Fuente: Carámbula (1977)

2.8.2.2 Frecuencia

La frecuencia puede definirse como la periodicidad con la que las plantas integrantes de una pradera son defoliadas por el animal en pastoreo. Es el intervalo existente entre dos sucesivas defoliaciones, sufridas por la planta o en términos generales por la pradera en su conjunto (Novos, 1983).

La frecuencia con que cada planta es defoliada depende de una serie de factores: a) carga animal; b) presión de pastoreo; c) periodo de recuperación de la pastura y factores propios de la pastura como la composición botánica.

Cuando los pastoreos son muy frecuentes generan una reducción en el nivel de reservas y el peso de las raíces lo cual genera menor producción de forraje y rebrotes más lentos. El debilitamiento de las plantas por este factor aumenta la susceptibilidad al ataque de enfermedades, generando la muerte de las mismas (Formoso, 2000).

La frecuencia de defoliación no sólo tiene impacto sobre el comportamiento en las especies en la estación que se realiza, sino además sobre las estaciones posteriores (Formoso, 1995).

Si bien la frecuencia de utilización depende de cada especie o de la composición de la pastura y de la época del año en que aquella se realice, el elemento que determinará la longitud del período de crecimiento será la velocidad de la pastura en alcanzar un volumen adecuado de forraje, o sea, haber alcanzado el IAF óptimo. Por tanto en leguminosas donde su IAF óptimo es relativamente menor que el de las gramíneas se podrá hacer una utilización más frecuente de las mismas (Carámbula, 2007).

La frecuencia e intensidad de corte modifica la cantidad de meristemas refoliadores, los niveles de energía disponibles por los mismos y las tasas de crecimiento de los rebrotes.

2.8.3 Efectos sobre las especies que componen la mezcla

Según Carámbula (2007), el efecto causado por las defoliaciones varía entre gramíneas y leguminosas. A igual área foliar remanente, las leguminosas interceptan más luz por la disposición característica de sus hojas, permitiendo recuperarse más rápido que las gramíneas. Dentro de las gramíneas es posible encontrar también, este comportamiento diferencial entre los tipos erectos y postrados. Sin embargo, a pesar de que las leguminosas y las gramíneas postradas tienen rebrotes más rápidos, alcanzan antes el IAF óptimo, por lo tanto sus rendimientos de forraje resulta menor que el de una gramínea erecta. Se puede afirmar entonces que las gramíneas de porte erecto presentan un mayor rendimiento de forraje con manejos más aliviados.

Sin lugar a dudas el pastoreo incide directamente sobre la morfogénesis de las especies integrantes de las comunidades vegetales. Esta incidencia va a depender básicamente de la especie animal y de la densidad de carga que soporta la pastura (Novos, 1983).

Zanoniani (1999), propone colocar las plantas en condiciones similares de competencia por los recursos y luego de su pastoreo permitirles su recuperación. Para cumplir con las metas antes mencionadas debe descartarse el pastoreo continuo tradicional sin regulación de carga y se toma el pastoreo rotativo como la opción correcta.

En relación al *Lotus corniculatus*, tanto su producción como su persistencia, aumenta proporcionalmente con el largo del periodo de descanso. Esta especie es una de las leguminosas forrajeras más sensibles al manejo de

defoliación por lo que cuando se sobrepastorea, la población de plantas disminuye de manera significativa, aspecto que se agrava en periodos de sequía (Rebuffo, citado por Carámbula, 2009). En el manejo de pastoreo de lotus es fundamental mantener rastros altos, ya que es en el remanente de cada defoliación donde se encuentra una proporción elevada de las partes de la planta que intervienen en el rebrote (yemas de crecimiento y área foliar remanente).

En cuanto a la alfalfa, la misma presenta un potencial de producción y persistencia superior al resto de las leguminosas, de igual manera es una especie muy exigente en cuanto a sus requerimientos de manejo y muy sensible a las variaciones del mismo. La alfalfa es una forrajera con hábito de crecimiento de tipo arbustivo que está adaptada a esquemas de pastoreos rotativos, poco frecuentes, intensos y de poca duración. Una vez pastoreada, la planta rebrota y forma nuevos tallos. Estos se forman a partir de las yemas basales de la corona y/o de las yemas desde las yemas axilares que quedaron en los nudos de los tallos, que permanecieron en el rastrojo remanente (Formoso, 2000). Un aspecto práctico muy importante en esta especie es permitir la acumulación de reservas y realizar un adecuado manejo de estas de forma tal que la planta siempre sea capaz de efectuar el rebrote a partir de las mismas. Por otra parte cuanto mayor sea el nivel de reservas al reiniciarse un nuevo período de rebrote, mayor será el número de yemas basales que darán origen a nuevos tallos de la corona. Consecuentemente, el buen vigor determinará que los individuos presenten un alto número de tallos por planta, aspecto que se traducirá posteriormente en cultivos más densos, de mayor potencial de crecimiento y acumulación de forraje

Dactylis glomerata acepta defoliaciones frecuentes pero no intensas, ya que de lo contrario los animales afectarán a las plantas al consumir directamente las sustancias de reserva (Carámbula, 1977). Ensayos llevados a cabo por INIA La Estanzuela, muestran que el manejo rotativo de esta especie permitió obtener 23 % más de forraje por año que el manejo frecuente, el cual simulaba un pastoreo continuo. Por otro lado, *dactylis* es una especie menos resistente al pisoteo animal en relación a festuca, por lo que esto debe tenerse en cuenta en el manejo de pastoreo y la elección de los potreros.

En trébol blanco, debido a su hábito estolonífero, el crecimiento vertical está dado fundamentalmente por hojas y pedúnculos florales, por lo que no

solamente las defoliaciones no afectan en absoluto sus puntos de crecimiento sino que la calidad del forraje presenta un valor nutritivo muy alto a lo largo del ciclo de producción. El porte rastrero, índice de área foliar óptimo bajo y presencia de hojas maduras en el estrato superior son características que favorecen un manejo intenso (Carámbula, 1977). De todas maneras el trébol blanco es una especie que responde de gran manera al manejo rotativo lo que lo hace una especie muy plástica que se adapta a diferentes frecuencias e intensidades de pastoreo.

En relación a la festuca, Schneiter (2005) afirma que es necesario planificar y realizar un correcto manejo del pastoreo para poder mantener el vigor de las pasturas, aumentar la producción, mejorar la persistencia y reducir el enmalezamiento. La festuca se adapta rápidamente al manejo del pastoreo, cambiando el número y el tamaño de los macollos según como se las maneje. Un pastoreo con baja carga animal conduce a una pastura compuesta por una baja densidad de macollos pero de gran tamaño. Este mismo autor afirma que la estructura de la pastura, resulta en altas tasas de crecimiento acompañadas por un importante envejecimiento y muerte de hojas. Por el contrario, cuando se pastorea con carga alta, la pastura consistirá en una alta densidad de macollos de menor tamaño y hojas pequeñas. Debido a la mayor carga el crecimiento será menor, al igual que la senescencia. Este efecto compensatorio no se expresa cuando las cargas son excesivamente bajas o altas.

Las diferencias morfológicas y fisiológicas del trébol blanco en relación al resto de las leguminosas explica las variaciones en las respuestas obtenidas frente a aumentos en la frecuencia de defoliación (Formoso, 1993)

De forma muy general se puede decir que con pastoreos frecuentes y poco nitrógeno, en una mezcla forrajera se ve favorecido el componente leguminosa, mientras que pastoreos poco frecuentes y mucho nitrógeno se favorece a las gramíneas. Por último para lograr un buen balance gramínea leguminosa se recomiendan pastoreos frecuentes y mucho nitrógeno en el suelo (Carámbula, 2007).

Según Carámbula (1977), la principal limitante en los sistemas es el manejo inadecuado que se les hace a las plantas forrajeras. A pesar de cada especie tiene características definidas y su máxima producción se logrará aplicando el manejo preciso para cada especie hay ciertas medidas de manejo que se deben respetar en todos los casos. Entre estas mencionadas medidas

se destacan: no remover los puntos de crecimiento en estado vegetativo, mantener las sustancias de reserva bajo niveles adecuados, no reducir excesivamente el área foliar, mantener sistemas radiculares vigorosos, entre otros.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 CONDICIONES EXPERIMENTALES GENERALES

3.1.1 Ubicación y período experimental

El presente trabajo se realizó en la de la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni (Facultad de Agronomía, Universidad de la República; Paysandú, Uruguay), localizada en la Ruta 3 Km 363, durante el 20 de enero de 2014 al 20 de septiembre de 2014. El mismo se desarrolló en doce parcelas con diferentes mezclas y cargas.

3.1.2 Descripción del sitio experimental

El experimento se llevó a cabo en el potrero No. 34 sobre la latitud 32°22'30.93"S y longitud 58°3'47.08"O. Según la Carta de reconocimiento de suelos, escala 1:1.000.000, el área en estudio se encuentra sobre la Unidad San Manuel, correspondiente a la Formación Fray Bentos. Como suelos dominantes presenta Brunosoles Éútricos Típicos (Háplicos), superficiales a moderadamente profundos de textura limo arcillosa. Como suelos asociados se encuentran, Brunosoles Éútricos Lúvicos de textura limosa y Solonetz solodizados melánicos de textura franca.

Uruguay se caracteriza por tener clima templado, con un régimen de precipitaciones isohigro, con 1200 mm de promedio anual.

La temperatura media anual es de 17,5 °C, variando entre unos 20°C en la zona noreste, hasta unos 16 °C en la zona atlántica. La isoterma tiene una orientación del EN A SW, y sus valores decrecen hacia el sudeste. Las temperaturas más altas se presentan en los meses de enero y febrero y las más bajas en los meses de junio y julio según la región. Cabe destacar que, los cambios de temperatura son frecuentes y pronunciados en cualquier época del año.

3.1.3 Antecedentes del área experimental

Las distintas mezclas del presente experimento se sembraron sobre el rastrojo de una pradera de cuarto año constituida por dos mezclas forrajeras. La pastura se sembró el 30 de mayo del año 2010. Una de las mezclas se sembró a razón de 10 kg/ha de *Dactylis glomerata* cv. INIA Perseo, 12 kg/ha de

Medicago sativa cv. Chaná; mientras que la otra con 15 kg/ha de *Festuca arundinacea* cv. Tacuabé, 2 kg/ha de *Trifolium repens* cv. Zapicán, 8 kg/ha de *Lotus corniculatus* cv. San Gabriel, 10 kg/ha de *Paspalum notatum* cv. Pensacola bahia grass, 45 kg/ha de *Paspalum dilatatum*. Se fertilizó con 150 kg de 18 - 46 a la siembra y 100 kg/ha de urea a mediados de agosto. Se aplicaron 350 cc/ha de Flutmesulam y 1,2 l/ha de Venceweed a mediados de julio del 2010. Posteriormente en abril de 2011 se refertilizó con 100 kg/ha de 18 - 46 y 100 kg/ha de urea en fines de agosto. En dicha fecha se aplicó además 350 cc/ha de Flutmesulam y 1,2 l/ha de Venceweed. En el tercer año de la pradera se aplicaron 100 kg/ha de 7 - 40 a mediados de abril, 100 kg/ha de urea a mediados de mayo y 70 kg/ha de urea a mediados de agosto. Dado que las dos especies C4 no se implantaron las mezclas resultaron compuestas por *Dactylis glomerata* y *Medicago sativa* por un lado, y *Festuca arundinacea*, *Trifolium repens* y *Lotus corniculatus* por otro.

3.1.4 Tratamientos

Los tratamientos fueron cuatro en total, cada uno con su respectiva repetición y consisten en evaluar la interacción de la mezcla y la carga y su efecto en la productividad de la pastura sembrada posteriormente.

Los tratamientos son:

- **T1** *Dactylis glomerata* + *Medicago sativa*. 4 novillos
- **T2** *Festuca arundinacea* + *Trifolium repens* + *Lotus corniculatus*. 4 novillos
- **T3** *Festuca arundinacea* + *Trifolium repens* + *Lotus corniculatus*. 6 novillos
- **T4** *Festuca arundinacea* + *Trifolium repens* + *Lotus corniculatus*. 2 novillos

Los animales fueron asignados al azar a los tratamientos y se manejaron novillos Holando de 450 kg de peso vivo (PV) promedio. La pastura fue pastoreada desde el año 2010 hasta enero de 2014, con sucesivas tandas de novillos Holando en terminación. El método de pastoreo fue rotativo, y el criterio utilizado para el cambio de franja fue una intensidad de 5 cm en otoño-invierno y 7 en primavera- verano.

A fines de enero se aplicó 4 l/ha de glifosato de 480 g de ia y posteriormente a fines de abril se procedió a repetir la aplicación. Posteriormente fue sembrada una pradera el 29 de mayo de 2014. En el mismo,

se encuentran parcelas mezcla de *Festuca arundinacea*, *Trifolium repens* y *Lotus corniculatus*. La festuca fue sembrada en la línea a razón de 15 Kg/ha. Tanto el trébol blanco como el lotus se sembraron al voleo. Las densidades fueron de 2 kg/ha y 8 kg/ha respectivamente. También se sembró en el potrero alfalfa y dactylis a razón de 12 kg/ha y 10 kg/ha respectivamente. Se aplicaron a la siembra 100 Kg de 7-40 y 100 kg de urea el 4 de agosto. El 12 de agosto se aplicaron 400 cm³ de Preside. En el periodo de preparación de la sementera para la posterior siembra se realizaron las determinaciones para caracterizar las condiciones físico-químicas del suelo.

3.1.5 Diseño experimental

El diseño del experimento consiste en tres bloques distribuidos completamente al azar divididos en cuatro parcelas cada uno sumando 4,58 hectáreas de área experimental.

Dentro de los 3 bloques que conforman el experimento se distribuyen los cuatro tratamientos evaluados de manera completamente al azar, determinando un total de 12 parcelas a evaluar

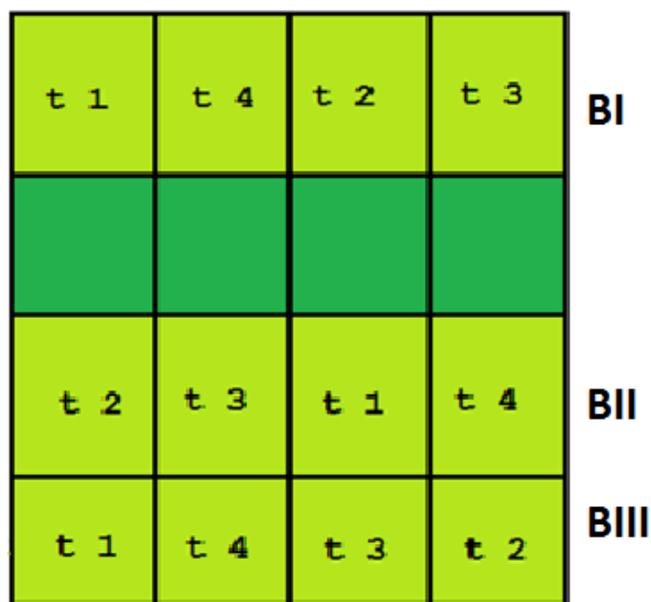


Figura No. 1. Croquis del diseño experimental.

