

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA

EFFECTOS DE LA CARGA ANIMAL Y LA MEZCLA FORRAJERA SOBRE LAS  
PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO

por

Álvaro José CAPURRO BAZZANO  
Luis Agustín CARRAU MÉNDEZ PAZ

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

MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2016

Tesis aprobada por:

Director: .....

Ing. Agr. Esp. MSc. Ramiro Zanoniani

.....

Ing. Agr. PhD. Pablo Boggiano

.....

Ing. Agr. MSc. David Silveira

Fecha: 23 de febrero de 2016

Autores: .....

Álvaro José Capurro Bazzano

.....

Luis Agustín Carrau Méndez Paz

## AGRADECIMIENTOS

A todas aquellas personas que de uno u otra forma nos ayudaron a realizar este trabajo.

A nuestro tutor de tesis, Ing. Agr. Msc. Ramiro Zanoniani por el apoyo brindado.

A la licenciada Sully Toledo por el constante asesoramiento sobre la literatura citada.

Especialmente a nuestras familias, por el apoyo durante todos los años de la carrera.

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 ESPECIES QUE COMPONEN LA MEZCLA.....	3
2.1.1 <i>Festuca arundinacea</i> .....	3
2.1.2 <i>Dactylis glomerata</i> .....	4
2.1.3 <i>Medicago sativa</i> .....	6
2.1.4 <i>Lotus corniculatus</i> .....	7
2.1.5 <i>Trifolium repens</i> .....	8
2.2 MEZCLAS.....	9
2.2.1 <u>Dinámica de las mezclas</u> .....	11
2.3 MANEJO DEL PASTOREO.....	12
2.4 DEFOLIACIÓN Y DINÁMICA DEL DESARROLLO RADICULAR.....	15
2.4.1 <u>Relación animal pastura</u> .....	17
2.5 PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS DEL SUELO.....	20
2.5.1 <u>Estructura</u> .....	20
2.5.1.1 <u>Materia orgánica y estructura</u> .....	22
2.5.2 <u>Carbono del suelo</u> .....	24
2.5.3 <u>Fósforo</u> .....	26
2.5.4 <u>Potasio</u> .....	29
2.5.5 <u>Infiltración</u> .....	31
2.5.6 <u>Densidad aparente</u> .....	33
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	37
3.1 CONDICIONES EXPERIMENTALES GENERALES.....	37
3.1.1 <u>Ubicación experimental</u> .....	37
3.1.2 <u>Descripción del sitio experimental</u> .....	37
3.1.3 <u>Antecedentes del área experimental</u> .....	37
3.1.3.1 <u>Potrero 32b</u> .....	37
3.1.3.2 <u>Potrero 35</u> .....	39
3.2 TRATAMIENTOS.....	40
3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	40
3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	42
3.4.1 <u>Variables estudiadas</u> .....	42
3.4.1.1 <u>Densidad aparente</u> .....	42
3.4.1.2 <u>Infiltración</u> .....	43

3.4.1.3	Peso radicular y cantidad de raíces .....	43
3.4.1.4	Análisis de nutrientes .....	43
3.5	HIPÓTESIS .....	44
3.5.1	<u>Hipótesis biológica</u> .....	44
3.5.1.1	Potrero 32B .....	44
3.5.1.2	Potrero 35 .....	44
3.5.2	<u>Hipótesis estadística</u> .....	44
3.5.2.1	Potrero 32b .....	44
3.5.2.2	Potrero 35 .....	44
3.7	ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	45
3.7.1	<u>Modelo estadístico</u> .....	45
3.7.1.1	Potrero 32b .....	45
3.7.1.2	Potrero 35 .....	45
4.	<u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u> .....	46
4.1	CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DEL PERÍODO DE EVALUACIÓN ....	46
4.1.1	<u>Precipitaciones</u> .....	46
4.1.2	<u>Temperatura</u> .....	48
4.2	PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO.....	50
4.2.1	<u>Carbono orgánico</u> .....	50
4.2.1.1	Potrero 35 .....	50
4.2.1.2	Potrero 32b .....	53
4.2.2	<u>Fósforo</u> .....	56
4.2.2.1	Potrero 35 .....	56
4.2.2.2	Potrero 32b .....	60
4.2.3	<u>Potasio</u> .....	63
4.2.3.1	Potrero 35 .....	63
4.2.3.2	Potrero 32b .....	66
4.2.3.3	Comportamiento carbono-potasio .....	68
4.3	PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO Y DESARROLLO RADICULAR..	69
4.3.1	<u>Cantidad y peso de raíces</u> .....	69
4.3.1.1	Potrero 35 .....	69
4.3.1.2	Potrero 32b .....	74
4.3.2	<u>Densidad aparente</u> .....	77
4.3.2.1	Potrero 32b .....	77
4.3.2.2	Potrero 35 .....	79
4.3.3	<u>Infiltración</u> .....	80
4.3.3.1	Potrero 32b .....	80
4.3.3.2	Potrero 35 .....	82
4.4.	CONSIDERACIONES FINALES .....	84
5.	<u>CONCLUSIONES</u> .....	87
6.	<u>RESUMEN</u> .....	88
7.	<u>SUMMARY</u> .....	89
8.	<u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....	90

9. ANEXOS..... 101

## LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Producción anual de forraje y acumulada de dos cultivares de <i>Festuca arundinacea</i> , sembrados en el año 2008. ....	4
2. Rendimientos de forraje relativos a cv. Porto. ....	5
3. Primera fecha de siembra .....	38
4. Segunda fecha de siembra .....	39
5. Carbono total de 20 cm. ....	50
6. COS en los primeros 20 cm de suelo según tratamiento. ....	53
7. Medias de COS del estrato 0-5cm según fecha de siembra y mezcla considerada. ....	55
8. Valor promedio de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> en los primeros 20 cm de suelo. ....	57
9. Valor promedio de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> en los primeros 20 cm de suelo. ....	60
10. Contenido promedio de potasio intercambiable en los 20cm de suelo según tratamiento. ....	63
11. Contenido promedio de potasio intercambiable en los 20cm de suelo según tratamiento. ....	66
12. Características descriptivas del estado de los tratamientos. ....	72
13 Características descriptivas del estado de los tratamientos. ....	74
14. Cantidad de raíces por estrato según tratamiento. ....	76
15. Composición botánica disponible porcentual (%) para cada tratamiento. ....	81

### Figura No.

1. Croquis potrero 35. ....	41
2. Croquis potrero 32b. ....	42
3. Precipitaciones mensuales en la serie histórica 2002-2014 y durante el período de noviembre 2013 a marzo 2014. ....	46
4. Balance hídrico para el período en el que se realizaron las mediciones. ....	47
5. Precipitaciones diarias en el mes de marzo, 2014. ....	48
6. Temperaturas promedio del aire (°C) para el periodo nov./13-mar./14 y promedio histórico de referencia (2002-2014). ....	49
7. Carbono promedio por estrato según tratamiento. ....	51
8. Carbono orgánico del suelo promedio según estrato y tratamiento. ....	54
9. Fósforo promedio por estrato según tratamiento. ....	58

10. Contenido de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> promedio por estrato según profundidad de análisis y tratamiento. ....	62
11. Potasio intercambiable promedio por estrato según tratamiento. ....	65
12. Potasio intercambiable promedio por estratos, según tratamiento.....	67
13. Relación entre el potasio intercambiable en función del carbono orgánico.....	69
14. Peso promedio de raíces según estrato y tratamiento. ....	70
15. Promedio en cantidad de raíces transversales según sección y tratamiento..	71
16. Peso promedio de raíces según tratamiento en profundidades mayores a 40cm. ....	73
17. Peso promedio de raíces en cada estrato de suelo y según tratamiento.....	76
18. Densidad aparente para el potrero 32b.....	78
19. Densidad aparente para el potrero 35.....	79
20. Velocidad de infiltración potrero 32b. ....	81
21. Velocidad de infiltración potrero 35 según carga. ....	83



## 1. INTRODUCCIÓN

El Uruguay está sufriendo un proceso progresivo de intensificación hace ya varios años. Esta situación ha involucrado a los sistemas ganaderos, agrícolas y ganadero-agrícolas, que demandan una mayor producción por hectárea. Como es sabido existe un problema forrajero en la región que según Carámbula (2010a), se debe a factores como, las condiciones climáticas, suelos con bajos niveles de fósforo, poco aporte de especies invernales y leguminosas nativas, que provocan una oferta con des uniformidad en cantidad y calidad a lo largo del año, que afectan la producción animal. Por lo tanto, para poder alcanzar estos objetivos de mayor producción en una misma área, se necesita de un mejor aprovechamiento de las posibilidades que ofrece el medio ambiente para lograr la mejor eficacia. Es aquí donde se hizo partícipe, más aún, a los cultivos forrajeros.

Una opción para solucionar o cubrir la demanda de forraje que provoca esta intensificación, es buscar otras alternativas que involucren mayor cantidad y calidad de forraje, y que además, sea sustentable y sostenida en el tiempo. A su vez, es necesario conocer cuales alternativas forrajeras son las indicadas para cada sistema, teniendo en cuenta la carga animal que deberá soportar, sin poner en riesgo la sustentabilidad biológica y económica del mismo.

Para poder mantener una producción sustentable sobre una pradera sembrada, se deben mantener a largo plazo los recursos utilizados para su producción. Un recurso obviamente fundamental en el proceso es el suelo, por lo que el estudio del impacto del sistema animal-pastura y sus variantes, es imprescindible. Diferentes cargas animales, mezclas y fechas de siembra, son las variables evaluadas en este trabajo.

Con el objetivo de estudiar la repercusión de estas variables, posibles en cualquier sistema de producción semejante, se propone este trabajo llevado a cabo en la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni de la Facultad de Agronomía. Lo que se pretende es, evaluar el comportamiento o resultado de cada una de las variables sobre las propiedades físico químicas del suelo. Los indicadores que se utilizan para esto: carbono orgánico del suelo (COS), fósforo (P), potasio (K), infiltración y densidad aparente.

Es importante que la productividad de la pastura, que se deseaba al momento de instalarla, no sea a costas del recurso suelo, es decir de energía fósil. El efecto benéfico de las pasturas perennes es un concepto muy estudiado por varios autores, por este motivo es que se debería encontrar un equilibrio

entre esta capacidad de beneficiar al suelo y la producción secundaria (carne, lana y/o leche).

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 ESPECIES QUE COMPONEN LA MEZCLA

#### 2.1.1 Festuca arundinacea

Gramínea perenne invernada, presenta hábito de crecimiento cespitoso a rizomatoso (Carámbula, 2010a). Tiene tolerancia a suelos ácidos y alcalinos, y al drenaje pobre; pero para mantener una buena producción necesita buenos niveles de fertilidad (Langer, 1981).

Tiene un bajo vigor inicial, por lo que es vulnerable a la competencia con otras especies durante la implantación. Se considera que tiene buena precocidad otoñal y un rápido rebrote a fin de invierno con una floración temprana, y no presenta reposo estival (Muslera y Ratera 1984, Carámbula 2010a).

Su sistema radicular soporta bien el pastoreo incluso en época en que el terreno se encuentra húmedo (Muslera y Ratera, 1984). En verano la falta de agua limita más su crecimiento que las temperaturas elevadas, dependiendo la persistencia de la pastura en este momento de un buen desarrollo radicular desde fines de invierno y primavera, permitiendo explorar importantes volúmenes de suelo en las épocas de sequías (Carámbula, 2010a).

El macollaje se da principalmente en la etapa vegetativa (otoño-invierno), registrándose los máximos valores de macollas a fines de invierno, disminuyendo posteriormente durante la primavera y el verano (Formoso, 1995).

Es recomendado no permitir el encañado, ya que el mismo detiene la formación de macollas y el desarrollo del sistema radicular debilitando a la planta (García, 2003).

El pastoreo debe ser intenso y frecuente pero no continuo (Muslera y Ratera, 1984), de esta manera se evita utilizarlo de tal manera que crezca mucho ya que pierde terneza, digestibilidad y apetecibilidad formándose maciegas y resultando en que el animal la rechace (Carámbula, 2010a).

Si bien las sustancias de reserva se encuentran en las raíces y rizomas cortos, pastoreos intensos y prolongados pueden comprometer su crecimiento (Carámbula, 2002a).

Tacuabé es una variedad sintética creada en La Estanzuela, que ha sustituido casi completamente a Kentucky 31, teniendo como objetivo de

mejoramiento aumentar el potencial de producción de forraje otoño-invernal, la persistencia productiva y la fuerza de competencia con respecto a trébol blanco (García y Millot, 1978).