Fuente: De Souza y Presno (2013).

3.2 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La metodología del experimento se basó en la medición de infiltración, carbono orgánico, fósforo, potasio, materia seca, densidad aparente y raíces en el perfil, eligiéndose para ello sitios de determinación dentro de las parcelas que tuvieran suelos de iguales características.

3.2.1 Variables estudiadas

3.2.1.1 Infiltración

La infiltración es el proceso mediante el cual el agua penetra la superficie del terreno hacia el suelo. Para la determinación de ésta variable, se utilizaron dos anillos de plástico, uno central colocado a una profundidad de 1 cm, y uno exterior a éste a la misma profundidad. La utilización de los anillos concéntricos, permite limitar la influencia del contorno obteniéndose una mejor precisión en la medida de infiltración vertical. Por otro lado, con el objetivo de continuar mejorando la precisión se debe agregar agua también en el anillo exterior. Se colocó una bolsa de nylon en el anillo interior y se colocaron sobre ésta 450 cm³ de agua, previamente se debió retirar la vegetación existente con el cuidado de no modificar el suelo. Luego de retirar la bolsa se cronometró hasta que la muestra deje de infiltrar. Se repitió la operación, en el mismo lugar, hasta que termine de infiltrar o 45 minutos como máximo. Si finalizado el tiempo mencionado, continuaba habiendo agua se medía los centímetros remanentes dentro del anillo interior.

3.2.1.2 Carbono orgánico- potasio-fósforo

Para la determinación de estos datos se procedió a muestrear cada parcela en 3 lugares diferentes con taladro de mano a una profundidad de 20 cm. Luego de esto se dividió cada muestra en 3 partes, de 0-5cm, 5-10cm y 10-20cm. Las mismas se agruparon por profundidad, obteniendo en total 3 muestras por parcela.

En el laboratorio se pesó el total de cada bolsa correspondiente a cada profundidad y parcela. Luego se sacó una submuestra de aproximadamente de 50 g y se colocó en la estufa a 105 °C. El resto de la muestra evaluada se secó al aire y se le separan los restos secos para poder realizar análisis de carbono orgánico, fósforo y potasio. El total de muestras a evaluar fue de 36.

3.2.1.3 Densidad aparente

Para la determinación de esta variable se utilizó la muestra de 50 g mencionada en el párrafo anterior. El valor utilizado para el cálculo de densidad aparente es el peso de la muestra seca. Se determinó el diámetro del calador utilizado en el muestreo con el objetivo de poder calcular el volumen del mismo, y de esta manera determinar la densidad aparente, mediante la fórmula peso seco de la muestra/ volumen del calador. Se calculó esta variable para la profundidad de 0 a 5 cm, de 5 a 10 cm, de 10 a 20 cm, y de 0 a 20 cm.

3.2.1.4 Forraje disponible

Esta variable hace referencia a la cantidad de forraje presente (kg/ha de MS) previo al ingreso de los animales en la parcela.

Para la determinación de la materia seca (kg/ha de MS) se procedió a muestrear 10 veces cada parcela. El muestreo consistió en la realización de cortes a 1 cm de remanente, utilizando una tijera de aro y cuadros de 50 por 20 cm. Luego de 48 horas en estufa a 60 °C se obtuvo el peso seco de la muestra. Para calcular la materia seca (kg/ha) se multiplicó el peso de la muestra seca por cien, debido que las mediciones se realizaron en cuadrados de 50 cm por 20 cm tal como se mencionó anteriormente.

3.2.1.5 Raíces

Para la determinación de esta variable se realizaron tres muestras por parcela, 36 muestras en total. Se midió el perfil extraído con un cilindro de 10 cm de diámetro hasta hacer contacto con el material madre y se separó a los 20 cm de forma de tener muestras de 0 a 20 cm y de 20 cm a más. En cada parcela se juntaron en un balde las tres muestras de 0-20 cm por un lado, y en otro balde distinto las muestras de 20 cm a más. Se hizo el mismo procedimiento para el resto de las parcelas estudiadas, obteniendo en total 24 muestras, 12 baldes de 0 a 20 cm, y 12 baldes de 20 cm a más. Se identificaron las muestras y se agregó agua a los baldes y una cucharada de tetrapirofosfato de sodio. Después de transcurridas 24 horas se empezó a tamizar para sacar las raíces del suelo con malla tipo mosquitero. Una vez obtenidas las raíces se colocaron en una estufa a 60 °C por 48 horas. Por último se pesaron las mismas, obteniendo el peso seco de las raíces.

3.3 HIPÓTESIS

3.3.1 Hipótesis biológica

- Existe efecto de la mezcla y la carga, y su interacción, en las propiedades físicas del suelo.
- Existe efecto de la mezcla y la carga animal e interacción de los factores sobre la productividad posterior de una pradera.

3.3.2 Hipótesis estadística

Ho: $T1=T2=T3=T4=0$

Ha: Existe algún tratamiento distinto de 0.

Ho: las variables estudiadas son iguales para los distintos tratamientos (diferentes mezclas y cargas).

Ha: existe diferencia entre los tratamientos para al menos alguna de las variables.

3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó el análisis de varianza entre tratamientos mediante el paquete estadístico INFOSTAT, en el caso de existir diferencias entre tratamientos se estudió las mismas mediante análisis comparativo de medias de LSD Fisher con una probabilidad del 10 %.

3.4.1 Modelo estadístico

El modelo corresponde a un diseño en bloques completos al azar (DBCA) para evaluar la interacción mezcla y carga.

$$Y_{ij} = \mu + t_i + \beta_j + \xi_{ij}$$

Siendo:

- Y = corresponde a la variable de interés.
- μ = es la media general.

- t_i = es el efecto de la i-ésimo tratamiento.
- B_j = es el efecto del j-ésimo bloque.
- ξ_{ij} = es el error experimental.

También se utilizó otro modelo para evaluar los efectos de los factores mezcla y carga independiente.

$$Y = \mu + M + C + M * C + B + \xi$$

Siendo:

- Y = corresponde a la variable de interés.
- μ = es la media general.
- M = es el efecto de la mezcla.
- C = es el efecto de la carga.
- B = efecto del bloque
- ξ = es el error experimental

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DEL PERÍODO DE EVALUACIÓN

Se compararon los datos de temperatura y precipitaciones de la Estación Experimental Mario A. Cassinoni con los de la Dirección Nacional de Meteorología de la serie histórica 1980 a 2009 para la localidad de Paysandú.

4.1.1 Temperatura

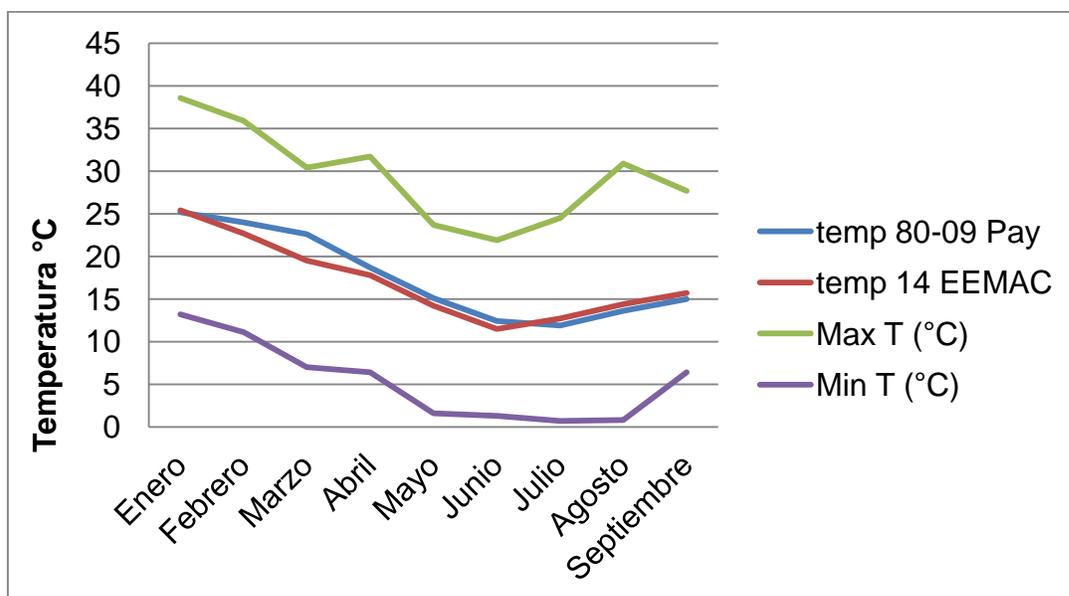


Figura No. 2. Temperatura media de la serie histórica en Paysandú y del período experimental en la EEMAC según mes.

Como se puede ver en la gráfica las temperaturas medias durante el período evaluado estuvieron por debajo de la serie histórica en la primer parte del año, hasta mediados de junio donde la temperatura superó los registros de la serie histórica.

Las temperaturas del período experimental variaron entre 11,5 y 25,2 °C, existiendo diferencias con el promedio entre 1980 y 2009. Estas diferencias se dieron en 8 de los 9 meses evaluados y generalmente temperaturas por debajo de la media histórica. En los meses de febrero, marzo, abril, mayo y junio se registraron temperaturas entorno a 1,4°C por debajo de la media

mientras que en los meses de julio, agosto y setiembre se superó la media histórica en casi 1 grado °C. El único mes evaluado que prácticamente no tuvo diferencias con el promedio fue enero. Según Carámbula (2002), las especies con metabolismo tipo C3 como *Festuca arundinacea*, *Trifolium repens*, *Lotus corniculatus* y *Medicago sativa* tienen buen desarrollo con temperaturas de 15 a 20 °C. Durante el periodo mayo – agosto en la serie histórica se registran temperaturas por debajo del óptimo para el desarrollo de las especies (13 °C), comportamiento que se acentuó durante el periodo experimental con temperaturas promedio junio-julio entorno a 12,1 °C. Posteriormente en el mes de setiembre no se registraron temperaturas limitantes para las especies, sin embargo en los meses de enero y febrero se registraron temperaturas promedio de 24,1 °C las cuales se encuentran por encima del óptimo requerido.

4.1.2 Precipitaciones

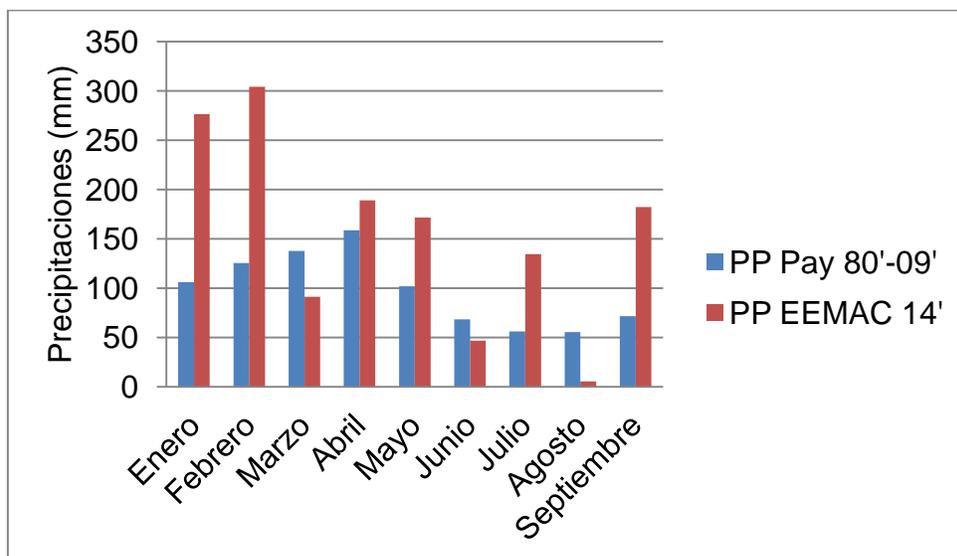


Figura No. 3. Precipitaciones de la serie histórica y del período experimental para la EEMAC según mes.

Teniendo en cuenta los datos climáticos presentados anteriormente, podemos considerar que las precipitaciones acumuladas mensuales durante el periodo experimental no fueron una limitante para un buen desarrollo de las especies presentes en la mezcla. Como se observa en la figura, existen diferencias entre los promedios mensuales de la serie histórica con los del periodo experimental. Las precipitaciones medias del presente año en

evaluación fueron superiores al promedio histórico en la mayoría de los meses, a excepción de marzo, junio y agosto. Diciembre por su parte es el mes con comportamiento más similar al promedio histórico. Particularmente en los meses de verano (enero y febrero) fue donde más se despegó de la media con 170 mm, mientras que en marzo y agosto las precipitaciones estuvieron entorno a los 50 mm por debajo, respecto a la serie histórica. En el total del período diciembre-setiembre llovieron 510 mm por encima de la media lo cual reafirma el concepto de que en este caso el agua no fue limitante para el crecimiento vegetal, sino que en la mayoría de los meses fue un gran estímulo para el mismo.

Si bien existen diferencias en el comportamiento frente a condiciones de déficit hídrico entre las especies sembradas que componen las mezclas, en el transcurso del periodo experimental, no se dieron condiciones de estrés que permitan cuantificar las mismas. Esto se debió en parte al régimen de las precipitaciones las cuales intercalaron periodos de exceso y déficit y a la capacidad de almacenaje de agua de los suelos donde se evaluaron.

4.1.3 Balance hídrico

En el gráfico presentado a continuación se presenta el balance hídrico realizado para el año 2014 con el objetivo de cuantificar el nivel de agua presente en el suelo de forma mensual.

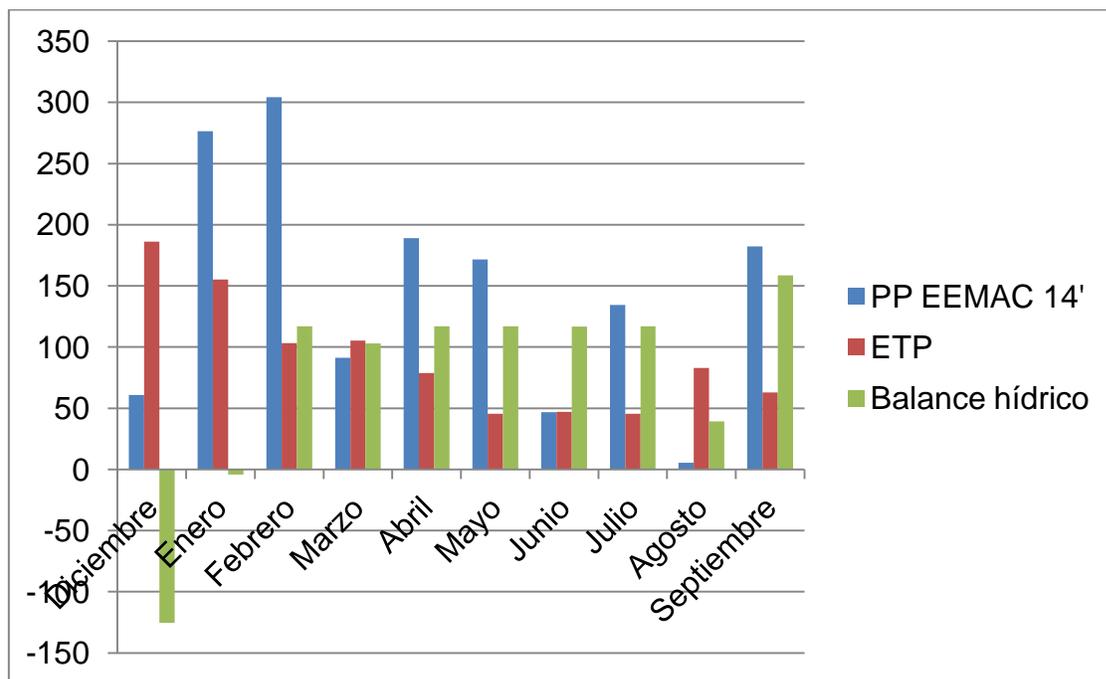


Figura No. 4. Balance hídrico del período experimental para la EEMAC según mes.

Dada las altas temperaturas que se dieron en los meses de verano, los valores de evapotranspiración también fueron elevados lo que consecuentemente llevó a obtener resultados de balance hídrico negativos en los meses de diciembre y enero. Si bien estos suelos tienen una capacidad máxima de almacenamiento alta (117 mm) el valor de balance hídrico negativo generó condiciones de seca en la mencionada época. Esto llevó a retrasar la época de siembra, buscando así mejores condiciones para la implantación de la pastura. Por otra parte, el mayor período de barbecho favoreció un mayor desarrollo de malezas, lo que sumado a la baja eficiencia del glifosato dadas las condiciones mencionadas, dificultó su control a la siembra y determinó que se volviera a realizar otra aplicación.

En el otoño las precipitaciones estuvieron por encima de la media histórica lo que permitió reponer la cantidad de agua disponible. Por todo esto es que se puede decir que en otoño el agua no fue limitante para el crecimiento de las pasturas sembradas. Sin embargo nos encontramos con que en este año

en particular las precipitaciones superiores provocaron un descenso de la temperatura lo cual si pudo haber enlentecido el crecimiento vegetal.

La alternancia de condiciones de seca, originadas en el verano, con las de humedad, originadas en el otoño, es posible que generen el fenómeno de expansión y contracción de arcillas característicos de estos suelos. Este comportamiento afecta los procesos físicos y químicos del suelo, ya que modifica su estructura, su infiltración, su aireación, el movimiento en profundidad de nutrientes y agroquímicos. Lo anteriormente mencionado estaría afectando directa e indirectamente el crecimiento vegetal (Formoso, 2007).

En invierno el suelo sigue húmedo y con disponibilidad de agua pero nuevamente nos encontramos con que las precipitaciones en el mes de junio llevan a que la temperatura sea inferior a la serie histórica y afecte negativamente el crecimiento. Por otra parte existe con estas temperaturas tan bajas riesgo de heladas que también dificultan el crecimiento vegetal.

Al comienzo de la primavera hay buena disponibilidad de agua en el suelo y la temperatura está en aumento, por lo que ambos factores colaboran para que se esperen mayores tasas de crecimiento (segunda mitad de agosto y setiembre).

Como se ve en la gráfica, al cambiar los valores de precipitaciones y temperaturas se modifica el resultado del balance. Esto es importante si consideramos que a medida que el contenido de agua en el suelo es adecuado, el crecimiento de las plantas pasa a depender de la temperatura media del período. En cambio cuando la cantidad de agua es limitante para el crecimiento, aún a temperaturas adecuadas (verano seco) el mismo es escaso y por otra parte ese forraje producido en estas condiciones, es de baja digestibilidad (Olmos, 1992).

Teniendo en cuenta los datos climáticos presentados anteriormente, podemos considerar que las precipitaciones acumuladas mensuales durante el periodo experimental no fueron una limitante para un buen desarrollo de las especies presentes en la mezcla, a diferencia de la temperatura la cual estuvo por debajo del rango óptimo en el primer trimestre y por encima el último mes.

4.1.4 Efecto de las precipitaciones sobre la infiltración

En el gráfico a continuación se muestra el régimen de precipitaciones del mes de marzo de 2014, con el objetivo de analizar su efecto en la medida de infiltración obtenida en el experimento.

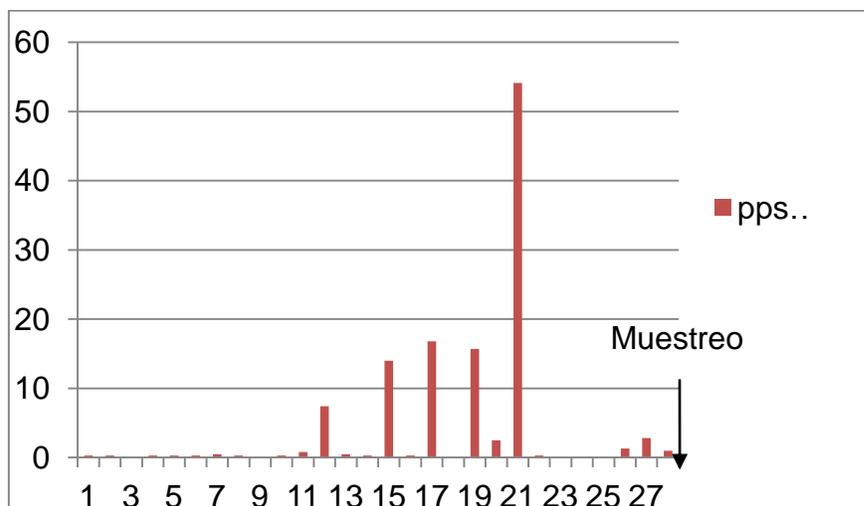


Figura No. 5. Precipitaciones del mes de marzo de 2014 (FA. EEMAC).

Como se puede ver en la gráfica No. 5 en el mes de marzo las precipitaciones fueron escasas y concentradas en un corto periodo de tiempo. Los registros obtenidos en este mes (91,2 mm) fueron considerablemente menores a los registrados de la serie histórica los cuales marcan valores más elevados (137,8 mm). Las precipitaciones se concentraron tal como se mencionó anteriormente varios días antes de tomarse los datos de infiltración por lo cual en el momento de llevarse a cabo la parte práctica, el 28 de marzo nos encontramos con un suelo seco. A pesar que en la gráfica se puede apreciar que se dieron precipitación los días previos estas fueron de muy bajo valor y sobre un suelo que siguió en esa condición cuando se realizaron las medidas. Esa condición del suelo pudo haber afectado de cierta manera los datos de infiltración dado que cuando un suelo se encuentra de esa manera no siempre logra expresar las diferencias de infiltración que efectivamente hay entre tratamientos de carga. Al encontrarse seco el agua que se utiliza para realizar las medidas es rápidamente absorbida por el suelo y es necesario utilizar grandes cantidades de agua para obtener los valores reales de infiltración.

4.2 PARÁMETROS DEL SUELO Y DE LAS PASTURAS ESTUDIADOS

4.2.1 Carbono orgánico de 0 a 5 cm

Luego de procesar los datos obtenidos en el programa INFOSTAT se llegó a la conclusión de que no hay diferencias significativas para este valor entre los tratamientos estudiados tal como se puede apreciar en el cuadro a continuación.

Cuadro No. 6. Porcentaje de carbono orgánico en la fracción de 0 a 5 cm según tratamiento.

Tratamiento	Medias
DA4	2,63 A
FBL4	2,75 A
FBL2	2,82 A
FBL6	3,04 A

Los resultados no coinciden con los obtenidos por Nabinger et al. (2008), quien estudió el efecto de distintas dotaciones animales en los atributos físicos del suelo en un ambiente de campo natural localizado en la Estación Experimental Agronómica de Río Grande do Sul. Dichos atributos se investigaron en las fracciones de 0 a 5 cm, 5 a 10 cm y 10 a 20 cm, al igual que en la presente tesis. A diferencia de este trabajo, Nabinger et al. (2008) cuantificó las diferencias obtenidas entre los tratamientos (asignaciones de forraje de 4 %, 8%,12% y 16%) y un testigo sin acceso a animales con el objetivo de medir los efectos del pastoreo en la propiedades físicas del suelo. Para el caso del carbono orgánico (0-5), se encontraron diferencias entre el testigo y el tratamiento con 4 % y 8 % de asignación de forraje, a favor del testigo. Nabinger et al. (2008), explica que a mayor intensidad de pastoreo, hay una nueva distribución de los nutrientes para suprimir la demanda de los puntos de crecimiento y restituir la parte aérea, evitando el crecimiento de nuevas raíces. Esto determina un porcentaje de restos secos menor, lo que conduce a un menor aporte de carbono orgánico al suelo. Por otro lado, encontró una relación entre la cantidad de agregados del suelo y la baja intensidad de pastoreo (asignaciones de forraje de 12 % y 16 %), es decir, a mayores asignaciones de forraje, mejor estructuración y desarrollo de agregados.

Carbono orgánico de 5 a 10 cm

En relación a los valores obtenidos de carbono en los próximos 5 a 10 cm de suelo estudiados, sí se encontraron diferencias significativas tal como se puede observar en el cuadro a continuación.

Cuadro No. 7. Porcentaje de carbono orgánico en la fracción de 5 a 10 cm de suelo según tratamiento.

Tratamiento	Medias
DA4	1,99 A
FBL2	2,38 AB
FBL6	2,55 B
FBL4	2,66 B

Lo primero que se puede inferir de los resultados, es que la diferencia estaría explicada principalmente por el componente mezcla de los tratamientos estudiados (ver anexo No. 1) ya que dentro de la misma mezcla (festuca, trébol blanco y lotus), no hay diferencia significativa entre las distintas dotaciones. Esto último se observa también si comparamos tratamientos con igual dotación (DA4 y FBL4), y se ven diferencias estadísticamente significativas. Lo anteriormente mencionado estaría exponiendo a la mezcla como el factor más importante en la definición de los resultados. Una posible explicación de lo encontrado mediante el análisis de varianza, podría ser las diferencias morfológicas de las especies presentes en ambas mezclas. En el caso de *Dactylis glomerata* y *Medicago sativa*, se destaca la concentración del sistema radicular de la primer especie mencionada en los primeros centímetros del suelo, y el desarrollo en profundidad de la segunda, mostrando los valores más bajos de carbono orgánico en el estrato de 5 a 10 cm. En la otra mezcla estudiada, la presencia de *Festuca arundinacea* aporta un desarrollado sistema radicular a profundidades mayores en relación a *Dactylis glomerata* (Formoso, 2010). Además cuenta con la presencia de dos leguminosas que a pesar de tener raíz típica y pivotante, las cuales exploran en profundidad, no logran alcanzar distancias tan largas como la alfalfa. Por otro lado, es importante mencionar, la capacidad del trébol blanco de desarrollar raíces en horizontes superficiales luego de que su raíz principal muera al primer año.

Estudios llevados a cabo por De Souza y Presno (2013), muestran diferencias en el estado de la pastura estudiada en el tercer año, inferido a partir del porcentaje de suelo descubierto. El tratamiento DA4 fue el que mostró los mayores valores de este indicador en relación a los otros tal como se observa en el cuadro a continuación. Esto nos estaría indicando que el aporte de restos vegetales realizados por la mezcla durante los años anteriores de evaluación fue considerablemente menor a las otras especies, y consecuentemente el aporte de carbono, en relación a los otros tratamientos. A pesar de esto se debe mencionar que el valor de DA4 es un valor bajo si tomamos en cuenta la edad de la pastura.

Por otro lado es importante resaltar la diferencia entre gramíneas y leguminosas en cuanto a la relación carbono/ nitrógeno, siendo superior para el primer grupo mencionado. Un valor más alto de esta relación implica menores velocidades de descomposición de los restos vegetales, por tanto, tasas de mineralización menores. En cuanto a las fracciones húmicas producidas en el caso de las leguminosas, son más lábiles, y por tanto su efecto en el suelo es más efímero. Todo lo mencionado conduce a pensar que el tratamiento con gramíneas en mejor estado, más productivas, aportarán al suelo fracciones de carbono orgánico más estables en el tiempo, lo cual podría explicar los resultados obtenidos.

Cuadro No. 8. Porcentaje de suelo descubierto promedio según tratamiento.

Tratamiento	% suelo descubierto
DA4	2,7
FBL2	0,9
FBL4	1,2
FBL6	1,6

Fuente: De Souza y Presno (2013)

Estudios llevados a cabo por Berhongaray (2007), en la Universidad de la Pampa, afirman que el contenido de carbono orgánico en los suelos está relacionado al aporte de carbono de la vegetación presente. Por otro lado en este trabajo, se destaca la influencia del ambiente edáfico en la productividad primaria neta, y por tanto en la capacidad de aporte de carbono de las pasturas.

Se menciona que las diferencias en los niveles de carbono en el suelo pueden estar explicadas por la capacidad de las plantas de particionar biomasa a las raíces. Los sistemas radiculares de gran desarrollo, con descomposiciones lentas en el suelo, también favorecen altos niveles de carbono en el perfil. Como ejemplo de lo anteriormente mencionado se encuentran las gramíneas, con relaciones carbono/nitrógeno altas tal como se explicó y dentro de las leguminosas sistemas radiculares muy desarrollados y leñosos tras 4 años de vida como es el caso de la alfalfa y lotus.