Cuadro No. 1. Producción anual de forraje y acumulada de dos cultivares de *Festuca arundinacea*, sembrados en el año 2008

	1er año	2do año	3er año	Total 3 años
	2008	2009	2010	Kg MS/ha
Estanzuela Tacuabé (T)	6037	12255	10135	28322
Inta Brava	5953	12399	10219	28478

Fuente: Ayala et al. (2010).

### 2.1.2 *Dactylis glomerata*

Esta especie también llamada vulgarmente “pasto ovillo” o “pasto azul”, es una especie perenne, C<sub>3</sub>, cuyo ciclo de producción es invernal con un tipo de crecimiento cespitoso. Sus macollos son achatados con una lígula blanca, sin aurículas. Sus vainas y láminas son glabras. Es una especie de bajo poder agresivo ya que forma matas individuales bien definidas y no produce rizomas ni estolones (García, 1995b).

Presenta buena resistencia a las bajas temperaturas y se comporta mejor a temperaturas más altas, sin limitantes hídricas. Se adapta bien a suelos livianos de moderada fertilidad, pero su comportamiento mejora en suelos francos y de mayor fertilidad. Tiene buena resistencia a la acidez y la sombra, por lo que tiene la capacidad de realizarse en siembras consociadas (Carámbula, 2010a).

Su sistema radicular es superficial, característica que debe ser considerada en el manejo de primavera-verano, realizando defoliaciones no intensas pero frecuentes. Esto permitirá mantener un área foliar que favorezca el desarrollo radicular, y por lo tanto mantenga la persistencia de las plantas durante los meses de verano en donde el déficit hídrico será más acentuado (Carámbula, 2010a).

*Dactylis glomerata* almacena sus sustancias de reserva en la base de los macollos y en las vainas de las hojas. Esto ubica a las mismas al alcance de los animales, por lo que el pastoreo debe ser considerado para mantener dichas sustancias y permitir el rebrote (Carámbula, 1977).

Tiene buena capacidad de competir frente a la gramilla (*Cynodon dactylon*) debido a que no posee latencia estival y su floración es tardía. Esta especie es más susceptible al pisoteo que festuca (García, 2003).

Su adaptación a pasturas mezcla es buena debido a que es una especie poco agresiva, lo cual, mediante un manejo adecuado de la leguminosa que lo acompañe permitirá obtener una pastura balanceada (Carámbula, 2002a).

El cultivar de *Dactylis glomerata* que se estudió en el presente ensayo es el cv. INIA Perseo. Este cultivar fue obtenido en La Estanzuela luego de tres ciclos de selección, con énfasis en rendimiento y sanidad. Su hábito de crecimiento es semi erecto y su color es más oscuro que el cv. INIA Oberón. A partir del segundo año presenta mayores rendimientos, sobre todo en estaciones de primavera, verano y otoño (Ayala et al., 2010).

Es un cultivar que se adapta tanto a suelos arenoso como pesados, pero su mejor desempeño es sobre suelos de texturas medias y permeables. No tolera suelos con excesos hídricos, por lo que estos deben ser bien drenados, y frente a condiciones de estrés hídrico durante los meses de verano se adapta mejor que otras gramíneas perennes (Ayala et al., 2010).

Cuadro No. 2. Rendimientos de forraje relativos a cv. Porto

	1º año	2º año	3º año	Total
PERSEO	105	105	109	105
INIA LE OBERON	107	104	102	103
PORTO	100	100	100	100
100= kgMs/ha	6634	9460	5276	21850

Fuente: Ayala et al. (2010).

### 2.1.3 Medicago sativa

Es una leguminosa perene estival, con crecimiento erecto a partir de la corona y su raíz es pivotante. Requiere suelos bien drenados y suelos sin acidez para una óptima producción (Langer, 1981).

El sistema radicular de la alfalfa consta de una raíz principal que penetra en el suelo hasta profundidades considerables. En los primeros 15 cm de suelo se concentra el 60-70% de la masa total de la raíz ya que su masa disminuye logarítmicamente en la medida que se desciende en el perfil del suelo. Las raíces fibrosas que proliferan en los primeros 20 cm de suelo son las que tienen la mayoría de los nódulos (Barnes y Sheaffer, 1995).

Para lograr una buena implantación de alfalfa, el suelo es el factor más determinante. El pH de este debe de ser el óptimo ya que afecta el crecimiento, la fijación simbiótica de N<sub>2</sub> y la disponibilidad de elementos esenciales como el potasio, fósforo, azufre y boro, limitantes en la producción de alfalfa (Barnes y Sheaffer, 1995). El pH óptimo esta en el rango de 6,0 y 6,5, con sus puntos críticos en 5,5 y 7,5. Por otro lado requiere de altos niveles de fósforo, 18 a 20 ppm (Morón, 2000).

El manejo de pastoreo de la alfalfa es óptimo cuando el régimen de cortes es poco frecuente. Esto permite a la planta realizar una mejor gestión de los nutrientes entre defoliaciones. Las reservas de nitrógeno en la raíz de la planta son determinantes de la velocidad de crecimiento luego de la defoliación (Barber et al., citados por Frame, 1996).

Su pico de producción se da en la primavera, cuando la temperatura y el agua favorecen su buen crecimiento. En verano su comportamiento depende de la capacidad de almacenamiento de agua del suelo. En otoño su producción es relativamente baja y su manejo debe tender a ser cauteloso de modo que se promueva su sobrevivencia y productividad (Carámbula, 2002a).

La alfalfa es recomendable asociarla con festuca, dactylis o cebadilla para generar mezclas con ventajas ante enmalezamientos y riesgos de meteorismo (Formoso, 2000).

Los cultivares se agrupan en tres categorías según su latencia, de mayor a menor detención del crecimiento en invierno: con latencia, latencia intermedia y sin latencia. La latencia invernal, constituye una adaptación de la especie para sobrevivir a la condición adversa del invierno (Castro et al., 2012).

Esta característica es muy relevante ya que determina la distribución estacional de forraje y su potencial de crecimiento con bajas temperaturas (Rebuffo, 2000).

El cultivar Estanzuela Chaná es una variedad seleccionada por persistencia, se caracteriza por poseer latencia invernal. Su mayor rendimiento se logra en suelos bien drenados de textura media a liviana, fértiles, con alta disponibilidad de fósforo. Es especialmente recomendada para la producción de heno y no se adapta a suelos ácidos (García et al., 1991).

Estanzuela Chaná presenta latencia intermedia según la evaluación de INIA-INASE del período 2011, la producción en el segundo año de vida promedio de siembras de 2007, 2008 y 2009 fue entorno a 11800 kg MS/ha (INASE, 2012).

#### 2.1.4 Lotus corniculatus

Es una leguminosa perenne estival. Su crecimiento es a partir de corona, con tallos erectos y raíz pivotante con raíces laterales que le confieren gran resistencia a las deficiencias hídricas (Zanoniani y Ducamp, 2004).

Se adapta a un amplio rango de condiciones edáficas manteniendo buenas producciones, además sus requerimientos de fósforo son menores con respecto al trébol blanco. No presenta riesgo de meteorismo (Formoso, 1993).

Sus características morfológicas le confieren sensibilidad al pastoreo. Sus tallos son erectos lo que determina que la defoliación retire tanto folíolos como meristemas axilares y apicales. Debido a la disposición de sus tallos, las hojas más nuevas son retiradas con anterioridad a las hojas viejas, de esta forma el remanente está compuesto por un área foliar de muy baja o nula capacidad fotosintética. Por lo tanto, el rebrote dependería básicamente de las reservas acumuladas previamente (Zanoniani y Ducamp, 2004).

Es la leguminosa más sensible a la defoliación, especialmente a la frecuencia con que se da la misma. Según Carámbula (2002a), el lotus se suele beneficiar con pastoreos controlados que le permitan alcanzar alturas de 20 a 25 cm. antes de ser defoliado o, en caso de pastorear de forma continua, se deberá dejar rastrojos de no menos de 7,5 cm. Pastoreos muy frecuentes y muy intensos determinan baja producción y longevidad de las plantas. Más concretamente, el manejo en el verano, es el determinante de disminuir la persistencia de las plantas (Zanoniani y Ducamp, 2004). Además del pastoreo, la persistencia de *Lotus corniculatus* se ve afectada principalmente por enfermedades en raíz y corona (Altier, 1996).

En el Uruguay el cultivar San Gabriel se caracteriza por presentar una capacidad de producción de forraje continua durante todo el año. En el invierno el potencial de producción de forraje disminuye debido a la ocurrencia de temperaturas subóptimas para la fotosíntesis y no por activación de mecanismos de latencia (Formoso, 1993).

La producción según la evaluación realizada por INIA-INASE 2011 para el primer año es de 4668 kg/ha MS, para segundo año 5050 kg/ha MS logrando un total de 10210 kg/ha MS para el conjunto de los dos años (INASE, 2012).

#### 2.1.5 Trifolium repens

Es una especie perenne invernada, su hábito de crecimiento es estolonífero, lo que, principalmente, caracteriza y define a esta especie como la leguminosa perenne de mejor adaptación a las praderas de pastoreo de las zonas templadas de todo el mundo (Muslera y Ratera, 1984).

Se adapta mejor a suelos medianos a pesados, fértiles y húmedos, no tolera suelos superficiales. Responde a niveles crecientes de fósforo, teniendo un gran potencial de fijación de nitrógeno (Carámbula, 2010a).

Se puede comportar como planta anual a través de la resiembra, o como perenne mediante la producción de estolones. La importancia relativa de ambos mecanismos varía en función del clima. Tiene bajo vigor inicial, por lo que su establecimiento suele ser lento. En mezclas con festuca y/o dactilis, la competencia no es muy fuerte por lo que la implantación es más fácil que si se usa raigrás (García, 1995b).

En su primera etapa de vida el trébol blanco posee una raíz pivotante, y un tallo principal. Luego del primer o segundo año, ésta raíz será suplantada por raíces adventicias en cada uno de los nudos de los estolones y que normalmente se concentran en los primeros 15 cm de suelo (García, 1995b).

Según Carámbula (2010a), el trébol blanco tiene una gran adaptación al manejo intensivo del pastoreo debido a 5 atributos: porte rastrero, meristemas contra el suelo, índice de área foliar bajo, hojas jóvenes ubicadas en el estrato inferior y hojas maduras en el estrato superior. Estas características le confieren una recuperación del pastoreo sumamente rápida que permite una gran frecuencia de aprovechamientos (Muslera y Ratera, 1984).

Su elevado valor nutritivo y su habilidad para fijar cantidades muy apreciables de nitrógeno han determinado que el trébol blanco sea una de las especies más importantes para utilizar en mezclas forrajeras (Carámbula, 2010a).



Estanzuela Zapicán es el cultivar de trébol blanco más usado en el Uruguay. Presenta un buen aporte invernal de forraje, produce muy bien desde otoño hasta mediados de primavera. Además de presentar una muy buena sanidad (Díaz Lago et al., 1996), dicho cultivar registró producciones de 7359 kg/ha MS y 11900 kg/ha MS en el segundo obteniendo un total de 19217 kg/ha MS (INASE, 2012).

## 2.2 MEZCLAS

Una mezcla forrajera es una población artificial integrada por varias especies con diferentes características tanto morfológicas como fisiológicas. Como resultado de esta asociación artificial y de los atributos individuales de cada especie que conforman la mezcla, se produce un proceso complejo de interferencias que puede tener como resultado: depresión de una especie en beneficio de otra, mutuo beneficio, y por último ninguna interferencia (Carámbula, 2010a).

Las mezclas forrajeras se componen de gramíneas y leguminosas. El objetivo que buscan es una alta producción de materia seca, de alto valor nutritivo y una distribución de producción uniforme a lo largo del año (Santiñaque y Carámbula, 1981).

La elección de las especies que formarán la mezcla forrajera es decisiva tanto para su productividad como para su longevidad. En dicha elección es indispensable considerar tres factores fundamentales: suelo, clima y propósito (Carámbula, 2010a).

El propósito de la mezcla es obtener una dieta bien balanceada de gramíneas y leguminosas. Por lo general se apunta a valores de 60-70 % de gramíneas, 20-30 % de leguminosa y 10 % malezas (Carámbula, 2010a).