4.2.2 Carbono orgánico de 10 a 20 cm

Para esta variable se obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos. Si bien, en este caso el efecto de la mezcla se observa al comparar el tratamiento FBL4 y FBL6 con el DA4, también existiría efecto dotación, debido a que el tratamiento FBL4 y FBL6 difieren de forma estadísticamente significativa del FBL2 (ver anexo No. 1).

Cuadro No. 9. Porcentaje de carbono orgánico en la fracción de 10 a 20 cm de suelo según tratamiento.

Tratamiento	Medias
FBL2	1,84 A
DA4	1,87 A
FBL6	2,26 B
FBL4	2,26 B

En el trabajo anteriormente mencionado, llevado a cabo por Nabinger (2008) con el objetivo de evaluar el efecto carga, se muestra como a mayor intensidad de pastoreo (asignaciones de 4%, 8% y 12%), menor es la cantidad de carbono orgánico en el suelo (10 a 20 cm) en relación el testigo. En el único caso en donde no se encontraron diferencias significativas fue en el caso de altas asignaciones de forraje (16%).

En el presente experimento se esperaba encontrar un efecto carga y un efecto mezcla. En cuanto a la carga, los tratamientos más aliviados, tal como se mencionó anteriormente, serían más capaces de aportar carbono al suelo, dada su producción de materia seca. Sin embargo, como se puede apreciar en el cuadro, el tratamiento FBL2 difirió significativamente de FBL6 y FBL4, a favor

de estos últimos. Una posible explicación de los resultados obtenidos es que la baja carga en el tratamiento FBL2 desarrolló la parte aérea ejerciendo un efecto de dominancia apical, el cual puede afectar el desarrollo radicular, tal como lo menciona Carámbula (2002).

En cuanto al efecto mezcla, los resultados, conforme a lo previsto, fueron negativos para el tratamiento DA4. Esto último explicado posiblemente, tal como se mencionó, por el estado de la pastura en su último año de producción. Cabe destacar, que los valores presentados de suelo descubierto fueron para el invierno, por tanto se espera que en verano aún fueran mayores.

4.2.3 Fósforo

Para el caso de este nutriente no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, para las tres profundidades estudiadas. En el cuadro a continuación se presentan los datos de fósforo obtenidos de 0 a 5 cm de suelo según tratamiento.

Cuadro No. 10. Fósforo (ppm) según tratamiento de 0 a 5 cm de suelo.

Tratamiento	Medias
FBL4	15,97 A
FBL2	18,33 A
FBL6	23,5 A
DA4	30,7 A

Como se puede ver en el cuadro no existe diferencia estadística entre los valores obtenidos, sin embargo agrónomicamente es posible la existencia de diferencia dado que en el caso del tratamiento DA4 el valor es considerablemente superior a los otros. Esto se da dado que la mínima diferencia significativa posiblemente sea muy alta para este caso, lo que hace que a pesar de la alta variabilidad dentro de los tratamientos no existan diferencias significativas.

Los valores obtenidos en los diferentes tratamientos están acorde a los encontrados hoy en día en la región para suelos que sufrieron años de laboreo continuo y pérdidas de materia orgánica (Hernández, 1995). Estos resultados

son positivos si tomamos en cuenta la historia de chacra, pero debe considerarse que posiblemente se esté expresando en este análisis los efectos de la fertilización fosfatada que se venía realizando en las parcelas años anteriores. Analizando 4 años para atrás nos encontramos con el agregado 73 kg de P_2O_5 a la siembra y 46 kg del mismo cuando se re fertilizó en otoño, esto sin duda dada la dinámica del fósforo puede estar influyendo en el análisis actual. Dado que el manejo de la fertilización fue el mismo para todas las parcelas las diferencias encontradas estarían explicadas por las variaciones en el contenido de arcillas y el efecto de retención que estas causan y no por el aporte externo de fósforo. Esta diferencia agronómica a favor del tratamiento DA4 no es esperable si tenemos en cuenta que dentro del componente de la mezcla tenemos a la alfalfa la cual es una leguminosa con altos requerimientos de fósforo. Una buena pastura en base a alfalfa puede extraer 60 kg/há/año de fósforo. Una posible explicación para este resultado podría ser que el tratamiento de DA4 haya sufrido menores pérdidas de erosión que el resto y por lo tanto el contenido de fósforo en el análisis sea mayor. Esto parecería ir en contra por lo encontrado por De Souza y Presno (2013), en cuanto al porcentaje de suelo descubierto en el tratamiento DA4 antes analizado, pero no lo es dado que como ya se menciona si bien es el valor más alto es un valor bajo de suelo descubierto considerando la edad de la pastura.

En el cuadro No. 11 se observan los valores obtenidos en el experimento para fósforo de 5 a 10 cm de suelo.

Cuadro No. 11. Contenido de fósforo (ppm) según tratamiento de 5 a 10 cm de suelo.

Tratamiento	Medias
FBL6	8,8 A
FBL2	9,6 A
DA4	9,7 A
FBL4	13,2 A

En este caso al variar la profundidad de análisis nos encontramos con que tampoco hubo diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. En esta oportunidad los valores fueron más similares entre si y el tratamiento DA4 no logra mantener la diferencia mostrada en el cuadro anterior. Esto era

esperable dado que a medida de nos alejamos de la superficie en chacras con años de siembra directa los valores de fósforo van siendo cada vez menores y tienden a parecerse cada vez más entre sí. Esto mismo fue encontrado por Calviño et al. (2000), trabajando sobre la fertilización fosfatada en trigo en la provincia de Tandil, donde concluyeron que existe efecto de estratificación en siembra directa y eso explicó que en todos los lotes evaluados se estableció disminución en los contenidos de P en función de la profundidad de suelo.

A continuación se presentan los datos de fósforo según tratamiento para la profundidad de 10 a 20 cm de suelo.

Cuadro No. 12. Resultado de análisis de fósforo (ppm) según tratamiento de 10 a 20 cm de suelo.

Tratamiento	Medias
DA4	4,27 A
FBL6	5,67 AB
FBL2	6,17 AB
FBL4	6,6 B

En este caso los valores de análisis nos permiten corroborar la afirmación anterior dado que los valores de análisis a mayor profundidad arrojaron resultados más bajos. Por otra parte también reafirma la tendencia de los distintos tratamientos a obtener resultados cada vez más similares entre sí. Cabe destacar, que las muestras en la presente tesis se obtuvieron de parcelas pastoreadas. Aclaramos esto dado la dinámica del nutriente en pastoreo la cual según los estudios de Hutton (1965) trabajando con vacas lecheras, existen áreas que se enriquecen y otras que se empobrecen dado la distribución desigual que caracteriza al fósforo dado que el retorno al campo es mediante las heces de las animales (66%). Los estudios mencionados nos estarían indicando que las muestras tomadas de la parcela podrían haber sufrido estos efectos de enriquecimiento o empobrecimiento por lo que existe la posibilidad de que eso haga cambiar los valores de análisis. Si bien el muestreo se realizó utilizando la foto área de Google Earth y buscando los puntos más representativos de cada parcela, evitando muestrear zonas con algún defecto tal como blanquéales, debemos aclarar que es difícil distinguir cuales son estas áreas y más aún si tenemos en cuenta que el muestreo se realizó varios días posteriores del pastoreo. Como ya se mencionó anteriormente el método de

análisis fue el Bray I, el cual aumenta la variabilidad y el error si en el suelo tenemos alta presencia de carbonato de calcio. El error se explica dada la retención que realiza el carbonato de calcio sobre el fósforo del suelo, lo cual lleva a que el valor de análisis sea menor a lo que realmente contiene el mismo. Esto es aún más grave en suelos superficiales o laboreados por varios años que tienen carbonato de calcio en grandes cantidades y más en superficie aumentando la retención del fósforo, sub estimando el valor real en el análisis y aumentando su variabilidad espacial.

A mayor profundidad hay menos fósforo pero además algo muy importante hay menor variabilidad, lo que indica que la misma está dada en superficie y relacionada a procesos de traslado de fertilidad o retención de nutrientes. Lo reflejado en el cuadro también fue estudiado y concluido por Hernández (1999).

4.2.4 Potasio

Para el caso del potasio estudiado de 0 a 5 cm y de 5 a 10 cm de suelo, no se encontraron diferencias significativas cuando los datos fueron sometidos al análisis de varianza. A continuación se muestran los resultados obtenidos para potasio de 0 a 5 cm.

Cuadro No. 13. Potasio de 0 a 5 cm de suelo según tratamiento.

Tratamiento	K (meq / 100 g suelo)
FBL4	0,62
FBL6	0,84
DA4	0,88
FBL2	0,99

Estos resultados estarían indicando que no hay relación ente la cantidad de potasio en el suelo y el pastoreo con diferentes cargas. Estudios similares fueron llevados a cabo por Alfaro et al. (2006), los cuales trabajaron en el Centro Regional de Investigación Remehue, Chile. Estos autores trabajaron con tratamientos de carga animal de 3,5 y 5,0 terneros ha-1, con un peso inicial promedio de 212 kg por animal. La rotación invernal de los sistemas de pastoreo fue de 45 días. La pradera fue utilizada en pastoreo directo, en un sistema rotativo en franjas diarias mediante el uso de cerco eléctrico. La conclusión del trabajo antes descripto fue que el incremento de la carga animal

de 3,5 a 5 terneros ha⁻¹, no aumentó las pérdidas de K por arrastre superficial o lixiviación, por lo tanto estos resultados estarían acorde a lo encontrado en nuestra tesis y reafirmarían el concepto de que no hay efecto carga.

En el cuadro No. 14 se presentan los datos de potasio para la profundidad 5 a 10 cm de suelo, según tratamiento.

Cuadro No. 14. Potasio de 5 a 10 cm según tratamiento

Tratamiento	K (meq / 100 g suelo)
DA4	0,54
FBL4	0,57
FBL6	0,68
FBL2	0,70

Para el potasio de 10 a 20 cm sí se hallaron diferencias significativas. Tal como se observa en el gráfico a continuación, la principal diferencia se da entre el tratamiento FBL2, y FBL 4 y 6. Esto último nos hace pensar que el factor dotación sería el responsable de explicar estos resultados. Por otra parte, nos encontramos con que también existe efecto mezcla (ver anexo No. 3) que hace que difiera la cantidad de K encontrada.

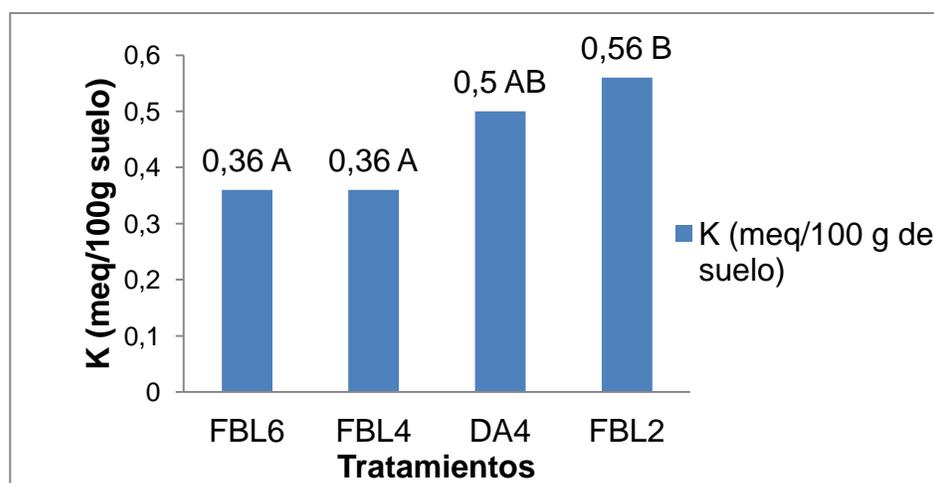


Figura No. 6. Valores de potasio (meq/100 g de suelo), en la fracción de 10 a 20 cm de suelo según tratamiento.

Las diferencias encontradas no son esperables teniendo en cuenta que nos encontramos en un sistema bajo pastoreo en el cual la extracción de potasio es muy baja lo que hace que el retorno al sistema sea alto y las pérdidas se reduzcan. De todas maneras estos resultados parecerían ir de la mano con lo antes analizado para la dinámica del fósforo en pastoreo si tenemos en cuenta que la mayor pérdida en ambos casos es la que se genera por la erosión. Dada la menor carga que se maneja en el mejor tratamiento FBL2 es de esperar mayor cobertura y menor erosión lo cual estaría explicando las diferencias encontradas en la gráfica. Más aún si tenemos en cuenta lo mencionado por Barbazán et al. (2010) que la cantidad de K disponible en un suelo sin fertilizar como lo es en este caso, depende de la cantidad y tipo de minerales potásicos y condiciones ambientales durante la formación del suelo.

En cuanto al efecto mezcla encontrado dactylis se comporta mejor que la mezcla compuesta de festuca, trébol blanco y lotus. Estas diferencias se explican dado que el potasio se concentra en las plantas en los tallos y en las hojas, por lo que el comportamiento frente al pastoreo pasa a ser un factor determinante. La festuca tolera pastoreos más intensos y frecuentes por lo cual la extracción que se realiza es superior a la de dactylis (Carámbula, 2007). Otro factor que puede estar afectando estas diferencias encontradas es que al manejar una mezcla, dada las diferencias de los sistemas radiculares y las distintas zonas de exploración, la extracción total puede llegar a ser mayor (Carámbula, 2002).

Si se analizan los valores encontrados se debe decir que son valores altos si se los compara con los encontrados por Hernández (1997) para suelos con textura media. En este caso todos los valores se sitúan por encima de los niveles críticos necesarios para la instalación de pasturas (0,30 meq/100 g de suelo) y de cultivos (0,34 meq/100g de K en el suelo). Esto estaría indicando que no sería el potasio una limitante para el normal desarrollo de la pastura para ninguna de las distintas variedades utilizadas.

4.2.5 Densidad aparente

Como se puede observar en el cuadro a continuación, para el caso de densidad aparente (0-5, 5-10, 10-20, 0-20 cm) no se encontraron diferencias significativas cuando se realizó el análisis de varianza con el programa INFOSTAT.

Cuadro No. 15. Densidad aparente (g/cm^3) según tratamiento, para los distintos estratos de suelo estudiados.

	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	0-20 cm
FBL2	2,06	2,09	1,10	1,59
DA4	2,19	2,17	1,23	1,70
FBL6	2,25	2,30	1,11	1,69
FBL4	2,25	2,35	1,18	1,74

González (2012), trabajando en Catamarca, Argentina, estudió el efecto del pisoteo animal sobre la densidad aparente del suelo. El experimento consistió en medir ésta variable previo al ingreso de los animales, y luego de retirados los mismos. El muestreo del suelo fue completamente al azar, y se determinó el valor a tres profundidades distintas, de 0-7,5 cm; de 7,5 a 15 cm; y de 15 a 30 cm. La carga animal fue de 1,1 UG / ha/ año, y el tiempo de permanencia fue a carga constante. A diferencia de lo encontrado en el presente trabajo, González (2012), encontró que el pisoteo provocó variación en la densidad aparente del suelo y que esos cambios fueron diferentes para las distintas profundidades estudiadas. También se encontró un mayor efecto del pisoteo cuando el suelo estaba escasamente poblado de gramíneas. Según la autora del trabajo, la presencia de restos de gramíneas, dado su denso y ramificado sistema radicular logra un efecto favorable a la estabilidad de los agregados y crea una mayor resistencia frente al impacto de la pezuña del animal sobre la estructura, favoreciendo por tanto la resistencia del suelo para modificar su espacio poroso. Por otro lado, donde se localizó mayor cantidad de raíces (subsuficial), fue el lugar donde menos se incrementó la densidad aparente del suelo.

Los resultados obtenidos en la presente tesis para la variable mencionada podrían explicarse por el prolongado tiempo que transcurrió entre que se retiraron los animales de las parcelas y el muestreo para calcular densidad aparente. En este período el suelo experimenta condiciones de déficit hídrico (balance negativo) en el mes de diciembre de 2013, situación que se revierte en el mes de enero con precipitaciones de 276 mm. Como ya es sabido, los ciclos de humedecimiento y secado en este tipo de suelos, causan continuos cambios volumétricos a través de los mecanismos de expansión-contracción. Como consecuencia de lo explicado, la densidad aparente del

suelo del suelo varía de forma continua. Cuando el suelo se seca, según Castiglioni (2005), su volumen disminuye, originándose grietas, mientras que cuando se humedece, el suelo se expande y se cierran las grietas, volviendo a su posición original. Es por estos cambios que pueden haber ocurrido a nivel de suelo que los resultados no fueron los esperados pudiendo verse enmascarado el efecto carga.

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), propuso una tabla que relaciona la clase textural del suelo con valores de densidad aparente. Con el objetivo de cuantificar en este trabajo cuales serían los valores de densidad aparente correspondientes a una determinada textura, es que se consultó esta información. Para suelos arcillo-limosos (los predominantes en el área experimental), el valor asociado de densidad aparente es de 1,40-1,50 g/cm³. Si bien no se sabe para cual estrato de suelo USDA estudió esta relación, se puede decir que los valores promedios de densidad aparente de 0 a 5 cm, y de 5 a 10 cm, son elevados para todos los tratamientos estudiados. Como es de esperar, en el estrato más profundo (0 a 20 cm), los valores son significativamente menores.

4.2.6 Producción de forraje inicial

Para el caso de la producción de forraje de las pasturas, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos luego de sometidos los datos al análisis de varianza. En otras palabras, de los resultados obtenidos se infiere que no hubo efecto de la mezcla de especies, ni de la carga animal en la productividad (expresada en kg/ha de MS) de la pastura. En el cuadro a continuación se muestran los resultados obtenidos.

Cuadro No. 16. Resultados de materia seca según tratamiento (kg/ha de MS).

Tratamiento	Media (kg/ha MS)
DA4	1316,3
FBL2	1479,4
FBL4	1697,0
FBL6	1767,5

4.2.7 Infiltración

Luego de realizado el análisis de varianza con el INFOSTAT, se llegó a la conclusión de que no existieron diferencias significativas entre tratamientos para la primer medida de infiltración. A continuación se presentan los valores obtenidos en el experimento.

Cuadro No. 17. Primer medida de infiltración (segundos) para los distintos tratamientos.

Tratamiento	Media (seg)
FBL6	757,33
FBL4	1255,67
DA4	1248,67
FBL2	1433,67

Si bien los resultados no presentan diferencias estadísticas se puede ver que existe una gran variabilidad entre los distintos tratamientos. Estas diferencias encontradas sin duda pueden ser agronómicamente importantes más aún si tenemos en cuenta que estos suelos tienen una alta capacidad de almacenar agua. La variabilidad de los suelos podría ser el principal factor que estaría explicando las diferencias encontradas. Las variaciones de profundidad, textura y zonas intermedias parecen ser las principales responsables de los resultados obtenidos. Por otra parte la variabilidad encontrada entre los tratamientos nuevamente puede ser explicada por los días transcurridos (108) entre que se sacan los animales en diciembre y se realiza el muestreo en marzo. Por último es importante destacar el efecto de las condiciones de seca en el suelo, y consecuentemente en las medidas de infiltración lo que posiblemente esté generando otra fuente de variabilidad en los resultados.

Se realizó el análisis de varianza para la segunda medición de infiltración. A continuación se presentan los resultados. Es importante mencionar que en estos datos el margen de error debería ser menor en relación a los valores obtenidos en la primera medición, ya que el suelo se encuentra más húmedo y en consecuencia las condiciones más homogeneizadas.

Cuadro No. 18. Segunda medida de infiltración (segundos) para los distintos tratamientos y ANAVA.

Tratamiento	Medias
FBL6	1209
FBL4	2000
DA4	2329
FBL2	2400

El carbono orgánico favorece la agregación del suelo y consecuentemente interviene en la distribución del espacio poroso afectando las propiedades físicas como por ejemplo la infiltración del agua en el suelo (Martínez, 2003). Es por esto, que se esperaría una relación positiva entre el carbono del suelo (relacionado al aporte de raíces y restos secos de las pasturas) y la velocidad de infiltración.

Los resultados encontrados concuerdan en cierto modo con lo mencionado ya que si se observa el tratamiento con mejores datos de infiltración (FBL6), se encuentra relacionado con los valores de carbono orgánico más altos comparado con los otros tratamientos. Para el caso del peso de las raíces se hubiera esperado que el tratamiento FBL6 se diferenciara del resto, sin embargo no se obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos cuando se sometieron los datos al análisis de varianza, de todas maneras FBL6 obtuvo valores elevados.

Otro factor que puede estar explicando los resultados obtenidos es el porcentaje de suelo descubierto y su efecto directo en la evaporación del mismo. Estudios llevados a cabo por la FAO, remarcan la importancia de mantener el suelo cubierto con el objetivo de minimizar las pérdidas de agua. Esto se explica dado que suelos con mayor cobertura están expuestos a una menor radiación por lo que logran mantener temperaturas más bajas, minimizando así las pérdidas. El tratamiento FBL6 se encuentra dentro de los tratamientos con mayores valores de suelo descubierto (1,6), lo que podría estar determinando condiciones de suelo más seco a la hora de hacer la infiltración, logrando así mayores velocidades en relación al resto.

Por último, un factor muy importante que puede estar afectando los resultados obtenidos es el tiempo prolongado entre que se aplicó herbicida y se

siembra la pastura, quedando expuesto el suelo al continuo crecimiento de malezas y en consecuencia al consumo de agua de las mismas. Es posible que la variabilidad en las parcelas, en cuanto a tipo y cantidad de especies maleza, genere diferencias en el consumo total de agua, afectando directamente las medidas de infiltración posteriormente tomadas.

4.2.8 Raíces 0-20 cm

Para el caso de esta variable estudiada no se encontraron diferencias estadísticamente significativas cuando se realizó el análisis de varianza. A continuación se muestran los pesos de las raíces obtenidos en la profundidad de 0 a 20 cm.

Cuadro No. 19. Peso de raíces (g) presentes en la fracción de 0 a 20 cm de suelo.

Tratamiento	Media
DA4	2,35
FBL6	3
FBL2	3,5
FBL4	4,02

Observando los tratamientos de igual carga, con 4 animales (DA4 y FBL4), se puede decir que si bien en términos estadísticos no se observaron diferencias, agronómicamente si se deberían de considerar. Aquí se ve una vez más el efecto mezcla de los tratamientos. Las diferencias morfológicas entre las especies y el estado de la pastura con el cual llegaron a su último año explicarían estas diferencias en los resultados.

4.2.9 Raíces de 20 cm a más profundidad de suelo

Cuando se analizaron en el INFOSTAT los datos de raíces de 20 cm a más si se encontraron diferencias significativas.

Cuadro No. 20. Raíces presentes en la profundidad de 20 cm a más del suelo.

Tratamiento	Media
FBL6	0,37
FBL4	0,48
DA4	0,67
FBL2	1,48

Los resultados podrían estar explicados por un efecto carga animal, ya que el tratamiento más aliviado fue el de mayores pesos radiculares. Por tanto se podría inferir que a menor carga las plantas tienen mayores oportunidades de desarrollo. Este efecto positivo de la baja carga se expresaría siempre y cuando no haya dominancia apical, porque en ese caso como se mencionó anteriormente se puede afectar el desarrollo de la raíz. Anteriormente afirmamos que el tratamiento de FBL2, tenía bajo carbono orgánico explicado por un posible pasaje a estado reproductivo que limitaba su crecimiento, esta hipótesis parecería ser errónea si se observa el alto valor para el peso de las raíces que obtuvo el tratamiento. Por otra parte se debe agregar que si bien el tratamiento evaluado es el mismo en los dos casos las profundidades de trabajo son diferentes por lo que no serían comparables, y dejaría abierta la posibilidad de discutir efecto de estratificación tanto de las raíces como del carbono. También se debe aclarar que dado la complejidad de los diferentes sistemas radiculares es posible encontrar menor cantidad de raíces pero más pesadas en una determinada zona si esta es rica en agua. Este efecto compensatorio y la capacidad de variación del sistema radicular pueden estar afectando los valores obtenidos.

4.2.10 Raíces totales en el perfil

En el gráfico a continuación se presentan los resultados obtenidos luego de realizado el análisis de varianza.

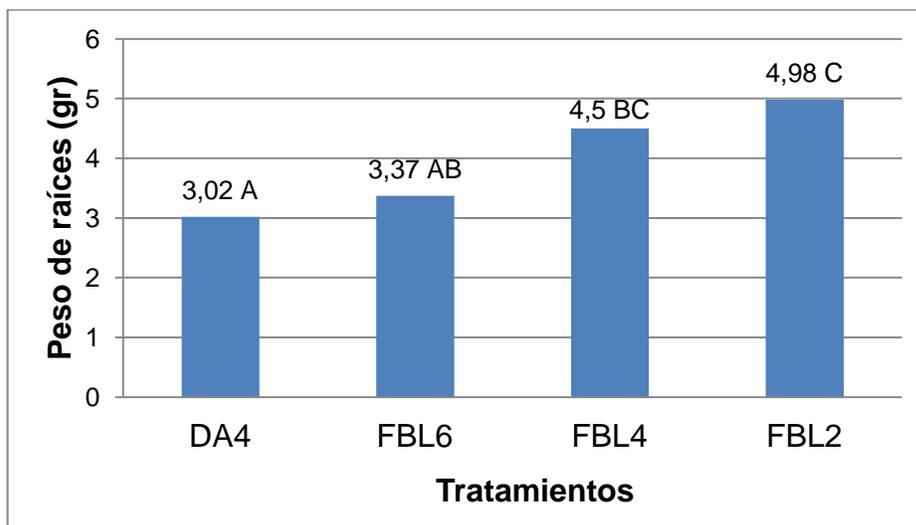


Figura No. 7. Raíces totales en el perfil del suelo según tratamiento.

Como se puede apreciar existiría efecto mezcla y carga y la interacción para la variable estudiada (anexo No. 7). El efecto mezcla estaría explicado por las diferencias morfológicas de las distintas especies que componen las mezclas y las capacidades distintas que estas tienen para desarrollar raíces.

En cuanto al efecto carga nuevamente se puede apreciar que el tratamiento más aliviado es el que permite un mejor desarrollo de la pastura, y esto se ve reflejado en un mayor peso radicular. Esta ventaja a favor del tratamiento con menor carga, posiblemente esté relacionada con la fisiología vegetal, donde se sabe que si se afecta la parte aérea de la planta se resiente el desarrollo radicular. Con cargas bajas se afecta menos parte aérea de la planta por lo tanto las reservas no tienen que ser utilizadas para restablecer dicha parte sino que puede ser destinadas a la exploración y desarrollo radicular. Esto mismo fue estudiado por Comerón (1999), quien trabajó con alfalfa pastoreada de forma rotativa en franjas diarias. Durante 3 años se evaluó el efecto el nivel de carga animal instantánea (número de animales por hectárea y por día) sobre la producción y la persistencia de una pastura de alfalfa implantada en un suelo Argiudol típico. Empleando tres niveles de carga animal (alta 'CAA', media "CAM" y baja 'CAB'). Se evaluó el efecto de las mencionadas cargas sobre varias variables de la pastura. En cuanto al peso de la raíz se concluyó al igual que lo encontrado en nuestro caso que baja carga la alfalfa lograba mayor desarrollo radicular y por lo tanto alcanzaba un mayor

peso total de raíces. Nuevamente cabe aclarar que este fenómeno se dará siempre y cuando la carga no sea tan baja que permita el efecto de dominancia apical y se afecte el desarrollo radicular.

5. CONCLUSIONES

El efecto mezcla tuvo mayor incidencia en los distintos parámetros físicos del suelo que el efecto carga, esto posiblemente explicado por el tiempo entre que se retiraron los animales y se tomaron las muestras.

Dactylis glomerata tuvo peor comportamiento en las propiedades físicas frente a *Festuca arundinacea*, explicado por las diferencias en los distintos sistemas radiculares y por un peor estado de la pastura que condicionó su desarrollo.

El comportamiento de la carga sobre los distintos factores evaluados no fue claro, sería importante nuevos experimentos para generar información y poder concluir cual es realmente el efecto sobre la mezcla y las propiedades.

5.1 CONSIDERACIONES FINALES

Los resultados de análisis de carbono orgánico en el estrato de 0 a 5 cm, mostraron la ausencia de efecto de los distintos tratamientos. Sin embargo, en el estrato de suelo de 5 a 10 cm, sí se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. Luego de analizados los valores, se llegó a la conclusión que el efecto mezcla sería el responsable de arrojar estos resultados. Las diferencias morfológicas existentes entre los sistemas radiculares de las especies podrían ser las responsables de explicar el efecto mezcla. El tratamiento DA4, fue el que presentó los valores más bajos de esta variable en el suelo, lo que condujo a relacionarlo con el mal estado de la pastura en su último año de vida. Al presentar este tratamiento más área de suelo desnudo en relación a los otros, fue que se concluyó que los bloques con DA4 presentaron menos aportes de restos secos al suelo, determinando los menores valores de carbono orgánico. En relación al estrato de 10 a 20 cm, se encontró un efecto mezcla y un efecto carga animal. En cuanto al efecto mezcla los bajos valores encontrados para el tratamiento DA4 se encontrarían relacionados al mal estado de la pastura tal como se mencionó. En cuanto al efecto carga, el tratamiento FBL2 fue el que obtuvo los menores valores en relación a los tratamientos con cuatro y seis animales respectivamente. Un efecto de dominancia apical importante por mayor posibilidad de desarrollo de la parte aérea en el tratamiento con dos animales, podría ser la explicación de lo sucedido en el experimento.