Según Scheneiter (2005) cuando dos forrajeras se siembran juntas la relación que se puede establecer entre ellas es, con más frecuencia es la de competencia, o por otro lado, la de complementación, que es más esporádica. Por otro lado, Fariña y Saravia (2010) expresan que las mezclas deberían ser más eficientes, que si se las cultivara individualmente. La utilización de especies de ciclos de producción complementarios (invernal y estival) en una mezcla, fue más productivo que las praderas puras (Santiñaque y Carámbula, 1981). Los mismos autores confirman que las especies con ciclos de producción complementarios cambian el orden de dominancia a lo largo del año, de tal forma que sus ciclos se superponen lo menos posible y por lo tanto minimizan la competencia.

Las mezclas se pueden clasificar en ultra simples, simples, y complejas (Carámbula, 2010a).

La formulación de pasturas en forma de mezcla se debe a varias razones. Las gramíneas presentan una serie de ventajas al ser incluidas en la misma ya que tienen muy buena adaptación a la mayoría de los suelos, no producen meteorismo, tienen pocos problemas por ataque de plagas y enfermedades, mejoran la persistencia de las pasturas, permiten un control de malezas de hoja ancha más fácil y producen materia seca a lo largo de todo el año. Por otro lado, las leguminosas aportan un alto valor nutritivo a la pastura, le proveen de nitrógeno a las gramíneas, y mejoran la fertilidad en suelos naturalmente pobres y degradados por mal manejo, mejorando la estructura del suelo, particularmente en profundidad (Carámbula, 2010a).

Las gramíneas constituyen indudablemente el volumen más importante de forraje para los animales. Sin embargo, necesitan una fuente apropiada de nitrógeno para mantener una alta producción de forraje. Esto se puede lograr mediante aplicación de fertilizante o en siembras asociadas a leguminosas (Carámbula, 1977).

El rol de las gramíneas dentro de la mezcla consiste en aportar productividad sostenida por varios años, adaptación a gran variedad de suelos, facilidad de mantenimiento de poblaciones adecuadas, permitir una explotación total del nitrógeno simbiótico, brindar estabilidad a la pastura, disminuir la vulnerabilidad a la invasión de malezas, y mejorar las propiedades físicas del suelo (Carámbula, 2010a).

Las leguminosas, no son solo importantes debido a que aumenten los rendimientos en materia seca de las gramíneas, sino que su presencia aumenta la calidad del forraje producido. Minson y Milford (1967) observaron que solo la presencia de un 10% de leguminosas en una pastura madura, puede aumentar hasta un 50% el consumo voluntario, promoviendo importantes ganancias de peso en los animales que la pastoreaban.

Desde un punto de vista de la calidad forrajera, las leguminosas tienen mayor contenido de proteína que las gramíneas y menos fibra, con una mayor proporción de carbohidratos solubles e insolubles. También tienen un mayor contenido de minerales (Smetham, 1981).

### 2.2.1 Dinámica de las mezclas

En cuanto a la dinámica de las especies en la mezcla, la mayoría de las pasturas cultivadas presentan un desequilibrio acentuado a favor de la fracción leguminosa, inclusive desde el momento de la implantación, dado que es más fácil establecer leguminosas que gramíneas. Este desbalance se acentúa en mezclas sembradas sobre suelos pobres o degradados, donde la sola fertilización fosfatada y la deficiencia de nitrógeno conduce a una mala implantación de las gramíneas (Carámbula, 1991). De todas formas, Bautés y Zarza (1982), resaltan que generalmente en suelos fértiles las mezclas se encuentran balanceadas.

Los niveles de humedad que requieren las leguminosas para germinar son menores que los de las gramíneas, por lo tanto, germinan con anterioridad a las últimas. Por ello las leguminosas se adaptan a germinaciones en ambientes restringidos en humedad (Carámbula, 2002b).

Si bien esta superioridad de las leguminosas tiene su aspecto positivo desde el desempeño animal, también es cierto que conduce a pasturas de baja persistencia, dado que una vez incrementado el nivel de nitrógeno del suelo mediante el proceso de simbiosis, la invasión de especies mejor adaptadas, pero menos productivas termina dominando las praderas (Carámbula, 1991). Formoso (2000) expone que luego del incremento de nitrógeno en el suelo aportado por la leguminosa (alfalfa), las gramíneas son capaces de ocupar los espacios vacíos de las últimas muertas.

La invasión de las malezas de verano es una de las principales causantes de inestabilidad en la mezcla y su producción. Estas toman lugar en nichos ideales como el suelo descubierto, producto de la muerte de especies invernales, generalmente leguminosas, sensibles al estrés hídrico (Carámbula, 2010a).

Según Carámbula (2004), en la búsqueda de un buen balance entre gramíneas y leguminosas, cuando aumentan las primeras en detrimento de las leguminosas se produce una disminución de la producción animal. Cuando el aumento es de las leguminosas se da lo contrario en cuanto a la producción animal, pero se corren serios riesgos de que produzcan meteorismo.

Mediante la defoliación y el uso eficiente de la luz se puede manejar la proporción de las diferentes especies, y así mitigar problemas de meteorismo. Con defoliaciones frecuentes se ven favorecidas la mayoría de las leguminosas, ya que con áreas foliares menores absorben mayor cantidad de energía que las gramíneas. En cambio, si las defoliaciones son poco frecuentes, entonces se estaría estimulado el crecimiento de las gramíneas (Carámbula, 2004).

## 2.3 MANEJO DEL PASTOREO

Es importante colocar a las plantas en iguales condiciones de competencia por los recursos y permitirles un buen desarrollo luego de cada pastoreo. Por lo tanto, Zanoniani (1999) descarta la opción de pastoreos continuos, inclinándose por los pastoreos rotativos/racional, como una opción válida y concreta. Las características del pastoreo rotativo que resalta son: menor caminata y selección del animal, menor cantidad de malezas, mayor cantidad y calidad de alimento, y una mejor distribución de heces y orina.

Allan, citado por Carámbula (2010a) observó que una simple división en el potrero que permitiera un descanso y acumulación de forraje, podría incrementar hasta un 26% las ganancias de peso vivo y que más subdivisiones no reflejarían incrementos significativos.

Bignoli y Marisco (2005) afirman que el pastoreo rotativo permite utilizar los potreros de forma más racional pero intensamente y luego permitirle un periodo de descanso. Este mayor control de los periodos de pastoreo y de descanso permite un uso más controlado de la pradera además de una uniforme distribución de las deyecciones del ganado.

Los parámetros que definen el pastoreo son la frecuencia y la intensidad. Harris y Lazemby (1978) definen a la frecuencia como el intervalo de tiempo entre defoliaciones sucesivas.

Si el intervalo entre dos pastoreos sucesivos depende de cada especie en particular o de la composición de la pastura y de la época del año en que aquella se encuentre, el elemento que determinará la longitud del período de crecimiento será la velocidad de la pastura en alcanzar el volumen adecuado de forraje, aspecto que será determinado en teoría por el IAF (Carámbula, 2004).

Cuanto más abajo sea desfoliada una pastura, demorará más en alcanzar el IAF crítico (Brougham, 1956), alargando el período entre dos pastoreos sucesivos. En pasturas con IAF óptimos bajos, como aquellas dominadas por tréboles, es posible realizar un aprovechamiento más intenso con defoliaciones más frecuentes (IAF 3) que en pasturas dominadas por leguminosas erectas (IAF 5) o por gramíneas erectas (IAF entre 9 y 10, Agustoni et al., 2008).

Formoso (2000) expresa que los pastoreos demasiado frecuentes generan una disminución del nivel de reservas y, por lo tanto, del peso de las raíces, lo que genera a largo plazo una disminución de la producción de forraje y rebrotes más lentos. En cambio, si las pasturas son sometidas a períodos

prolongados de descanso su rendimiento relativo es mayor explicado por la oportunidad de reaprovisionar sus reservas (Langer, 1981).

La intensidad refiere a la biomasa cosechada en cada corte o pastoreo. Esta dada por la altura del remanente luego de retirado los animales. Esta altura de remanente es un factor muy importante ya que condiciona el rebrote y su velocidad, además de afectar la producción total de la pastura. Una gran intensidad supone una gran cosecha de pasto pero condicionará la producción futura del mismo o el tiempo a la próxima entrada. Es muy importante que el remanente sea eficiente desde el punto de vista fotosintético (Carámbula, 2004). El tiempo transcurrido hasta lograr el IAF crítico dependerá no solo de la época del año, sino también y, fundamentalmente, de la altura hasta la cual la pastura ha sido previamente pastoreada o cortada (Langer, 1981).

Cada especie posee una altura mínima a la cual puede dejarse el remanente sin que el crecimiento posterior sea afectado negativamente. Esta altura está muy influenciada por el hábito de crecimiento de la especie (Carámbula, 2008).

La tasa de crecimiento del cultivo depende del área foliar existente. Cada cultivo tiene un valor de IAF donde se hace máxima la tasa de crecimiento. Una vez alcanzado el IAF crítico la pastura crece a su máxima tasa, aumentando el crecimiento, y también el IAF más allá de su valor crítico (Carámbula, 1977).

Escuder, citado por Cangiano et al. (1996), agrega que para obtener la máxima producción por hectárea debe evitarse pastoreos severos que provoquen disminuciones importantes en el crecimiento de las pasturas. Pero de todos modos éstos deben ser lo suficientemente intensos para tener una eficiencia de cosecha elevada y disminuir de esta forma las pérdidas por senescencia, reafirmando lo anterior.

La altura óptima de remanente de pastoreo según cada situación es difícil de determinar, pero en especies de mayor productividad alturas superiores a 5 cm no limitan la productividad de la pastura. Menores intensidades son acompañadas por menores tiempos de reingreso a la pastura. Esto además varía según la estación del año, por ejemplo, en primavera-verano la altura es siempre mayor que en otoño-invierno, ya que la tasa de crecimiento de la pastura es menor (Zanoniani, 1999).

Según Agustoni et al. (2008), Foglino y Fernández (2009), como recomendación general las especies prostradas pueden ser pastoreadas en promedio hasta 2,5cm y las erectas entre 5 y 7,5 cm.

La disponibilidad y estructura del forraje también están influidas por la intensidad manejada. Si la intensidad es alta como consecuencia se obtendrá una pastura más tierna en general y de mayor aprovechamiento. De lo contrario, si es baja la pastura tendrá una alta frecuencia de tallos más desarrollados y menor relación hoja-tallo (Zanoniani et al., 2006). Saldanha et al. (2010), agregan que la intensidad de pastoreo afecta la densidad de macollos así como de plantas, el número de macollos y sobre todo el peso de los mismos.

Cuando se maneja el pastoreo sobre una pradera cultivada se busca maximizar el crecimiento y utilización de forraje de alta calidad para consumo animal y mantener las pasturas vigorosas, persistentes y estables a largo plazo (Formoso, 1995).

Por lo tanto, para maximizar la producción de forraje con la mayor calidad posible, procurando a su vez que la mayor cantidad posible de alimento producido sea comido por el animal en pastoreo, se necesita combinar exitosamente dos sistemas biológicos (plantas y animales) muy diferentes, pero interdependientes. Para lograr un buen manejo del pastoreo, es imprescindible que las pasturas se utilicen de acuerdo con las características de las especies que las constituyen, teniendo en cuenta las variaciones climáticas y los cambios morfo fisiológicos que se producen en las plantas a lo largo de su ciclo (Carámbula, 2010c).

Zanoniani et al. (2006) evaluaron el efecto de cuatro intensidades: 2,5, 5,0, 7,5 y 10 cm, determinando en cada tratamiento la producción estacional y anual, su utilización, los efectos de los manejos realizados sobre la producción de forraje otoño-invernal y el número de macollas en el otoño. La producción anual no varió significativamente entre los tratamientos a pesar de existir diferencias de producción de forraje de hasta 1500 kg/ha MS. En cuanto a la producción estacional, las principales diferencias encontradas son debido al aporte primavero-estival de cada alternativa, no siendo la principal causa el manejo. Con referencia a la utilización de forraje se detectó una relación lineal con la intensidad de pastoreo. Las principales diferencias entre los distintos manejos en el experimento se comenzaron a manifestar luego del verano del primer año. Se observó una clara tendencia a un mejor comportamiento de los manejos más aliviados, siendo 7,5 cm el remanente que presentó el mejor comportamiento.