Para el caso del fósforo en el suelo no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos para las profundidades de 0 a 5 cm, y de 10 a 20 cm. Mientras que para el caso de 0 a 20 cm si se encontraron diferencias significativas. En relación a los valores de este nutriente de 0 a 5 cm, se puede decir que agrónomicamente sí existieron diferencias a favor del tratamiento DA4. Esto último difiere de lo esperado, debido a la gran capacidad de extracción de la alfalfa en relación al resto de las leguminosas evaluadas. Es por esto que el error de muestreo se manifiesta como una alternativa viable en estos suelos con alto contenido de arcilla y áreas con presencia de carbonato de calcio. Los resultados del análisis a mayor profundidad arrojaron datos más bajos y más similares entre sí, tal como se esperaba.

En relación al potasio, los tratamientos evaluados no presentaron diferencias estadísticamente significativas cuando se realizó el análisis de varianza para las profundidades de 0 a 5 cm y de 5 a 10 cm. Cuando se analizaron los valores en la profundidad de 10 a 20 cm, sí se encontraron diferencias a favor del tratamiento FBL2. La erosión en un sistema pastoril como el estudiado, se presenta como la fuente más importante de pérdida del nutriente es por esto que el tratamiento de menor carga, dada la mayor cobertura del suelo, presente los mayores valores de potasio.

La materia seca se manifestó como una variable poco sensible a los distintos tratamientos, no encontrándose diferencias significativas entre los mismos.

Para la densidad aparente no se encontró efecto carga ni efecto mezcla cuando se analizaron los resultados. Numerosos estudios muestran el importante impacto que genera el pisoteo animal en las propiedades del suelo, principalmente en la magnitud del espacio poroso, manifestándose en un aumento de la densidad aparente. Luego de cuatro años de mantener los bloques estudiados con diferentes cargas se esperaba observar el efecto del animal en el suelo anteriormente mencionado. El prolongado tiempo transcurrido entre que se sacan los animales de las parcelas y se toman las muestras para determinar la densidad, podría ser la explicación de lo sucedido. Durante el mencionado tiempo el suelo experimenta condiciones de humedecimiento y secado que en estos suelos con alto contenido de arcilla, generan cambios volumétricos a través del continuo proceso de expansión-contracción, variando consecuentemente la densidad aparente.

Analizando la primera medida de infiltración, no se obtuvieron diferencias significativas en términos estadísticos. De todas maneras, los resultados son sumamente variables entre sí. Las variaciones de profundidad, textura y la presencia de zonas con blanqueales y zonas intermedias parecen ser las principales responsables de los resultados obtenidos. Por otra parte la variabilidad encontrada entre los tratamientos nuevamente puede ser explicada por los días transcurridos (108) entre que se sacan los animales en diciembre y se realiza el muestreo en marzo. Cuando se analizó estadísticamente la segunda medida de infiltración, sí se encontraron diferencias, a favor del tratamiento FBL6. Los altos valores de carbono para este tratamiento podrían estar explicando los resultados. El carbono orgánico favorece la agregación del suelo y consecuentemente interviene en la distribución del espacio poroso afectando las propiedades físicas como por ejemplo la infiltración del agua. Otro factor que puede estar explicando los resultados obtenidos es el porcentaje de suelo descubierto y su efecto directo en la evaporación del mismo. El tratamiento FBL6 se encuentra dentro de los tratamientos con mayores valores de suelo descubierto (1,6), lo que podría estar determinando condiciones de suelo más seco a la hora de hacer la infiltración, logrando así mayores velocidades en relación al resto. Por último, es posible que la variabilidad entre los bloques, en cuanto a tipo y cantidad de especies maleza, genere diferencias en el consumo total de agua, afectando directamente las medidas de infiltración posteriormente tomadas.

En cuanto al peso de raíces en la fracción de 0 a 20 cm no se observaron diferencias estadísticas entre los tratamientos. Sin embargo, agrónomicamente sí se deberían de tener en cuenta estas diferencias a favor de la mezcla *Festuca arundinacea*, *Trifolium repens* y *Lotus Corniculatus*. Las diferencias morfológicas entre las especies y el estado de la pastura con el cual llegaron a su último año explicarían estas diferencias en los resultados. Cuando se analizaron los datos de pesos radiculares de 20 cm a más, sí se observaron diferencias, a favor del tratamiento FBL2. Es posible que la menor carga permita un mayor desarrollo de las raíces en el perfil. En cuanto a la variable peso de raíces totales en el perfil se observó un efecto mezcla y carga entre los distintos tratamientos. El efecto mezcla estaría explicado por las diferencias morfológicas de las distintas especies que componen las mezclas y las capacidades distintas que estas tienen para desarrollar raíces. En cuanto al efecto carga nuevamente se puede apreciar que el tratamiento más aliviado es

el que permite un mejor desarrollo de la pastura, y esto se ve reflejado en un mayor peso radicular.

6. RESUMEN

El objetivo de este trabajo es medir el efecto de tres cargas animales y dos mezclas vegetales en diversos parámetros físico-químicos del suelo y en la productividad de las pasturas sembradas luego de retirados los tratamientos. Además de cuantificar el efecto de cada uno de los factores por separado, se pretende buscar la existencia de interacciones entre los mismos. Los tratamientos corresponden a dos mezclas forrajeras compuestas la primera por *Dactylis glomerata* y *Medicago sativa*, con 4 novillos por parcela y la segunda por *Festuca arundinacea*, *Trifolium repens* y *Lotus corniculatus*, dividida en tres tratamientos con 2, 4 y 6 novillos por parcela. El experimento fue realizado desde el 20 de enero al 20 de septiembre de 2014 y se llevó a cabo en la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni de la Facultad de Agronomía en el departamento de Paysandú (latitud 32°22'30.93"S y longitud 58°3'47.08"O). Se trabajó sobre suelos dominantes Brunosoles Éutricos Típicos (Háplicos), superficiales a moderadamente profundos de textura limo arcillosa, con suelos asociados Brunosoles Éutricos Lúvicos de textura limosa y Solonetz solodizados melánicos de textura franca. El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar, comprendiendo tres bloques con cuatro tratamientos cada uno, lo que hace un total de 12 tratamientos a evaluar. La unidad experimental es la parcela, correspondiendo cada una, un tratamiento diferente dentro de cada bloque. Haciendo referencia a los resultados obtenidos, se encontraron diferencias en carbono orgánico en el estrato de suelo de 5 a 10 cm, explicado por un efecto mezcla, dada las diferencias morfológicas existentes entre los sistemas radiculares de las especies evaluadas. Para el caso del fósforo en el suelo no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos para las tres profundidades estudiadas, aunque en algunos casos la diferencia se consideró agrónomicamente importante. En relación al potasio, cuando se analizaron los valores en la profundidad de 10 a 20 cm, sí se encontraron diferencias a favor del tratamiento FBL2, explicado fundamentalmente por las menores pérdidas del nutriente por erosión en este caso en particular. La materia seca se manifestó como una variable poco sensible a los distintos tratamientos, no encontrándose diferencias significativas entre los mismos. Para la densidad aparente contrario a lo esperado no se encontró efecto carga ni efecto mezcla cuando se analizaron los resultados. El prolongado tiempo transcurrido entre que se sacan los animales de las parcelas y se toman las muestras para determinar la densidad, podría ser la explicación

de lo sucedido. Analizando la primera medida de infiltración, no se obtuvieron diferencias significativas en términos estadísticos. De todas maneras, los resultados son sumamente variables entre sí. Cuando se analizó estadísticamente la segunda medida de infiltración, sí se encontraron diferencias, a favor del tratamiento FBL6. Los altos valores de carbono para este tratamiento podrían estar explicando los resultados. En cuanto al peso de raíces se observaron diferencias cuando se analizan de 20 cm a más, a favor del tratamiento FBL2. Es posible que la menor carga permita un mayor desarrollo de las raíces en el perfil. En cuanto a la variable peso de raíces totales en el perfil se observó un efecto mezcla y carga entre los distintos tratamientos

Palabras clave: Carga animal; Mezclas forrajeras; Propiedades físico-químicas del suelo.

7. SUMMARY

The aim of this project is to measure the effect of three different animal proportion and two vegetable origin mixtures on several “fisico – quimico” parameters of the oil as well as on the productivity of the pastures once the treatments are removed. Apart from measuring the effect of each of the elements separately it is also the aim of this work to investigate the way in which these elements interact with each other. The treatments consist on two fodder mixtures, one of them composed by *Dactylis glomerata* and *Medicago sativa* on four heifers per plot. The other one consist on *Festuca arundinacea*, *Trifolium repens* and *Lotus corniculatus*, divided in three treatments with 2, 4 and 6 heifers per plot accordingly. The experiment took place from the 20th of January to the 20th of September 2014 in the “Estaciòn Experimental Dr. Mario A. Cassinoni “ from the Agronomy University in the Paysandu location (latitud 32°22'30.93"S y longitud 58°3'47.08"O). The procedures were done mostly on Brunosoles Éútricos Típicos (Háplicos) oils which are know to be moderately deep with a “limo arcillosa” clay texture and oils related to Brunosoles Éútricos Lúvicos of “limosa” texture and Solonetz “solodizados melánicos” of “franca texture. The experimental design chosen consist on completed blocks selected by chance, including three blocks with four treatments each which makes a total of 12 treatments to evaluate. The experimental unit is the plot, each plot related to a different treatment within each of the blocks. In relation with the results achieved by this experiment, differences in the organic carbon at a depth of 5 to 10 centimetres were found. These differences could be explained by the different mixtures existing between the “radiculares” systems of the species under evaluation. No significant disagreements were found in relation with the phosphorus at different depths of the oil, nevertheless in some cases the difference was consider significant in terms of agronomy. Taking in consideration the levels of potassium at a depth of 10 to 20 centimetres, differences in favour of the FBL2 treatment were found. This could be explained mainly by the inferior levels of nutrition lost in this particular case. The dry matter show itself as an element with no significant changes between the different treatments that were applied. Despite from what was expected for that apparent density no charge effect or mixture effect was found once the results were analyzed. The above could be explained by the long period of time between the moment in which the animals are taken out from the plot and the moment in which the samples are taken. Once the first measure of infiltration was

analyzed, no significant differences were found in statistic terms. Nevertheless the results are highly unstable and that's why when the second measure was analyzed, significant differences were found in favour of the FBL6 treatment. The high levels of carbon could explain these results. Focusing on the weight of the roots differences were found when the analysis took place from the 20 cm in favour of the FBL2 treatment. It is possible to conclude that a less weight could make possible a better development of the roots that were analysed. In relation with the roots weigh factor, the charge effect as well as the mixture effects was observed between the different treatments.

Keywords: Stocking rate; Mixture forage; Physico-chemical properties.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Alfaro, M.; Salazar, F.; Teuber, N. 2006. Pérdidas de potasio en ganadería, ¿algo de qué preocuparse? Chile, Remehue, INIA. 5 p. (Serie Técnica no. 30).
2. Altier, N.; Risso, D.; Beretta, J.; Morón, A. 1996. Impacto de las enfermedades en la producción de pasturas. In: Risso, D.F.; Berretta, E.J.; Morón, A. eds. Producción y manejo de pasturas. Montevideo, INIA. pp. 47-56 (Serie Técnica no. 80).
3. Amézquita E. 1999. La compactación del suelo y sus efectos en la productividad de los suelos. (en línea). In: Congreso Costarricense de la Ciencia del Suelo (1°, 1999, San José, Costa Rica). La compactación del suelo. San José de Costa Rica, s.e. s.p. Consultado set. 2014. Disponible en http://webpc.ciat.cgiar.org/suelos/e_internacionales/compactacion_suelo.pdf
4. Arenares, G.; Quintana, C.; Rivero, J. 2011. Efecto del tipo de mezcla forrajera sobre la productividad del 2° año. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 88 p.
5. Aruani, M.; Behmer, S. 2004. Efecto de la granulometría del suelo sobre la distribución de raíces en manzano. Revista de investigaciones Agropecuarias. 33 (2): 43-53.
6. Ayala, W.; Bemhaja, M.; Docanto, J.; García, J.; Olmos, F.; Real, D.; Rebuffo, M.; Reyno, R.; Silva, J.; Cotro, B.; Rossi, C. 2010. Forrajeras; catálogo de cultivares 2010. Montevideo, INIA. 131 p.
7. Barbazán, M.; Hernández, J.; Perdomo, C. 2010. Potasio. Montevideo, Facultad de Agronomía. 59 p.
8. Bavera, G.; Bocco, O. 2001. Carga animal. (en línea). s.n.t. 4 p. Consultado set. 2014. Disponible en <http://www.produccion->

animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pastoreo%20sistemas/71-carga_animal.pdf

9. Bayer, W. 2011. Equivalente oveja, oveja patagónica y equivalente vaca. (en línea). Producción Ovina. 23 (1): 5-12. Consultado nov. 2014. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_ovina/produccion_ovina/112-EQUIVALENTE_OVEJA.pdf.
10. Berhongaray, G. 2007. Carbono en suelos pampeanos; efecto de la vegetación y el uso. Tesis presentada para optar al grado de Magister. Buenos Aires, Argentina. Universidad de Buenos Aires. 105 p.
11. Bianchi, S.; Díaz, A.; Musacco, M. 2012. Evaluación estivo-otoñal de cuatro mezclas forrajeras. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 101 p.
12. Borelli, P.; Oliva G. 2001. Efectos de los animales sobre los pastizales. Córdoba, INTA. 266 p.
13. Bowen, H. D. 1981. Alleviating mechanical impedance. Modifying the root environment to reduce crop stress. USA. American Society of Engineers (ASAE). Monograph no.4. 5 p.
14. Breazu, I.; Balan, M.; Oprea, G.; Chiper, C. 2006. The impact of white clover and birdsfoot trefoil in simple mixtures with tall fescue. In: General Meeting of the European Grassland Federation (21st., 2006, Badajoz, Spain). Proceedings. s.l., Grassland Science in Europe. cap. 11, pp. 405- 407.
15. Calviño, P.; Echeverría, H.; Redolatti, M. 2000. Estratificación de fósforo en suelo y diagnostico de la fertilización fosfatada en trigo en siembra directa. In: Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo (17°. , 2000, Mar del Plata, Argentina). Trabajos presentados. s.n.t. s.p.
16. Carámbula, M. 1977. Producción y manejo de pasturas sembradas. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. 464 p.

17. _____. 1991. Aspectos relevantes para la producción forrajera. Montevideo, Uruguay, INIA. 46 p. (Serie Técnica no. 19).
18. _____. 1997. Forrajeras; material seleccionado por la cátedra. Paysandú, Facultad de Agronomía. t.1, pp. 75-88.
19. _____. 2002. Pasturas y forrajes; potenciales y alternativas para producir forraje. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. t.1, 357 p.
20. _____. 2004. Pasturas y forrajes; manejo, persistencia y renovación de pasturas. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. t.3, 413 p.
21. _____. 2007a. Pasturas y forrajes; potenciales y alternativas para producir forraje. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. t.1, 186 p.
22. _____. 2007b. Pasturas y forrajes; manejo, persistencia y renovación de pasturas. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. t.2, 357 p.
23. Carrasco, M. A., 1989. El suelo como sistema químico. Santiago de Chile, Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 345 p. (Publicaciones Miscelaneas Agrícolas no. 38).
24. Castiglioni, M. 2005. Influencia de la organización y composición del espacio poroso y la matriz en la dinámica hídrica de distintos Argiudoles de la Pampa Ondulada. Tesis de Maestría. Buenos Aires, Argentina. Facultad de Ciencias Agrarias. 80 p.
25. Chilibroste, P; Soca, P; Bruni, M. de los A.; Fabre, E.; Matiauda, D. 2008. Tecnología para la producción de leche en los últimos 15 años; aportes desde la EEMAC. Cangüé. no. 30: 36-44.
26. Comerón, E. 1999. Carga de animal en pasturas de alfalfa. Santa Fé, AR, INTA Rafaela. 12 p. (Serie Técnica no. 823).
27. De Mello, M.; De Faccio, C.; Matsuoka, M.; Nabinger, C. 2008. Atributos físicos de um argissolo son pastagem natural após 18 anos sob

diferentes níveis de ofertas de forragem. (en línea). Revista de Ciencias Agroveterinarias. 7 (2): 107-118. Consultado nov. 2014. Disponible en http://rca.cav.udesc.br/rca_2008_2/salton.pdf.

28. De Souza, P.; Presno, J. 2013. Productividad invierno-primaveral de praderas mezclas con *Festuca Arundinacea* o *Dactylis Glomerata*, en su tercer año pastoreada con novillos holando con distintas dotaciones. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 109 p.
29. Díaz Lago, J.; García, J.; Rebuffo, M. 1996. Crecimiento de leguminosas en La Estanzuela. Montevideo, Uruguay, INIA. 10 p. (Serie Técnica no.71).
30. Ernst, O. 1992. Criterios generales a considerar en el laboreo de suelos para cultivos de verano. Cangüé. no. 1:13-19.
31. _____. 2000. Siete años de siembra sin laboreo. Cangüé. no. 20: 9-13.
32. FAO. Soluciones para la compactación del suelo. Madrid. 11 p.
33. Formoso, F. 1993. *Lotus Corniculatus*. Performance forrajera y características agronómicas asociadas. Montevideo, Uruguay, INIA. 20 p. (Serie Técnica no. 37).
34. _____ 1995. Bases morfológicas y fisiológicas del manejo de pasturas. In: Risso, D. F.; Berretta, E. J.; Morón, A. eds. Producción y manejo de pasturas. Montevideo, Uruguay, INIA. pp. 1-19 (Serie Técnica no.80).
35. _____ 2000a. Alfalfa en mezclas forrajeras. In: Rebuffo, M.; Risso, D. F.; Restaino, E. eds. Tecnología en alfalfa. Montevideo, INIA. pp. 75-94 (Boletín de Divulgación no. 69).
36. _____. 2000b. Manejo de la alfalfa para producción de forraje. In: Rebuffo, M.; Risso, D.F.; Restaino, E. eds. Tecnología en alfalfa. Montevideo, INIA. pp. 53-74 (Boletín de Divulgación no. 69).

37. _____. 2010. *Festuca arundinacea*, manejo para producción de forraje y semilla. Montevideo, INIA. 192 p. (Serie Técnica no.182).
38. García, J. 1995. *Dactylis Glomerata* INIA OBERÓN. Montevideo, Uruguay. INIA.10 p. (Serie Técnica no. 49).
39. _____. 2003. Crecimiento y calidad de gramíneas forrajeras en La Estanzuela. Montevideo, Uruguay, INIA. 26 p. (Serie Técnica no. 133).
40. García, F. 2004. Propiedades físicas del suelo. Montevideo, Facultad de Agronomía. 67 p.
41. Giardinieriv, N.; Gutiérrez, N.; Venialgo, C. 2004. Influencia de la compactación sobre el crecimiento radical en maíz y soja. Corrientes, AR, Facultad de Ciencias Agrarias. 3 p.
42. Gomes de Freitas, S; Klaassen, A. 2011. Efecto de la fecha de siembra y tipo de barbecho en la implantación y producción inicial de mezclas con *Festuca Arundinacea*, y *Dactylis Glomerata*. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 118 p.
43. González, M. 2012. Pisoteo animal y su efecto en la densidad aparente del suelo en un Haplusol franco arenoso bajo distintos manejos. Catamarca, Facultad de Ciencias Agrarias. 9 p.
44. Greenland, D. 1981. Soil management and soil degradation. *The Journal of Soil Science*. 32 (3): 301-322.
45. Hall, M.; Vough, L. 2007. Forage establishment and renovation. In: Barnes, R.; Neslon, C.; Moor, K.; Collins, M. eds. *Forages; the science of grassland agriculture*. Ames, Iowa, Blackwell. cap. 2, pp. 343-354.
46. Harris, W. 1978. Defoliation as a determinant of the growth, persistence and composition of pasture. In: Wilson JR. *Plant relations in pastures*. Brisbane, s.e. s.p.

47. Hernández, J. 1995. Dinâmica de fósforo em alguns solos de Uruguai afetada pela variação temporal nas condições de oxidação-redução. Tesis M.Sc. Porto Alegre, Brasil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Agronomía. 173 p
48. INASE (Instituto Nacional de Semillas, UY). 2004. Catálogo forrajeras. (en línea). Montevideo, Uruguay. s.p. Consultado may. 2012. Disponible en http://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/resultados/index_00.htm
49. _____. 2005. Catálogo forrajeras. (en línea). Montevideo, Uruguay. s.p. Consultado may. 2014. Disponible en http://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/resultados/index_00.htm
50. _____. 2006. Catálogo forrajeras. (en línea). Montevideo, Uruguay. s.p. Consultado may. 2014. Disponible en http://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/resultados/index_00.htm
51. _____. 2008. Catálogo forrajeras. (en línea). Montevideo, Uruguay. s.p. Consultado may. 2014. Disponible en 106 http://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/resultados/index_00.htm
52. _____. 2009. Catálogo forrajeras. (en línea). Montevideo, Uruguay. s.p. Consultado may. 2014. Disponible en http://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/resultados/index_00.htm
53. _____. 2010. Catálogo forrajeras. (en línea). Montevideo, Uruguay. 94 p. Consultado may. 2014. Disponible en http://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/resultados/index_00.htm
54. _____. 2011. Catálogo forrajeras. (en línea). Montevideo, Uruguay. 101 p. Consultado may. 2014. Disponible en http://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/resultados/index_00.htm
55. _____. 2012. Catálogo. (en línea). Montevideo, Uruguay. 100 p. Consultado dic. 2014. Disponible en http://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/PubForrajeraPeriodo2011.pdf

56. Kemper, W.; Rosenau, R. 1971. Aggregate stability and size distribution. American Society of Agronomy. 1 (2): 425 – 442.
57. Langer, H. L. 1981. Las pasturas y sus plantas, Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. 424 p.
58. Larrambere, F. 1997. Festucosis; un problema a tener en cuenta. Revista Plan Agropecuario. no. 52: 1-8.
59. Marchesi, C. E.; Elhordoy, J. A. 1979. Limitantes nutricionales para la producción de pasturas mejoradas, efecto de la dosis, fuente de fósforo y encalado en suelos de las Unidades Arroyo Blanco y Zapallar. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 260 p.
60. Martino, D. 2002. Manejo de restricciones físicas del suelo en sistemas de siembra directa. (en línea). Montevideo, INIA. s.p. Consultado sept. 2014. Disponible en <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219230807115458.pdf>
61. Mott, G. 1960. Grazing pressure and the measurement of pasture production. In: International Grassland Congress (8th., 1960, London, UK). Proceedings. London, Alden Press. pp. 606-611.
62. Nabinger, C.; Salton, J.; De Mello, J.; Matsuoka, M.; De Faccio, P.; Bayer, C.; Mielniczuk, J. 2008. Atributos físicos de um Argissolo sob pastagem natural após 18 anos sob diferentes níveis de ofertas de forragem. (en línea). Revista de Ciencias Agroveterinarias. 7 (2): 107-118. Consultado 12 oct. 2014. Disponible en http://rca.cav.udesc.br/rca_2008_2/salton.pdf
63. Novos, B. 1983 Aspectos en la utilización y producción de forrajes en el trópico. San José de Costa Rica, s.e. 105 p.

64. Olmos, F. 1992. Efectos climáticos sobre la productividad de pasturas en la región noreste. Montevideo, Uruguay, INIA. 22 p. (Serie Técnica no. 64).
65. Oussible, M.; Crookston, R. K.; Larson, W. E. Subsurface compaction reduces the root and shoot growth and grain yield of wheat. *Agronomy Journal*. 84: 34-38.
66. Parsi, J. 2001. Valoración nutritiva de los alimentos y formulación de dietas. (en línea). s.n.t. 32 p. Consultado dic. 2014. Disponible en http://www.produccionanimal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_de_l_alimento/16-valoracion_nutritiva_de_los_alimentos.pdf.
67. Parsons, A. J.; Penning, P. D. 1988. The effect of the duration of regrowth on photosynthesis, leaf death and the average rate of growth in a rotationally grazed sward. *Grass and Forage Science*. 43 (1): 15-27.
68. Pereira, M. 2007. ¿Qué Lotus sembrar? *Revista Plan Agropecuario*. no. 122 (2): 37.
69. Rovira, A. 1979. Actividad de las fosfatasa ácidas y alcalinas en hongos de la rizosfera. *Revista de Biología tropical*. no. 52: 1-4.
70. Russel, R.; Goss, M. 1974. Physical aspects of soil fertility, the response of roots to mechanical impedance. *Netherlands Journal of Agriculture Science*. 22: 305-308.
71. Saldanha, S.; Boggiano, P.; Cardenazzi, M. 2010. Intensidad del pastoreo sobre la estructura de una pastura de *Lolium perenne* cv Horizon. *Agrociencia* (Montevideo). 14(1): 44 - 54.
72. Santiñaque, F.; Carámbula, M. 1981. Productividad y comportamiento de distintas mezclas forrajeras. *Investigaciones Agronómicas*. no. 2: 16-21.

73. Schneider, O. 2005. Mezclas de especies forrajeras templadas. In: Jornada de Actualización Técnica en Pasturas Implantadas (2005, Buenos Aires, Argentina). Trabajos presentados. Buenos Aires, s.e. s.p.
74. Silva, A. 2002. La materia orgánica del suelo. Montevideo, Facultad de Agronomía. 37 p.
75. Taboada, M. 2007. Cambios en el suelo asociados al tránsito y pisoteo de la hacienda. (en línea). Buenos Aires, UBA. Facultad de Agronomía. Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes. pp. 1-4. Consultado oct. 2014. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/suelos_ganaderos/51-cambios_en_suelo.pdf
76. Viglizzo, E. 1995. El rol de la alfalfa en los sistemas de producción. In: Viglizzo, E. ed. La alfalfa en Argentina. Balcarce, INTA. Subprograma de Alfalfa. pp. 259-272.
77. Zanoniani, R. 1999. Algunas alternativas para mejorar la productividad de nuestras pasturas naturales. Cangüé. no. 15:13-17.
78. _____; Ducamp, F. 2004. Leguminosas forrajeras del género *Lotus* en el Uruguay. Cangüé. no. 25: 5-11.
79. Zuo, Y.; Du, Z.; Zhu, Y.; Zhou, X. 2010. Effects of mixture sowing on forage yield and interespecific competition of alfalfa and orchard grass. *Animal Husbandry and Feed Science*. 2: 39-41.

9. ANEXOS

Anexo No. 1. Carbono orgánico del suelo según tratamiento. Profundidad de 0 a 5 cm, de 5 a 10 cm, y de 10 a 20 cm.