Este resultado no se debe a una mayor cantidad de macollas, sino al mayor peso de estas, que presumiblemente se tradujo a una mejor posibilidad de extraer agua desde horizontes más profundos. Las diferencias en la producción de forraje durante el período otoño-invierno del segundo año fueron determinadas no solo por el manejo sino también por las condiciones climáticas

del verano que afectaron a las especies, destacándose nuevamente el tratamiento de 7,5 cm de remanente. Las alturas determinadas para el ingreso del pastoreo permitieron recuperar el área foliar y el estado de la pastura en todos los tratamientos.

## 2.4 DEFOLIACIÓN Y DINÁMICA DEL DESARROLLO RADICULAR

Los cortes o pastoreos significan el retiro parcial o total del aparato fotosintético de las plantas, por lo tanto, genera una disminución del tamaño del aparato foliar, lo que implica un estrés energético sobre las mismas (Formoso, 2011).

La defoliación modifica la morfología de las plantas. El grado y variantes de modificación están influidos por la carga y categoría animal utilizada (Grant et al., 1981). La defoliación provoca cambios en la composición botánica, esto puede afectar la cantidad, calidad y estacionalidad de la producción de la pastura y por lo tanto la producción animal (Cangiano, 1997). Según la intensidad y frecuencia del pastoreo la distribución vertical de los componentes de la pastura varía, y por lo tanto su valor nutritivo (Montossi et al., 1994).

Severidad y frecuencia junto a la selectividad de los animales en pastoreo, desempeña un rol muy importante en la permanencia y productividad de una pradera, ya que las especies que la componen varían en sus hábitos de crecimiento (Clarke, 1983).

Si la defoliación es severa la mortandad de plantas aumenta debido a la reducción de la tasa de aparición de nudos y crecimiento de yemas axilares para el rebrote (Olmos, 2004). Formoso (1996) agrega que la frecuencia e intensidad de los cortes modifica la cantidad de meristemas refoliadores, los niveles de energía disponibles para los mismos, y la tasa de crecimiento de los rebrotes. Por otro lado, McNaughton (1979) agrega que la defoliación estimula una mayor tasa de fotosíntesis en el tejido residual, relocalización de sustratos desde otro lugar o sitio de la planta, provoca un aumento en la intensidad de luz por eliminación de tejido viejo menos funcional y reduce la tasa de senescencia foliar prolongando el periodo de actividad fotosintética del tejido residual.

En mezclas, determinado manejo del pastoreo puede generar una ventaja competitiva a una especie u otra implicando períodos de dominancia en el tapiz (Smetham, 1981). Según Carámbula (2010c) el desequilibrio entre las principales especies ya sea gramínea o leguminosa, lleva irremediablemente a pérdidas de producción de materia seca.

El desarrollo de la raíz tiene importancia porque de ella depende la absorción del agua y nutrientes (Muslera y Ratera, 1984).

Las plantas forrajeras poseen dos sistemas radiculares bien definidos, raíces seminales y raíces adventicias (Langer, 1981). Las raíces seminales se producen durante la germinación (Muslera y Ratera, 1984). Las raíces adventicias aparecen en los nudos de los tallos, justo por debajo de los meristemos nodales intercalares (Carámbula, 2010a).

La mayor parte de las raíces se desarrollan en la capa superficial del terreno (primeros 10 cm de suelo) donde se encuentra la materia orgánica y los elementos minerales vitales para la alimentación de la planta (Muslera y Ratera, 1984).

Muslera y Ratera (1984) expresan que el crecimiento de la raíz a lo largo del año se produce estacionalmente durante períodos que no coinciden con el de la parte aérea de la planta. En especies de clima templado se produce crecimiento de raíces en el invierno, cuando las temperaturas son muy bajas, pero el máximo crecimiento se produce a principios de primavera cuando aún la actividad vegetativa no es muy grande. Es un momento donde la planta se prepara para el gran crecimiento primaveral.

En especies templadas, las temperaturas bajas y altas intensidades de luz favorecen el crecimiento y la acumulación de carbohidratos en las raíces. Por ello, el desarrollo y crecimiento de nuevas raíces se registra básicamente tarde en invierno y principios de primavera (Carámbula, 2010a).

A finales de primavera y comienzo de verano las raíces detienen su crecimiento como consecuencia de las altas temperaturas y porque el desarrollo de las inflorescencias necesita de las reservas que muchas plantas almacenan en las raíces (Muslera y Ratera, 1984).

En los sistemas radiculares hay procesos continuos que involucran senescencia, muerte y formación de nuevas raíces. Esto se debe fundamentalmente al efecto de la defoliación y posterior rebrote, demandante de carbohidratos (Carámbula, 2010a).

Carámbula (2010a) expresa que las defoliaciones producen un patrón en el crecimiento de las raíces como consecuencia de que la planta utiliza los hidratos de carbono almacenados en ellas para recomponer la parte aérea, hasta alcanzar una relación parte aérea/raíces que es constante en cada planta en una fase determinada de su desarrollo.

El peso de la parte aérea de la planta está en relación con el sistema radicular. Una reducción de la parte aérea por defoliación produce la muerte de



parte del sistema radicular. La muerte de las raíces se produce de acuerdo con un orden. Las raíces principales disponen de más reservas y sobrevivirán más tiempo que otras raíces secundarias. Esta reducción del sistema radicular no tiene porque ser perjudicial para la planta, pero indirectamente la planta pierde capacidad de alimentación y de resistencia a sequía, pues reduce el volumen de suelo que puede explorar (Muslera y Ratera, 1984).

Los sistemas radiculares son muy sensibles a la calidad y cantidad de luz que interceptan las hojas (Carámbula, 2010a). La falta de luz por competencia de otras plantas afecta el crecimiento de las raíces y a la relación parte aérea/raíz como consecuencia de la reducción de hidratos de carbono (Evans, citado por Muslera y Ratera, 1984).

Varios factores influyen en la penetración y proliferación de las raíces en el suelo. La disponibilidad de nutrientes juega un papel muy importante en la proliferación del sistema de raíces, si bien éstas penetran en zonas donde hay escasez de nutrientes. La disponibilidad del agua también afecta el alargamiento de las raíces, que no penetran en suelos áridos, y el índice de alargamiento decrece al aumentar la tensión del agua del suelo. Si este contiene sustancias tóxicas, tales como cantidades excesivas de aluminio soluble, el desarrollo de las raíces es restringido (Baver et al., 1973).

La adecuación del suelo como ambiente para el crecimiento y funcionamiento del sistema radicular de las plantas depende de tres factores importantes: la disponibilidad de nutrientes, oxígeno y agua; el grado de impedancia mecánica para la proliferación de las raíces; y la temperatura (Baver et al., 1973).

#### 2.4.1 Relación animal pastura

La pastura afecta directamente la condición del animal a través de la oferta en cantidad y calidad, pero a su vez, el animal afecta la condición de la pastura a través de los efectos del pastoreo. Estos efectos pueden ser benéficos, si interfiere, por ejemplo, en el proceso inexorable de senescencia, o menos deseable, a través de su acción de selección, el pisoteo, el arrancado y la regeneración de plantas, y las deyecciones (Nabinger, 1996).

Beguet y Bavera (2001) determinan que existe una gran relación entre el valor nutritivo y la selectividad; el vacuno posee un instinto alimentario por el cual selecciona los alimentos que satisfagan lo mejor posible sus necesidades fisiológicas. Otros factores que inciden a la hora de seleccionar la pastura son la composición química, la forma de presentación del alimento, el tacto, el aroma, el gusto o la combinación de ellos.

La selección animal es un mecanismo que comprende dos factores: el sitio de pastoreo y la localización del bocado durante el pastoreo (Hodgson, Milne, Gordon y Lescano, citados por Montossi et al., 1996).

La cantidad y calidad de la dieta cosechada por los animales es producto del comportamiento ingestivo. Esto quiere decir que los animales buscan y seleccionan el alimento de mayor valor nutritivo, de allí la respuesta de este (De León, 2007). Por ejemplo, Hodgson (1990), expresa que plantas gruesas, espinosas y vellosas son generalmente eludidas.

Valores de digestibilidad del forraje consumido de la pastura son positivamente correlacionados con el grado de selectividad de pastoreo (Blaser et al., 1960). El contenido de fibra detergente neutro en el forraje seleccionado es menor que el que se le ofrece (Dalley et al., 1999).

Animales pastoreando pasturas mezcla frecuentemente tienden a pastorear algunas especies de plantas y evitar otras (Hodgson, 1990). Blaser et al. (1960), observaron que en pastoreo selectivo de pasturas de gramíneas y mezcla de gramínea/trébol, los novillos preferían el trébol frente a las gramíneas.

Arnold (1981), afirma que animales prefieren hojas antes que los tallos, es decir, material verde antes que viejo o seco. Minson (1983), agrega que las hojas son más consumidas frente a los tallos, ya que las primeras estimulan una mayor tasa de pasaje. Si el estrato preferido por el animal disminuye, su selección se ve restringida y esto influye directamente en el consumo y performance del animal (Cangiano, 1997).

Una disponibilidad que exceda los requerimientos del animal, sumado a una heterogeneidad de valor nutritivo de la pastura, da la oportunidad al animal de seleccionar su dieta, es decir, discrimina a su criterio lo que come o no (Cangiano, 1997). En otras palabras, Hodgson (1990), sugiere que la oportunidad para seleccionar es influenciada por la relativa proporción de diferentes especies de plantas y componentes morfológicos, y su relativa distribución en el tapiz.

La selectividad animal de los diferentes componentes existentes dentro de una pastura está ligada a la disponibilidad y accesibilidad de estos durante el proceso de pastoreo (Montossi et al., 1996).

Cubillos y Mott (1969), plantean la situación de un sistema de pastoreo rotativo en el que se observa un alto consumo de forraje al entrar en la nueva pradera, ya que el forraje es altamente seleccionado, pero la selección disminuye a medida que el tiempo transcurre y los animales permanecen en la

misma pradera. Al final de este período los animales se ven forzados a consumir forraje maduro y menos digestible.

En ecosistemas pastoriles el pastoreo es un importante determinante de la composición botánica y de su estabilidad. En pasturas no pastoreadas el balance de abundancia relativa de especies está determinado principalmente por la competencia por luz, agua y nutrientes (Nabinger, 1996).

El animal provoca un desigual reparto de las heces en la pradera, además posteriormente hay un rechazo del forraje producido en esas zonas (Muslera y Ratera, 1984).

En el largo plazo, estas condiciones, sumadas al pisoteo y compactación pueden causar un deterioro o desbalance de la composición botánica (Langer, 1981). Muslera y Ratera (1984) agregan que la composición botánica también se ve influida por la tolerancia de las especies al pisoteo, debido a su estructura o hábito de crecimiento. La producción en especies resistentes disminuye solamente 5% y en especies susceptibles se reduce hasta 50% (Snaydon, 1981).

El efecto de la orina y heces se produce en parches donde la composición botánica es afectada predominando pastos altos que provocan una reducción en la proporción de tréboles y pastos cortos intolerantes al sombreado (Snaydon, 1981).

Carámbula (2010b), expresa que el sobre pastoreo de las plantas forrajeras supone una reducción de las sustancias de reservas, lo que conlleva a una reducción de los sistemas radiculares. Además, esto provoca vulnerabilidad en períodos de sequía porque las plantas reducen la capacidad de absorción de agua y nutrientes de partes profundas del suelo. A esto, el mismo autor agrega que, para obtener buenos niveles de producción, es necesario, entre otros factores, que cuenten con un sistema radicular adecuado, especialmente en momentos de déficit hídricos.

Luego de cada corte o pastoreo una parte importante de los sistemas radiculares de una pastura muere con ella, en las leguminosas mueren también numerosos nódulos, todo lo cual sucede como consecuencia de la falta de aporte de carbohidratos producidos por la parte aérea, al quedar ésta reducida luego de un pastoreo (Carámbula, 2010b).

El pisoteo, producto del sobrepastoreo en condiciones de alta humedad, altera el microambiente de la pastura. Afecta tanto la parte aérea de las plantas, como su sistema radicular a través de la excesiva compactación que genera la pezuña del animal. Como consecuencia de esto se produce una menor

aireación y una menor velocidad de infiltración del agua (Edmond, citado por Carámbula, 2010b).

El exceso hídrico sumado a una alta carga animal provoca disminuciones en el crecimiento, volumen y vigor de los sistemas radiculares. Esto tiene como consecuencia un rebrote lento y deja susceptible la capacidad de supervivencia de las plantas al verano siguiente. Estos procesos son acentuados en suelos con mal drenaje (Carámbula, 2010b).

Aumentos de frecuencia y/o intensidad de la defoliación incrementan la carencia de energía y los individuos modifican el tamaño de la parte aérea y radicular, para alcanzar un nuevo estado de equilibrio entre ambas. Post defoliación, la primera prioridad de las plantas es restablecer la capacidad de fijar radiación como energía y en una segunda etapa, se recompone el sistema radicular (Formoso, 2011).

Carámbula (2010c) plantea que un manejo severo y continuo puede llevar no sólo a una reducción drástica en el vigor de las plantas por bajas reservas, áreas foliares remanentes escasas y efectos negativos sobre los puntos de crecimiento, sino además conducir a sistemas radiculares poco desarrollados.

El rebrote depende universalmente de la disponibilidad de puntos de crecimiento, de un área foliar remanente eficiente, de un volumen alto de sustancias de reserva en los órganos más perdurables y de sistemas radiculares amplios y vigorosos (Carámbula, 2010c). La intensidad de la defoliación también afecta a la utilización de las reservas. Un corte bajo deja a la planta sin material clorofílicamente activo que pueda sintetizar los hidratos de carbono que necesita para su posterior crecimiento, pero las nuevas hojas que aparecen rápidamente son material joven muy eficiente y el proceso de recuperación se inicia rápidamente (Muslera y Ratera, 1984).

Los dos principales factores que afectan un buen desarrollo del sistema radicular en un suelo compactado son la aireación y la impedancia mecánica (Baver et al., 1973).

## 2.5 PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS DEL SUELO

### 2.5.1 Estructura

Se define a la estructura como el arreglo de las partículas del suelo. Se debe entender por partículas, no solo las que fueron definidas como fracciones granulométricas (arena, arcilla y limo), sino también los agregados o elementos

estructurales que se forman por la agregación de las fracciones granulométricas. Por lo tanto, "partícula" designa a toda unidad componente del suelo, ya sea primaria (arena, limo, arcilla) o secundaria, como agregado o unidad estructural (Baver et al., 1973).

La floculación y la dispersión parecen ser fenómenos principalmente electroestáticos, la estabilización de agregados más grandes involucra la cementación o agentes vinculantes que pueden ser inorgánicos, asociaciones órgano-minerales u orgánicos (Tisdall y Oades, 1982).

Schofield y Samson, citados por Baver et al. (1973), expresan que la floculación es un proceso coloidal, donde las partículas primarias con alto potencial electrocinético se repelen mutuamente cuando chocan en una suspensión. Si se reduce el potencial en grado suficiente, la colisión entre las partículas resulta en una mutua atracción y en la formación de un flóculo. La floculación resulta de la atracción electroestática entre los bordes positivos y las cargas negativas de los minerales de arcilla.

La génesis de la estructura comprende el efecto de los cationes, la interacción de las partículas de arcilla, en relación con la humedad y la temperatura, la interacción de la arcilla y la materia orgánica, la actividad de la vegetación, de la fauna, y de los microorganismos (Baver et al., 1973).

En la formación de los agregados existen dos aspectos distintos: primero la aparición de enlaces entre partículas que confieren estabilidad, y segundo, la separación de las unidades estructurales entre sí, que determinan el tamaño y forma característica en cada unidad. Los enlaces entre partículas pueden suceder por la atracción existente entre las partículas de arcilla, pero a su vez existe diferencia entre la composición mineralógica de esta fracción, Hagin y Bodman, citados por Black (1975b), indican que la montmorillonita forma enlaces más estables que la caolinita. Por lo tanto, las características mineralógicas son importantes para las características físicas de un suelo entre otras razones, porque el contenido de materia orgánica estabilizado (componente primordial de la formación de estructura) depende de las características mineralógicas y además por las características mencionadas de los diferentes minerales de establecer agregados

La estructura del suelo no es fácilmente medible, debido a la complejidad del mismo y a la multiplicidad de sus funciones. Los principales factores que determinan las propiedades físicas del suelo son la composición mineralógica básica y la distribución del tamaño de partículas, así como el modo en el cual las partículas se unen para formar los agregados (Martino, 2001).

### 2.5.1.1 Materia orgánica y estructura

La formación de agregados y su estabilidad en agua, en general está directamente relacionada con los niveles de materia orgánica, con la actividad de los microorganismos (principalmente por acción de las hifas de hongos) y con los exudados radiculares (polisacáridos). Mientras que experimentos llevados a cabo por Mehta y Greenland, citados por Black (1975b), mostraron que en ciertos suelos, son los polisacáridos los que más contribuyen a la estabilidad de agregados, en otros suelos el mayor aporte a la estabilidad de los agregados estaría dado por la lignina y las sustancias húmicas. En tal sentido, Baver et al., citados por Rucks et al. (2004), señalan que existe una correlación positiva entre la agregación y el contenido de arcilla, y materia orgánica del suelo.

Hace mucho tiempo se sabe que la materia orgánica sirve como agente granulador en los suelos. Baver (1935) observó una correlación de 0.559 entre el porcentaje de agregados mayores de 0.05mm y el contenido de carbono de gran número de suelos diferentes. La correlación para los agregados mayores de 0.1mm fue de 0.687, lo cual indica que la materia orgánica conduce a la formación de agregados estables relativamente grandes. En el mismo sentido el autor agrega que el grado en que las partículas más finas están agregadas guarda notable correlación con el porcentaje de carbono orgánico del suelo. La arcilla y los coloides orgánicos causan la mayor parte de la agregación del suelo. Esto sugiere la posibilidad de la existencia de interacciones entre el material coloidal mineral y el orgánico para formar complejos arcilloso-orgánicos. Los mecanismos por los cuales los coloides orgánicos estabilizan la estructura del suelo pueden atribuirse a la unión de los polímeros orgánicos a la superficie de la arcilla mediante puentes catiónicos, enlaces de hidrógeno, fuerzas de Van der Waals y complejos de sesquióxidos y humus.

La materia orgánica tiene un efecto profundo en la estructura de muchos suelos. Cuando la materia orgánica disminuye, los suelos tienden a transformarse en duros y compactos. El aporte de MO conduce a la síntesis de compuestos como polisacáridos que unen las partículas del suelo en unidades estructurales llamadas agregados (Silva, 2012). Según Martino (2001), la distribución del tamaño de las partículas y la forma en que las mismas se unen para formar tales agregados, así como la composición mineralógica básica de los suelos, son los principales factores que determinan las propiedades físicas de los mismos.

Al incorporar materia orgánica al suelo se incorporan microorganismos (hongos, actinomicetos, bacterias y levaduras) y aumenta su actividad. Ella sirve como fuente de energía para los microorganismos para su metabolismo y

la producción de agregados del suelo. El proceso metabólico de los microorganismos sintetiza las complejas moléculas orgánicas, además de quedar en el suelo los residuos de la descomposición de los materiales orgánicos. La estabilidad puede ser resultado de la acción de unión mecánica por las células y los filamentos de los organismos, los efectos cementantes de los productos derivados de la síntesis microbiana y/o la acción estabilizadora de los productos de la descomposición (Baver et al., 1973).

Los agentes cementantes como la materia orgánica, los hidróxidos de hierro y aluminio que estabilizan la estructura del suelo en algunos suelos secos y húmedos con frecuencia se disuelven o se debilitan en condiciones de mojado reduciendo la fortaleza estructural. Además, la estabilidad estructural se reduce debido a la naturaleza lubricante del agua. Los suelos ricos en arcilla, calcáreos o ricos en materia orgánica tienden a tener el desempeño estructural más fuerte y cerca del contenido de humedad óptimo son menos susceptibles a daño estructural. Las partículas de limo no se atraen entre sí tanto como las partículas de tamaño de la arcilla, y por lo tanto los suelos de limo tienen naturalmente una estructura débil (DEFRA, 2007).

Ruks et al. (2004) indican que los elementos orgánicos capaces de producir uniones entre partículas son los productos de la síntesis producidos por los microorganismos, los productos de la descomposición provenientes de los restos orgánicos y sus propios tejidos.

Los mecanismos por los cuales los coloides orgánicos estabilizan la estructura del suelo pueden atribuirse a la unión de los polímeros orgánicos a la superficie de la arcilla mediante puentes catiónicos, enlaces de hidrógeno, fuerzas de Van der Waals y complejos de sesquióxidos y humus (Baver et al., 1973).

La materia orgánica humificada junto con los minerales de arcilla son los dos agentes cementantes más importantes en la formación de agregados (Morón, 1996b).

Así Haynes et al. (1991) encontraron que con la inclusión de pasturas, y la formación de un sistema radicular denso y ramificado, con el consecuente crecimiento de la biomasa microbiana, se producen grandes cantidades de hidratos de carbono, lo que produce un aumento de la estabilidad de los agregados. Baver et al. (1973) señalan que gran número de investigadores han atribuido el papel principal de la estabilización de los agregados a la acción cementante de los polisacáridos. Existe una correlación estadística entre la agregación y la cantidad de estas mezclas de grandes polímeros lineales y flexibles en el suelo.

Según Baver et al. (1973), las raíces producen granulación estable. Grumos de tierra redondeados están unidos a la intrincada red de raíces, situación casi ideal de la granulación estable. Las raíces en crecimiento apartan partículas de arcillas y las comprimen contra otras formando agregados, pero no es esta la única fórmula de agregación que producen, la desecación de los pelos radiculares junto con las secreciones orgánicas e inorgánicas de las raíces producen la energía para la actividad microbiana.

La relación entre la agregación y la materia orgánica del suelo es un proceso dinámico. La estabilidad de los agregados está cambiando continuamente a medida que se añade y descompone la materia orgánica (Baver et al., 1973).

### 2.5.2 Carbono del suelo

El carbono orgánico del suelo (COS) es afectado por el manejo de este y es resultado del balance entre el aporte de residuos vegetales y su tasa de descomposición. Las principales formas de obtener un incremento del COS están asociadas a la agricultura conservacionista (siembra directa y mínimo laboreo) y al uso de una cobertura vegetal continua (pasturas perennes y/o cultivos de cobertura) sobre la superficie del suelo (Lal et al., citados por Ernst y Siri, 2009).

El nivel de materia orgánica del suelo depende del balance entre las entradas y salidas de carbono al suelo. Con frecuencia, dicho balance es negativo por ser mayores las salidas (mineralización del carbono) que las entradas (incorporación de residuos). Desde el punto de vista químico el déficit puede corregirse con la incorporación de fertilizantes. Sin embargo, la fertilidad física se ve seriamente comprometida siendo muy dificultosa su recuperación una vez deteriorada (Melgar y Díaz Zorita, 2008).

Según García Préchac (1992), el contenido de materia orgánica del suelo aumenta o se mantiene, bajo siembra directa en suelos no degradados, generando una importante actividad biológica que contribuye a una mejor estructura y porosidad. Esto mejora la dinámica del agua, entre otros efectos, lo que redundará en una mayor infiltración y menor escurrimiento.

El más importante indicador de la calidad del suelo es la materia orgánica. Se la define como la fracción orgánica del suelo integrada por un 10-20% de residuos vegetales y animales en descomposición, 1-5% de biomasa microbiana y 50-85% de humus; los residuos vegetales y animales no descompuestos quedan excluidos (Melgar y Díaz Zorita, 2008).



Las rotaciones que incluyen pasturas en general mineralizan más carbono debido a que el suelo contiene una mayor cantidad de carbono (Morón y Sawchik, citados por Morón, 2003).

La estabilización de los contenidos de la materia orgánica en el suelo puede efectuarse a través de la incorporación de residuos en cantidad y calidad provenientes del uso de siembra directa, rotación de cultivos y adecuados niveles de fertilización de suelos (Melgar y Díaz Zorita, 2008).

Tal como señala Morón (2001), en condiciones naturales el nivel de carbono orgánico de un suelo es función del clima, vegetación, topografía, material madre y tiempo. En un sistema agrícola, las entradas de carbono están dadas por rastrojos, biomasa radicular y exudados radiculares, mientras que las salidas, son las pérdidas por erosión y mineralización. Por lo general hay una relación entre la textura y el porcentaje de carbono ya que este forma complejos con la fracción arcilla (Melgar y Díaz Zorita, 2008).