Análisis de la varianza**C 0-5 cm**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
C 0-5 cm	12	0,23	0,00	14,92

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,32	5	0,06	0,37	0,8542
BLOQUE	0,06	2	0,03	0,17	0,8498
Tratamiento	0,26	3	0,09	0,50	0,6953
Error	1,05	6	0,18		
Total	1,38	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,57575

Error: 0,1756 gl: 6

BLOQUE	Medias	n	E.E.
3,00	2,72	4	0,21 A
2,00	2,83	4	0,21 A
1,00	2,88	4	0,21 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,66482

Error: 0,1756 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	E.E.
DA4	2,63	3	0,24 A
FBL4	2,75	3	0,24 A
FBL2	2,82	3	0,24 A
FBL6	3,04	3	0,24 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)

C 5-10 cm

Variable N R² R² Aj CV
C 5-10 cm 12 0,65 0,36 11,79

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.	0,89	5	0,18	2,24	0,1775
BLOQUE	0,11	2	0,06	0,71	0,5277
Tratamiento	0,78	3	0,26	3,26	0,1018
Error	0,48	6	0,08		
Total	1,37	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,38842

Error: 0,0799 gl: 6

<u>BLOQUE</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
1,00	2,30	4	0,14 A
2,00	2,36	4	0,14 A
3,00	2,53	4	0,14 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,44851

Error: 0,0799 gl: 6

<u>Tratamiento</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
DA4	1,99	3	0,16 A
FBL2	2,38	3	0,16 A B
FBL6	2,55	3	0,16 B
FBL4	2,66	3	0,16 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)

Análisis de la varianza

Variable N R² R² Aj CV
C 5-10 cm 12 0,76 0,74 5,93

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,66	1	0,66	32,51	0,0002
Tratamiento	0,66	1	0,66	32,51	0,0002
Error	0,20	10	0,02		
Total	0,86	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,17165

Error: 0,0202 gl: 10

Tratamiento	Medias	n	E.E.
DA	1,99	3	0,08A
FBL	2,53	9	0,05 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)

C 10-20 cm

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
C 10-20 cm	12	0,81	0,64	8,82

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,82	5	0,16	4,99	0,0378
BLOQUE	0,32	2	0,16	4,90	0,0547
Tratamiento	0,50	3	0,17	5,04	0,0444
Error	0,20	6	0,03		
Total	1,02	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,24926

Error: 0,0329 gl: 6

BLOQUE	Medias	n	E.E.
2,00	1,87	4	0,09 A
1,00	2,04	4	0,09 AB
3,00	2,27	4	0,09 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,28782

Error: 0,0329 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	E.E.
FBL2	1,84	3	0,10 A
DA4	1,87	3	0,10 A
FBL6	2,26	3	0,10 B
FBL4	2,26	3	0,10B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)

Variable N R² R² Aj CV
C 10-20 cm 12 0,35 0,29 7,77

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,14	1	0,14	5,50	0,0410
Tratamiento	0,14	1	0,14	5,50	0,0410
Error	0,26	10	0,03		
Total	0,40	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,19325

Error: 0,0256 gl: 10

Tratamiento	Medias	n	E.E.
DA	1,87	3	0,09 A
FBL	2,12	9	0,05 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)

Análisis de la varianza

Variable N R² R² Aj CV
C 10-20 cm 12 0,53 0,43 7,87

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,27	2	0,13	5,15	0,0323
Tratamiento	0,27	2	0,13	5,15	0,0323
Error	0,24	9	0,03		
Total	0,51	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,22110

Error: 0,0262 gl: 9

Tratamiento	Medias	n	E.E.
2,00	1,84	3	0,09A
4,00	2,07	6	0,07B
6,00	2,26	3	0,09B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)

Anexo No. 2. Fósforo del suelo para la profundidad de 0 a 5 cm, de 5 a 10 cm y de 10 a 20 cm, según tratamiento.

P 0-5 cm

Variable N R² R² Aj CV

P 0-5 cm 12 0,41 0,00 48,16

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.	481,54	5	96,31	0,85	0,5629
BLOQUE	94,93	2	47,47	0,42	0,6765
Tratamiento	386,61	3	128,87	1,13	0,4080
Error	682,23	6	113,70		
Total	1163,77	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=14,65168

Error: 113,7047 gl: 6

<u>BLOQUE</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
3,00	18,58	4	5,33 A
1,00	22,40	4	5,33 A
2,00	25,45	4	5,33 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=16,91830

Error: 113,7047 gl: 6

<u>Tratamiento</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
FBL4	15,97	3	6,16 A
FBL2	18,33	3	6,16 A
FBL6	23,50	3	6,16 A
DA4	30,77	3	6,16 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)

P 5-10 cm

Variable N R² R² Aj CV

P 5-10 cm 12 0,35 0,00 49,39

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.	84,25	5	16,85	0,65	0,6748
BLOQUE	49,02	2	24,51	0,94	0,4406
Tratamiento	35,23	3	11,74	0,45	0,7256
Error	156,05	6	26,01		
Total	240,30	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=7,00743

Error: 26,0089 gl: 6

<u>BLOQUE</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
---------------	---------------	----------	-------------

1,00	7,58	4	2,55 A
3,00	11,03	4	2,55 A
2,00	12,38	4	2,55 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=8,09149

Error: 26,0089 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	E.E.
FBL6	8,80	3	2,94 A
FBL2	9,60	3	2,94 A
DA4	9,67	3	2,94 A
FBL4	13,23	3	2,94 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)

P 10-20 cm

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
P 10-20 cm	12	0,46	0,01	25,04

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	10,39	5	2,08	1,03	0,4768
BLOQUE	1,15	2	0,57	0,28	0,7627
Tratamiento	9,24	3	3,08	1,53	0,3013
Error	12,12	6	2,02		
Total	22,50	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=1,95247

Error: 2,0192 gl: 6

BLOQUE	Medias	n	E.E.
3,00	5,25	4	0,71 A
1,00	5,80	4	0,71 A
2,00	5,98	4	0,71 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=2,25452

Error: 2,0192 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	E.E.
DA4	4,27	3	0,82 A
FBL6	5,67	3	0,82 AB
FBL2	6,17	3	0,82 AB
FBL4	6,60	3	0,82 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)

Anexo No. 3. Potasio para la profundidad de 0 a 5 cm, de 5 a 10 cm y de 10 a 20 cm de suelo según tratamiento.

K 0-5

Variable N R² R² Aj CV
K 0-5 12 0,71 0,46 22,28

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,50	5	0,10	2,88	0,1149
BLOQUE	0,28	2	0,14	4,04	0,0773
Tratamiento	0,22	3	0,07	2,11	0,2004
Error	0,21	6	0,03		
Total	0,70	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,25484

Error: 0,0344 gl: 6

BLOQUE	Medias	n	E.E.
2,00	0,72	4	0,09 A
1,00	0,74	4	0,09 A
3,00	1,05	4	0,09 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,29426

Error: 0,0344 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	E.E.
FBL4	0,62	3	0,11 A
FBL6	0,84	3	0,11 AB
DA4	0,88	3	0,11 AB
FBL2	0,99	3	0,11 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)

K 5-10

Variable N R² R² Aj CV
K 5-10 12 0,66 0,37 25,33

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,29	5	0,06	2,32	0,1675
BLOQUE	0,23	2	0,12	4,67	0,0598
Tratamiento	0,06	3	0,02	0,75	0,5599
Error	0,15	6	0,02		
Total	0,44	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,21663

Error: 0,0249 gl: 6

BLOQUE	Medias	n	E.E.
1,00	0,50	4	0,08A
2,00	0,55	4	0,08A
3,00	0,82	4	0,08B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,25014

Error: 0,0249 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	E.E.
DA4	0,54	3	0,09 A
FBL4	0,57	3	0,09 A
FBL6	0,68	3	0,09 A
FBL2	0,70	3	0,09 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)

K10-20

Variable N R² R² Aj CV

K10-20 12 0,67 0,40 20,92

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,11	5	0,02	2,45	0,1530
BLOQUE	0,01	2	4,6E-03	0,53	0,6139
Tratamiento	0,10	3	0,03	3,73	0,0799
Error	0,05	6	0,01		
Total	0,16	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,12814

Error: 0,0087 gl: 6

BLOQUE	Medias	n	E.E.
3,00	0,43	4	0,05 A

1,00	0,43	4	0,05 A
2,00	0,49	4	0,05 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,14796

Error: 0,0087 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	E.E.
FBL6	0,36	3	0,05 A
FBL4	0,36	3	0,05 A
DA4	0,50	3	0,05 AB
FBL2	0,56	3	0,05 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
K 10-20	9	0,58	0,44	23,46

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
K10-20	12	0,91	0,90	2,51

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,01	1	0,01	95,53	<0,0001
Tratamiento	0,01	1	0,01	95,53	<0,0001
Error	1,3E-03	10	1,3E-04		
Total	0,01	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,01360

Error: 0,0001 gl: 10

Tratamiento	Medias	n	E.E.
FB	0,43	9	3,8E-03 A
DA	0,50	3	0,01 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
K 10- 20	12	0,54	0,43	18,22

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,07	2	0,03	5,21	0,0314
Tratamiento	0,07	2	0,03	5,21	0,0314
Error	0,06	9	0,01		
Total	0,13	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,11014

Error: 0,0065 gl: 9

Tratamiento	Medias	n	E.E.
6,00	0,36	3	0,05 A
4,00	0,43	6	0,03 A
2,00	0,56	3	0,05B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)**Anexo No. 4.** Densidad aparente del suelo para la profundidad de 0 a 5 cm, de 5 a 10 cm y de 10 a 20 cm de suelo, según tratamiento.**DAP 0-5**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DAP 0-5	12	0,23	0,00	7,95

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,07	3	0,02	0,80	0,5291
Tratamiento	0,07	3	0,02	0,80	0,5291
Error	0,24	8	0,03		
Total	0,31	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,26378

Error: 0,0302 gl: 8

Tratamiento	Medias	n	E.E.
FBL2	2,06	3	0,10 A
DA4	2,19	3	0,10 A
FBL6	2,25	3	0,10 A
FBL4	2,25	3	0,10 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)**DAP 5-10**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DAP 5-10	12	0,44	0,23	6,39

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,13	3	0,04	2,13	0,1752
Tratamiento	0,13	3	0,04	2,13	0,1752
Error	0,16	8	0,02		
Total	0,29	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,21602

Error: 0,0202 gl: 8

Tratamiento	Medias	n	E.E.
FBL2	2,09	3	0,08 A
DA4	2,17	3	0,08 A B
FBL6	2,30	3	0,08 A B
FBL4	2,35	3	0,08 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)**DAP 10-20**Variable N R² R² Aj CV

DAP 10-20 12 0,31 0,04 8,41

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,03	3	0,01	1,17	0,3794
Tratamiento	0,03	3	0,01	1,17	0,3794
Error	0,08	8	0,01		
Total	0,11	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,14721

Error: 0,0094 gl: 8

Tratamiento	Medias	n	E.E.
FBL2	1,10	3	0,06 A
FBL6	1,11	3	0,06 A
FBL4	1,18	3	0,06 A
DA4	1,23	3	0,06 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)**DAP 0-20**Variable N R² R² Aj CV

DAP 0-20 12 0,33 0,07 5,98

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

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

Modelo.	0,04	3	0,01	1,29	0,3424
Tratamiento	0,04	3	0,01	1,29	0,3424
Error	0,08	8	0,01		
Total	0,12	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,15259

Error: 0,0101 gl: 8

Tratamiento	Medias	n	E.E.
FBL2	1,59	3	0,06 A
FBL6	1,69	3	0,06 AB
DA4	1,70	3	0,06 AB
FBL4	1,74	3	0,06 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)

Anexo No. 5. Materia seca medida según tratamiento.

MS

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MS	12	0,40	0,00	22,46

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	497543,41	5	99508,68	0,81	0,5846
BLOQUE	114743,50	2	57371,75	0,46	0,6493
Tratamiento	382799,91	3	127599,97	1,03	0,4426
Error	741099,08	6	123516,51		
Total	1238642,50	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=482,90371

Error: 123516,5138 gl: 6

BLOQUE	Medias	n	E.E.
2,00	1471,84	4	175,72 A
3,00	1523,19	4	175,72 A
1,00	1700,13	4	175,72 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=557,60917

Error: 123516,5138 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	E.E.
DA4	1316,28	3	202,91A

FBL2	1479,45	3	202,91A
FBL4	1697,02	3	202,9 A
FBL6	1767,46	3	202,91A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)

Anexo No. 6. Primer y segunda medida de infiltración según tratamiento.

M1

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
M1	12	0,31	0,06	38,72

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	747142,00	3	249047,33	1,22	0,3633
Tratamiento	747142,00	3	249047,33	1,22	0,3633
Error	1631482,67	8	203935,33		
Total	2378624,67	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=685,65853

Error: 203935,3333 gl: 8

Tratamiento	Medias	n	E.E.
FBL6	757,33	3	260,73 A
FBL4	1225,67	3	260,73 A
DA4	1248,67	3	260,73 A
FBL2	1433,67	3	260,73 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)

M2

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
M2	12	0,73	0,63	17,83

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2680262,00	3	893420,67	7,13	0,0119
Tratamiento	2680262,00	3	893420,67	7,13	0,0119
Error	1002214,67	8	125276,83		
Total	3682476,67	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=537,39922

Error: 125276,8333 gl: 8

Tratamiento	Medias	n	E.E.
FBL6	1209,00	3	204,35 A
FBL4	2000,00	3	204,35 B

DA4	2329,67	3	204,35 B
FBL2	2400,00	3	204,35 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)

Anexo No. 7. Raíces de 0 a 20 cm de suelo, de 20 cm a más, y raíces totales en el perfil, según tratamiento.

Raíces 0-20

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
Raíces 0-20	12	0,41	0,18	28,41

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.	4,56	3	1,52	1,82	0,2219
Tratamiento	4,56	3	1,52	1,82	0,2219
Error	6,68	8	0,84		
Total	11,24	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=1,38758

Error: 0,8352 gl: 8

<u>Tratamiento</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
DA4	2,35	3	0,53 A
FBL6	3,00	3	0,53 AB
FBL2	3,50	3	0,53 AB
FBL4	4,02	3	0,53 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)

Raíces 20 +

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
Raíces 20 +	12	0,66	0,53	51,35

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.	2,29	3	0,76	5,14	0,0285
Tratamiento	2,29	3	0,76	5,14	0,0285
Error	1,19	8	0,15		
Total	3,48	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,58476

Error: 0,1483 gl: 8

<u>Tratamiento</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
FBL6	0,37	3	0,22 A
FBL4	0,48	3	0,22 A

DA4	0,67	3	0,22 A
FBL2	1,48	3	0,22 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)

Raíces totales

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
Raíces tot	12	0,56	0,40	21,85

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.	7,74	3	2,58	3,44	0,0723
Tratamiento	7,74	3	2,58	3,44	0,0723
Error	6,01	8			0,75
Total	13,75	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=1,31599

Error: 0,7513 gl: 8

<u>Tratamiento</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
DA4	3,02	3	0,50 A
FBL6	3,37	3	0,50 AB
FBL4	4,50	3	0,50 BC
FBL2	4,98	3	0,50 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)

Análisis de la varianza

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
Raíces totales	12	1,00	1,00	0,07

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.	3,55	1	3,55	532983,75	<0,0001
Tratamiento	3,55	1	3,55	532983,75	<0,0001
Error	6,7E-05	10	6,7E-06		
Total	3,55	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,00312

Error: 0,0000 gl: 10

<u>Tratamiento</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
DA	3,02	3	1,5E-03 A
FBL	4,28	9	8,6E-04 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)

Análisis de la varianza

Variable N R² R² Aj CV
Raíces tot 12 0,90 0,88 3,64

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.	1,74	2	0,87	41,77	<0,0001
Tratamiento	1,74	2	0,87	41,77	<0,0001
Error	0,19	9	0,02		
Total	1,93	11			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,19120

Error: 0,0208 gl: 9

<u>Tratamiento</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
6,00	3,37	3	0,08A
4,00	4,00	5	0,06B
2,00	4,38	4	0,07C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)