El contenido de carbono de los suelos está fuertemente asociado a las propiedades físicas y químicas del mismo (Morón y Sawchik, citados por Morón, 2003). Además, según Robert (2002), sirve como fuente de energía para los procesos microbianos y almacenaje de nutrientes, determina la actividad biológica de los suelos, la cantidad, diversidad y actividad de la fauna y de los microorganismos y por lo tanto mejora la dinámica y la disponibilidad de los principales nutrientes de las plantas. Hay una gran cantidad de indicadores de suelo ligados directamente al COS, como lo son el agua disponible para las plantas, la tasa de infiltración, la formación de agregados, densidad aparente y estructura del suelo (Hudson, Tisdall y Oades, Soane, citados por Ernst y Siri, 2009).

Tal es el caso del carbono orgánico que es el sustrato de toda la actividad biológica del suelo y por lo tanto origen de sus propiedades biológicas. La actividad biológica es determinante en el desarrollo de estructura y porosidad. Por lo tanto, desde el punto de vista físico interviene en determinar la dinámica del agua, del aire y por ende del régimen térmico, así como en la resistencia a la erosión del suelo. Desde el punto de vista químico, es la única fuente de nitrógeno y principal de azufre en el suelo y tiene un importante rol en el aporte de otros nutrientes, así como en la regulación de su dinámica (Durán y García Préchac, 2007). El mucílago excretado por el crecimiento de las raíces y la microflora de la rizósfera son una fuente importante de hidratos de carbono del suelo (Haynes et al., 1991).

En los sistemas productivos actuales, la fertilización provee un alto porcentaje de los nutrientes necesarios para los cultivos. De este modo el contenido de materia orgánica no sería una limitante de la productividad de los

suelos desde el punto de vista de la fertilidad química, aunque sí lo será si la fertilidad física es limitante (Melgar y Díaz Zorita, 2008).

Robert (2002) menciona que los principales factores que actúan sobre la evolución de la materia orgánica del suelo son la vegetación (ingresos de residuos, composición de las plantas), factores climáticos (condiciones de humedad y temperatura) y las propiedades del suelo (textura, contenido y mineralogía de la arcilla y acidez). Otros factores relacionados con la fertilidad del suelo (N, P o S) o con el riego, tienen efecto sobre la producción de las plantas y por lo tanto sobre el contenido de materia orgánica de equilibrio.

La importancia de la materia orgánica en la fertilidad del suelo es por sus componentes de N, P y S, nutrientes fundamentales para la nutrición vegetal que se reciclan en los residuos de los cultivos. En general estos nutrientes están en relaciones casi constantes con el carbono o bien varían dentro de rangos estrechos; para C:N:P, 100:10:1 es la relación común (Melgar y Díaz Zorita, 2008).

A su vez también según Bolinder et al., citados por Ernst y Siri (2009), la relación PA/R (parte aérea/raíz) para el caso de las pasturas (gramíneas + leguminosas) está en torno a 1,5, siendo solo 6 para los cultivos anuales. Este diferente potencial de fijar carbono en profundidad a través de la producción de biomasa radicular explica mayormente el aumento de COS en la fase pastura de la rotación.

La mencionada relación es puesta de manifiesto en una serie de ensayos realizados en la Unidad Experimental Palo a Pique, del INIA. Durán y García Préchac (2007) establecieron una alta correlación entre carbono orgánico (CORG) y densidad aparente, aún en un rango pequeño de variación del CORG (1,48% en cultivo continuo a 1,9% en pradera de 4to. año de las rotaciones largas). Dicha variable está muy correlacionada con la densidad aparente, dependiente ésta a su vez, del estado de la estructura del suelo.

### 2.5.3 Fósforo

El fósforo en la fase sólida puede dividirse en dos grandes grupos: orgánico e inorgánico, y para desarrollar un conocimiento más comprensivo de la dinámica del mismo en el ecosistema suelo es necesario integrar esas dos aproximaciones (Smeck, citado por Morón, 1992b).

Alrededor del 50% a 80% varía la forma orgánica del fosforo en el suelo y el resto en forma inorgánica con diferentes grados de disponibilidad para las plantas (Melgar y Díaz Zorita, 2008).

Las dos fracciones (orgánica e inorgánica) en las que se divide el fósforo total en el suelo, y que facilitan su estudio, en realidad forman parte de un único ciclo complejo (Smeck, citado por Abella y Nin, 2003). Los contenidos del mismo guardan relación con el material de origen de los suelos. Los contenidos más altos están asociados a suelos de textura pesada y altos contenidos de materia orgánica (Abella y Nin, 2003).

El análisis más difundido para medir fósforo lábil es el Bray I, técnica adecuada para suelos neutros (Melgar y Díaz Zorita, 2008). Stewart y Sharpley, citados por Abella y Nin (2003), afirman que los métodos de análisis de P disponible presentan la desventaja de que sólo miden las formas inorgánicas, sin tener en cuenta la contribución de las formas orgánicas mineralizables y la historia de manejo previo. La actividad microbiana aumenta la disponibilidad del P, y la mayoría de los análisis de suelo no reflejan esto, ya que solamente miden el P inorgánico (Abella y Nin, 2003).

El fósforo inorgánico, es decir, los compuestos fosfatados presentes en los suelos tienen baja solubilidad, por lo que el contenido de fósforo en la solución del suelo es extremadamente bajo (Rucks et al., 2004).

El contenido de fósforo orgánico en los suelos varía considerablemente, oscilando entre el 20 y el 80 % del fósforo total en el horizonte superficial del suelo (Dalal, citado por Morón, 1992b). El contenido de P orgánico es medido por el incremento que se produce en la fracción inorgánica cuando el P orgánico es convertido en ortofosfato (Morón, 1992b).

Al esquematizar el ciclo del fósforo, Stewart y Sharpley, citados por Abella y Nin (2003), comparan la actividad microbiana con una rueda que se pone en movimiento en respuesta a las entradas de carbono. La marcha de la rueda podría enlentecerse o detenerse por una disminución en la entrada de carbono, por lo que el suministro de P para las plantas estaría limitado al P inorgánico lábil. Cuando la rueda está en marcha las plantas tienen mayor cantidad de P en solución pues éste está siendo repuesto desde formas inorgánicas y orgánicas lábiles.

En un modelo de simulación, en el que se incluye la dinámica de C, N, P y S, en el sub modelo de fósforo, Parton et al., citados por Morón y Kiehl (1992a), dividen la fracción orgánica en tres fracciones: una fracción activa, constituida por la biomasa microbiana y metabolitos, con una relación C/P variando de 30 a 80 y un valor de "turnover time" de 2 a 4 años; una fracción protegida física y químicamente que es más resistente a la descomposición, con un "turnover time" de 20 a 50 años; y por último, una fracción que es química y físicamente protegida y que tiene un largo "turnover time": 800 a 1200 años, con una relación C/P de 20 a 200.

La fracción lábil o disponible es la fracción de fósforo presente en fase sólida capaz de reponer el fósforo presente en la solución del suelo en la medida que disminuya su valor de equilibrio. La absorción por parte de las raíces de plantas en crecimiento disminuye constantemente la concentración de P respecto al valor de equilibrio (Abella y Nin, 2003).

Este elemento se encuentra formando parte de compuestos muy diversos, de diferente estabilidad, por lo que se los ha clasificado en fracción lábil y no lábil. Hernández, citado por Abella y Nin (2003), menciona valores de P en la materia orgánica del orden de 0.3 y 0.4% para suelos del Uruguay.

Según Hernández, citado por Abella y Nin (2003), los restos frescos incorporados a un suelo pueden variar en contenidos del orden de 0,1 a 0,2 % de P en la materia seca.

El fósforo forma parte de las estructuras de los microorganismos del suelo. Morón y Kiehl (1992a), en el estudio realizado sobre dinámica del fósforo en tres sistemas agrícolas en el suroeste de Uruguay, encontraron valores de P en la biomasa microbiana del suelo que variaban en promedio entre 7-45 y 22-78  $\mu\text{g}$  de P  $\text{g}^{-1}$ . La relación C/P de la fracción orgánica de los suelos osciló entre 84:1 y 253:1, con un promedio de 170:1 (Hernández et al., citados por Abella y Nin, 2003).

En cuanto a la disponibilidad de la fracción lábil de fósforo, Colozzi Filho et al. (2001) encontraron que cuando son mejoradas las condiciones para el desarrollo y actividad microbiana mediante el agregado de residuos vegetales, aumenta la biomasa microbiana y con ello mayores cantidades de C, N y P y otros nutrientes están siendo transitoriamente inmovilizados en los tejidos microbianos, evitándose pérdidas de nutrientes por lixiviación, fijación u otras, que posteriormente pueden ser mineralizadas y ser disponibles en el sistema suelo-planta.

Mediante la inclusión de pasturas fertilizadas, Russell, citado por Morón (1992b), en un experimento realizado en Australia donde se pastoreó con ovejas, encontró que los tratamientos fertilizados con 483 kg de P/ha en el periodo 1926-1957 y pastoreados, tuvieron un incremento de materia orgánica y de todas las fracciones de P. Según el autor, la evolución del P orgánico parece ser más relacionada al contenido de materia orgánica que a las fuentes y niveles de P aplicados.

En la fase de pasturas la fracción inorgánica se ve sometida a una competencia con la fracción orgánica por el P soluble, siendo parte de esta fracción mineralizada rápidamente y con rápido reciclaje (biomasa microbiana, Morón, 1992b).

Cuando un suelo está ganando cantidades significativas de materia orgánica, debe pagarse un costo en P asimilable que quedará inmovilizado (por los menos transitoriamente) en la misma, la cuantificación de ello en forma de referencia podría ser de 32 kg de  $P_2O_5$  en un período de pasturas. Esto supondrá tener que agregar más fertilizante que en una situación sin cambios o con pérdida de materia orgánica. Mientras que en el caso contrario en la etapa de cultivos, en la medida que se da una caída de la materia orgánica, se espera un aporte adicional de P proveniente de la mineralización de P orgánico (Zamalvide, 1992).

El fósforo orgánico es la fracción que presenta mayor disminución cuando se realizan cultivos continuos laboreados sin fertilización. La aplicación de fertilizantes fosfatados no detiene esa disminución, pero sí aumenta la concentración de P inorgánico (Morón y Kiehl, 1992a), mientras que la inclusión de pasturas en la rotación permite mantener el contenido de P orgánico.

En un trabajo de Parton et al., citados por Abella y Nin (2003), se estudió en un modelo de simulación el impacto de cultivar un suelo sin fertilizar durante 100 años, considerando erosión nula. El P orgánico disminuye marcadamente hasta aproximadamente 60 años, mientras que el P inorgánico se muestra poco afectado.

#### 2.5.4 Potasio

Las fases de K en el suelo se dividen en: potasio solución ( $K_s$ ), potasio intercambiable ( $K_i$ ) y potasio no intercambiable ( $K_{ni}$ ). Éstas se encuentran en equilibrio dinámico, el cual se modifica por las entradas de K al sistema, a través de la fertilización y por los residuos de cosecha, y por las salidas del mismo mediante la absorción de K por los cultivos. La modificación de los reservorios anteriores depende de la capacidad amortiguadora de K del suelo (Rodríguez, citado por Aguado et al., 2002).

Cuando un suelo tiene elevado poder regulador o buffer, la concentración de potasio en solución se mantendrá por un periodo mayor que si la capacidad tampón del suelo es menor. La interpretación de los valores de disponibilidad hay que hacerla en relación con los valores de CIC, es decir, determinado valor de CIC, sugiere determinada disponibilidad de potasio (Melgar y Díaz Zorita, 2008).

La naturaleza mineralógica de las arcillas que componen el suelo sumado a la CIC que brindan ellas y el nivel de materia orgánica del suelo son los factores que más determinan la disponibilidad de potasio intercambiable (Hernández, 2012).

El ión  $K^+$  es retenido por atracción electrostática en coloides del suelo cargado en forma negativa. Los cationes retenidos de esta forma son fácilmente desplazados o intercambiados; a esta fracción se le denomina K intercambiable (Hernández, 2012).

La capacidad de intercambio catiónico que a su vez es afectado por la materia orgánica, puede modificar la disponibilidad de K para las plantas (Hernández, 2012).

El suelo franco limoso tiene una CIC mucho mayor que el arenoso. Esto determina que retenga más potasio el de textura más pesada. La parte de potasio que no retienen los suelos permanece en la solución y estaría sujeta al lavado lo cual explica las grandes pérdidas observadas en el suelo arenoso de baja CIC (Hernández, 2012).

Por lo general, el potasio en solución de suelos de textura fina (limosos y franco limosos) suele ser considerablemente más bajo que en suelos de texturas gruesas (arenosos), para un mismo nivel de potasio en forma intercambiable (Hernández, 2012).

La cantidad disponible de potasio para las plantas depende de la dinámica existente entre todas las fracciones en el suelo y, más aún, del ritmo de transferencia de una fracción a otra, de sus formas en solución y las intercambiables, adsorbidos en las posiciones de intercambio de las fracciones activas, arcilla y materia orgánica (Melgar y Díaz Zorita, 2008). Las necesidades de K para un óptimo crecimiento se encuentran en el rango de  $20-50 \text{ g.Kg}^{-1}$  de materia seca de partes vegetativas de plantas, frutas y tubérculos (Meuer, citado por Rodrigues y Pereira, 2008).

La mayoría de los nutrientes de las plantas se encuentra en los residuos, ejerciendo una función estructural o como sustancia de reserva. El potasio es requerido en grandes cantidades, igualando a las de nitrógeno y llega a ser tres o cuatro veces más que las cantidades de fósforo acumulado en los residuos vegetales (Rodrigues y Pereira, 2008).

La respiración y normal funcionamiento de las raíces son muy dependientes de un adecuado suministro de oxígeno. Altos niveles de humedad o compactación del suelo disminuyen la tasa de difusión de oxígeno y la absorción de potasio. La absorción de potasio está más afectada que la de otros nutrientes cuando la aireación del suelo es insuficiente. Se ha observado que en sistemas donde hay reducción de la porosidad y aumento de la compactación, disminuye la absorción de potasio (Hernández, 2012).

El sistema radicular de gramíneas es de tipo fibroso, con muchas ramificaciones laterales, en tanto que en alfalfa, especialmente con bajos niveles de potasio en el suelo, tiende a ser pivotante, con menos ramificaciones. Altos niveles de disponibilidad de potasio favorecen el desarrollo radicular, produciendo mayor número de ramificaciones y raíces laterales, en alfalfa y gramíneas como el maíz (Hernández, 2012).

Los niveles de absorción de potasio deben ser evaluados en función de los niveles de extracción y reciclaje, capacidad de suministro por el suelo, así como por su frecuencia en el tiempo. La mayor parte de los cultivos de cereales y pasturas bajo pastoreo, permiten un elevado reciclaje, a través de los restos y de los animales. No sucede lo mismo cuando el reciclaje no se produce en la superficie explotada (Casanova, 1996).

Según Black (1975a), la mayor parte del potasio de las plantas se encuentra en las partes vegetativas y subterráneas; cuando estas son removidas del sistema, el potasio del suelo se agota rápidamente.

#### 2.5.5 Infiltración

La infiltración, o entrada descendente del agua en el suelo, es uno de los procesos más importantes en la fase del suelo del ciclo hidrológico. Puesto que la penetración de agua en el suelo es causada por fuerzas matriciales además de las gravitacionales, la entrada puede ocurrir no sólo en dirección descendente sino también, en dirección lateral y ascendente. Las fuerzas matriciales predominan sobre la fuerza gravitacional en las primeras etapas de la entrada de agua en el suelo (Baver et al., 1973).

La estructura del suelo tiene un destacado papel en la infiltración. Cuando las unidades estructurales tienen una mala unión interna se desintegran rápidamente debido a la energía producida por las gotas de lluvia, liberando partículas finas del suelo que quedan retenidas cuando el agua penetra el mismo cerrando los macroporos. Esto conlleva a una reducción en la velocidad de infiltración (Black, 1975b).

Hace tiempo se ha reconocido que la capacidad del suelo para absorber agua por infiltración tiende a disminuir con el tiempo durante un proceso de infiltración. La rapidez de la disminución es una consecuencia inevitable de la disminución del gradiente del potencial matricial que está asociada con la creciente profundidad de penetración del frente húmedo durante la infiltración (Baver et al., 1973).

La infiltración del agua de en el suelo puede causar la renovación del aire del suelo por el desplazamiento del aire de los poros por agua, la cual luego es nuevamente desplazada por aire (Rucks et al., 2004).

La vegetación sobre el suelo es un agente importante que aumenta la infiltración del suelo. Evita erosión y ruptura de estructura causada por la lluvia, conservando la granulación y porosidad del suelo vitales para este proceso. Disminuye la velocidad de escurrimiento del agua. Su sistema radicular aumenta la granulación y porosidad del suelo, y además favorece la actividad biológica del suelo. Por último, contribuyen a la evapotranspiración del suelo, desecación del mismo (Baver et al., 1973).

Al reducir la cobertura superficial del suelo, el pastoreo continuo favorece temperaturas más elevadas y mayores pérdidas de agua por evaporación desde superficies de suelo desnudo (Taboada, 2007).

La estructura del suelo y su estabilidad juegan un rol fundamental en muchos procesos del suelo y su interacción con las plantas: erosión, infiltración de agua, exploración radicular, aireación y resistencia mecánica. Una pobre aireación, reduce la actividad biológica y disminuye la capacidad o velocidad de infiltración del agua de lluvia (Rucks et al., 2004).

Cuando se produce el encostramiento como consecuencia del impacto de las gotas de lluvia y la consecuente desintegración de los agregados en pequeñas partículas, se limita la infiltración. Stewart (2009) señala que la capacidad del suelo para resistir este proceso es el factor más importante para controlar el escurrimiento y por lo tanto mejorar la infiltración. Por lo tanto, para mejorar la infiltración es muy importante mantener el suelo cubierto por residuos, aún más importante que la formación de canales de raíz.

Las raíces de las plantas desarrollan un sistema de biocanales que, debido a su orientación predominantemente vertical, están protegidos de las fuerzas compactadoras que también son verticales, y por lo tanto son de alta estabilidad. En este sentido, con resultados preliminares obtenidos en La Estanzuela por Martino, citado por Martino (2001), encontró que en la alfalfa y la achicoria, dichos sistemas son más profundos que en festuca, trébol blanco y trébol rojo, dando resultado a una mayor capacidad de infiltración de agua.

La aceptación del agua por parte del suelo depende de varios factores como son, el estado de la superficie del suelo en porosidad y aireación, contenido anterior de humedad y la permeabilidad del perfil. Los dos primeros factores son importantes para la velocidad de la infiltración. La permeabilidad del perfil expresa la intensidad de transmisión del agua a través del suelo y está relacionada con la porosidad de aireación (Baver et al., 1973).



Denoia et al. (2000) concluyeron que, bajo tránsito animal reiterado en condiciones de elevada humedad edáfica, el pisoteo conduce al aumento de la densidad superficial del suelo y a la disminución de la tasa de infiltración. La presencia de vegetación incrementa la infiltración, pudiendo no ejercer acción protectora alguna frente a la densificación de la capa superficial del suelo. El pisoteo en un suelo exento de cobertura vegetal disminuye los niveles de porosidad y de estabilidad de los agregados; la desmejora verificada en la porosidad debe atribuirse a una variación negativa en el número de poros estructurales.

El espacio poroso reducido, en particular de los macroporos, puede reducir el crecimiento de las plantas debido a una menor entrega de agua, nutrientes y oxígeno (Gradwell, Cannell, citados por DEFRA, 2007). Una reducción de la densidad de plantas puede incrementar la susceptibilidad del suelo a la compactación. Scholfield y Hall, citados por DEFRA (2007), observaron que la remoción de partes aéreas del césped incrementa la susceptibilidad del suelo a la compactación. El uso de cal y fertilizantes nitrogenados destruyen la cobertura vegetal que se acumula bajo pasturas permanentes en climas húmedos dejando el suelo vulnerable a daños por “poaching” (MAFF, citado por DEFRA, 2007).

El “poaching” es un proceso auto progresivo; la deformación de la superficie del suelo reduce su porosidad, reduciendo la infiltración, lo cual lleva a un mayor potencial de encharcamiento y un mayor riesgo de “poaching” en el futuro. Factores como la velocidad a la cual el agua puede ser incorporada y la fuerza de las uniones entre partículas, determina la cantidad de deformación (MAFF, Mulholland y Fullen, Drewry et al., citados por DEFRA, 2007).

El pisoteo daña el suelo de dos maneras: primero, de bajo a medio contenido de humedad las pezuñas causan compresión en el suelo; segundo, en un suelo cerca de la saturación ocurre un flujo plástico alrededor de la pezuña homogeneizando la estructura del suelo (Scholfield et al., Drewry, citados por DEFRA, 2007).

#### 2.5.6 Densidad aparente

La densidad aparente es la relación que existe entre el peso seco ( $105^{\circ}$  C) de una muestra de suelo, y el volumen que esa muestra ocupaba en el suelo. Se determina el peso seco de muestras imperturbadas de suelo y, luego, junto con el volumen determinado que la muestra ocupaba en el campo (sólidos y poros), se calcula la densidad aparente (Rucks et al., 2004).

La densidad aparente es la razón entre la masa de los sólidos del suelo y el volumen aparente que ocupan (volumen imperturbado, volumen del suelo en estado natural que incluye el espacio poroso). Este valor se utiliza para transformar el porcentaje de humedad gravimétrico en volumétrico, para calcular la porosidad total, o para calcular el peso de un volumen muy grande de suelo que no se puede pesar como por ejemplo el que tiene una hectárea de terreno (Blake, citado por García y Kaplán, 1974). También se usa en estudios sobre génesis, para expresar en términos volumétricos, pérdidas y ganancias en los horizontes del perfil.

La densidad aparente refleja la porosidad total. Los suelos de textura fina en general poseen más porosidad total, con predominio de microporos. En cambio, en los de textura gruesa ocurre lo contrario. Esto quiere decir que diferencias de densidad aparente entre suelos de textura diferente, no significan necesariamente diferencias en el mismo sentido de la macroporosidad. Más aún, los suelos arenosos que en general tienen más poros gruesos que los de texturas más finas (excepto que estos estén muy bien estructurados), poseen los valores de densidad aparente más altos (Rucks et al., 2004).

La densidad aparente, varía estrechamente con la porosidad del suelo y las variaciones del espacio poroso dependen de las variaciones de la textura y la estructura del suelo. Es por esto, que la densidad aparente se usa corrientemente para evaluar el estado estructural de un suelo determinado bajo distintos sistemas de manejo (Blake, citado por García y Kaplán, 1974). Las medidas de densidad aparente, macroporosidad y penetrabilidad son índices indirectos del estado estructural del suelo (Rucks et al., 2004).

García y Kaplán (1974) encontraron una correlación negativa (-0,4054) entre el contenido de materia orgánica y la densidad aparente. También fueron encontradas correlaciones por otros autores. Durán y García Préchac (2007), en una serie de ensayos realizados en la Unidad Experimental Palo a Pique, establecieron una alta correlación entre carbono orgánico (CORG) y densidad aparente, aún en un rango pequeño de variación del CORG (1,48% en cultivo continuo a 1,9% en pradera de 4to. año de las rotaciones largas).

Taboada y Lavado (1993) observaron para suelos de la Pampa Húmeda que el contenido de agua en el suelo fue la causa primaria de los cambios en porosidad total, debido a los procesos de contracción y expansión del suelo. El pisoteo del suelo causó que los macroporos mayores a 60 $\mu$ m colapsaran y disminuyó el tamaño de los agregados estables. Tanto los poros dañados como los agregados aumentaron en tamaño algunos meses después, durante el período de encharcamiento. Puede apreciarse que el pisoteo afecta principalmente los macroporos de mayor diámetro (> 60 $\mu$ m), precisamente

aquellos responsables de la vida de la fauna y los hongos del suelo, y los lugares preferenciales de las raíces de los pastos (Taboada, 2007).

La causa subyacente de la compactación es la incapacidad del suelo de soportar presiones externas que se le aplican. La compactación en sentido estricto es el resultado de cuando la estructura física del suelo es incapaz de soportar un peso aplicado o un estrés mecánico llevando a un engrosamiento o pérdida de las unidades estructurales del suelo, un descenso en el volumen del suelo, incremento en la densidad aparente, un descenso de la porosidad (en particular la macroporosidad) y una reducción de la conductividad hidráulica (Scholofield y Hall, Mulholland y Fullen, citados DEFRA, 2007).

Ante la aplicación de un determinado estrés compactante, la densidad del suelo se incrementa a medida que la humedad edáfica aumenta. Este aumento de densidad alcanza un máximo a una humedad intermedia, llamada "humedad crítica", a la cual el suelo alcanza la "densidad máxima". La humedad crítica es, precisamente, aquella en la cual un suelo alcanza su máximo nivel de compactación. Es interesante conocer, entonces, qué factores edáficos regulan esta humedad crítica tan importante. En primer lugar, la textura. Los suelos de textura más gruesa tienen una humedad crítica más baja, y alcanzan densidades máximas más elevadas. Ello justifica por qué a menudo se encuentran niveles de compactación más altos en suelos franco arenosos que en suelos de textura más fina. Del mismo modo, el nivel de materia orgánica contribuye a reducir drásticamente la compactabilidad de un suelo (Taboada, 2007).

El deterioro de la estructura de macroporos causado por el pisoteo del ganado ocurre comúnmente a una profundidad de entre 0 y 15 cm (Drewry et al., Drewry y Paton, citados por DEFRA, 2007). Menor daño a la estructura de macroporos puede ocurrir debajo de los 10 cm (Drewry, Singleton y Addison, citados por DEFRA, 2007). La deformación depende principalmente de la fuerza mecánica del suelo, su densidad aparente original, el contenido de humedad y materia orgánica, y la fuerza del césped (Scholofield y Hall, Mulholland y Fullen, citados DEFRA, 2007).

La capacidad de penetración de las raíces de las plantas en el suelo depende, o son función, de la porosidad y compresibilidad del suelo, y estas características son afectadas con la compactación. Los factores que interesan en un suelo compactado son la aireación y la impedancia mecánica, estos dos se ven afectados por el aumento de la densidad que resulta de la compactación (Baver et al., 1973).

Según observaciones de campo, la densidad del suelo tiene un papel importante en la penetración de las raíces. Ellas han sido rastreadas hasta una

“losa” y se las ha visto cambiar de dirección y crecimiento paralelo a la interfase friable entre el suelo y la losa (Baver et al., 1973).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 CONDICIONES EXPERIMENTALES GENERALES

##### 3.1.1 Ubicación experimental

El trabajo se realizó en la Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni” (Facultad de Agronomía, Universidad de la República; Paysandú, Uruguay) ubicada sobre la ruta nacional No. 3, km 363. La tarea de campo fue realizada en los potreros número 32b (32°22′28,41″S; 58°03′35,59″O) y 35 (32°22′30,93″ S; 58°3′47,08″O). El período de trabajo fue entre el 1/12/2013 y el 25/3/2014.

##### 3.1.2 Descripción del sitio experimental

Según la Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay (escala 1:1.000.000, Altamirano et al., 1976), el área experimental se encuentra sobre la Unidad San Manuel, perteneciente a la formación geológica Fray Bentos. Como suelos dominantes presenta Brunosoles Éutricos Típicos (Háplicos), superficiales a moderadamente profundos de textura limo-arcilloso (limosa). Como suelos asociados se encuentran Brunosoles Éutricos Lúvicos, de textura limosa y Solonetz Solodizados Melánicos de textura franca.

##### 3.1.3 Antecedentes del área experimental

###### 3.1.3.1 Potrero 32b

Las praderas de festuca, trébol blanco y lotus; y las de dactylis y alfalfa, fueron sembradas sobre dos rastrojos diferentes, uno de sorgo híbrido (sorgo forrajero) y otro de *Digitaria sanguinalis* (pasto blanco), ambos dos con presencia de *Cynodon dactylon* y *Sorghum halepense*. El sorgo provenía de un verano seco que le ocasionó una mala implantación y de esta forma el efecto del rastrojo no fue significativo.

El barbecho químico comenzó con la aplicación de glifosato el 25 de abril del 2011. Luego hubo una segunda aplicación el 15 de mayo del mismo año.

Se sembraron dos mezclas en los dos barbechos con diferentes fechas de siembra. La primera siembra se realizó el 17 de mayo de 2011 con 22 días de barbecho y la segunda el 14 de junio, con un poco más que el doble de la primera, 50 días de barbecho. Las gramíneas fueron sembradas en el surco a 0,19 m, a una profundidad de 1,5 cm y las leguminosas al voleo, sin rastra.

La fertilización inicial fue de 100 kg/ha de 18-46/46-0 (fosfato de amonio) al voleo luego de cada siembra. Luego se refertilizó el 23 de agosto con 100 kg/ha de 46-0-0 (urea), también al voleo. Por otro lado, el 22 de agosto se aplicaron 1200 cc/ha de 2,4DB y 350 cc/ha de flumetsulam, ya que el enmalezamiento era alto y diverso. El 15 de abril de 2012, se refertiliza de nuevo con 150 kg de 7-40/40-0, y posteriormente se aplicó 70 kg de urea en los meses de mayo y agosto.

Cuadro No. 3. Primera fecha de siembra

Especie	Densidad (kg/ha)	Densidad g/m <sup>2</sup>	PMS	Germinación (%)	No. semillas viables/m <sup>2</sup>
Festuca	13,4	1,34	2,17	86	531
Trébol blanco	2,4	0,24	0,5	88	425
Lotus	5,6	0,56	1,17	59	284
Dactylis	11,3	1,13	0,67	72	1220
Alfalfa	11,9	1,2	2	90	542

Fuente: Gómez de Freitas y Klaassen (2011).

Cuadro No. 4. Segunda fecha de siembra

Especie	Densidad (kg/ha)	Densidad g/m <sup>2</sup>	PMS	Germinación (%)	No. semillas viables/m <sup>2</sup>
Festuca	16,1	1,61	2,17	86	639
Trébol blanco	2,5	0,25	0,5	88	448
Lotus	5,9	0,59	1,17	59	299
Dactylis	11,8	1,18	0,67	72	127
Alfalfa	14	1,4	2	90	634

Fuente: Gómez de Freitas y Klaassen (2011).

### 3.1.3.2 Potrero 35

Se trabajó en una pastura que fue sembrada el 30 de mayo del 2010 sobre un rastrojo de soja con un barbecho de 40 días posterior a la aplicación de 5 l/ha de glifosato (480 g IA). Se fertilizó a la siembra con 150 kg/ha de 7-40-0 (superconcentrado nitrogenado).

La mezcla forrajera sembrada fue de *Festuca arundinacea* cv. Tacuabé, con una densidad de siembra de 15 kg/ha, *Lotus corniculatus* cv. San Gabriel, con una densidad de 8 kg/ha y *Trifolium repens* cv. Zapicán, con una densidad de 2 kg/ha.

El método de siembra para la gramínea fue en línea y las leguminosas fueron sembradas al voleo sin rastra.

En lo que refiere al manejo de la pastura en el año de estudio, la misma fue refertilizada con 100 kg de 7-40-0 el 3 de mayo, luego se realizaron dos fertilizaciones más, que consistieron en 70 kg/ha de urea cada una, la primera se realizó el día 5 de julio y la segunda y última el 10 de setiembre.

### 3.2 TRATAMIENTOS

En el presente trabajo se evaluaron dos potreros diferentes, con un experimento en cada uno de ellos.

En el potrero 35, los tratamientos consisten en 3 dotaciones de 0,87, 1,52 y 2,17 animales/ha, utilizándose 3 bloques al azar, donde se pastoreaban con novillos Holando, 4, 7 y 10 por tratamiento durante el ciclo de crecimiento. Se alcanzaron ofertas de forraje para todo el periodo experimental de 5,1%, 7,7% y 12,8% para los tratamientos de 0,87, 1,52 y 2,17 animales/ha respectivamente.

En el potrero 32b, el experimento se compone de 4 tratamientos, cada uno con su repetición y consiste en evaluar la interacción entre las fechas de siembras y las mezclas. Los tratamientos son combinación de fecha de siembra y especies: festuca temprana, festuca tarde, dactylis temprano y dactylis tarde.

### 3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental fue el de bloques completos al azar para los dos experimentos.

En el potrero 35, hay 3 repeticiones por tratamiento. El área experimental comprendió un total de 13,8 has, las cuales se dividen en 3 bloques cuyas medidas son: 8,2 has (Bloque 1), 2,6 has (Bloque 2) y 3,0 has (Bloque 3).

Cada bloque a su vez se subdivide en 3 parcelas, obteniendo un total de 9 parcelas, las cuales se definen como unidad experimental.





Figura No. 1. Croquis potrero 35

En el potrero 32b, cada tratamiento contó con dos repeticiones. El área experimental abarcó 3,68 ha, que fueron divididas en 2 bloques iguales. Éstos a su vez se dividieron en 2 fechas de siembras, y en cada una de ellas había 2 mezclas, quedando definidos los 4 tratamientos. Cada una de las 8 parcelas se define como unidad experimental y cuenta con 0,46 ha.

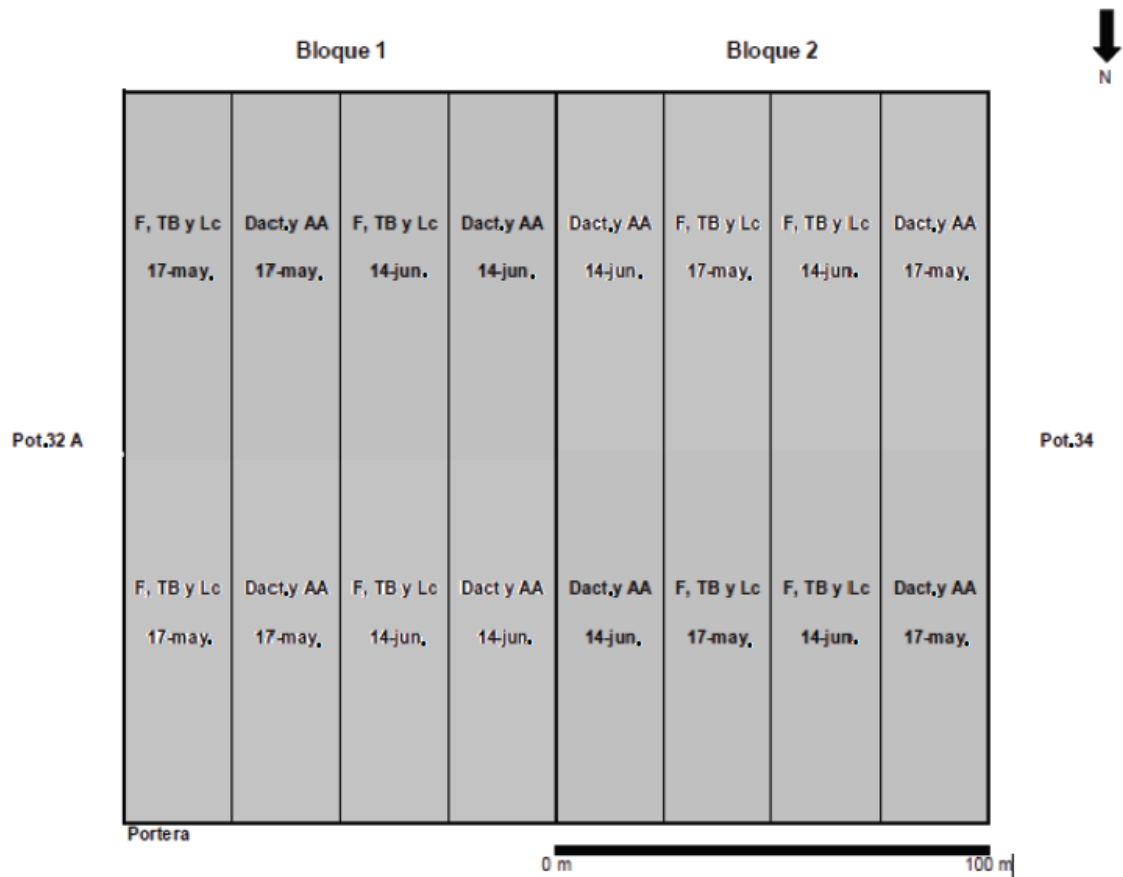


Figura No. 2. Croquis potrero 32b

### 3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La metodología para la conducción del ensayo se basó en la medición de densidad aparente, infiltración, desarrollo radicular, y el contenido de nutrientes del suelo.

#### 3.4.1 Variables estudiadas

##### 3.4.1.1 Densidad aparente

Se define a la densidad aparente como la relación entre el peso seco de una muestra y el volumen muestreado.

Para obtener este dato se extrajo tres muestras de los primeros 20 cm de suelo por parcela con un calador manual, que luego se secaron en una estufa de aire forzado a 105°C durante 24 horas.

Los muestreos para densidad aparente se realizaron en diciembre del 2013 para el potrero 35, y en marzo de 2014 para el potrero 32b.

#### 3.4.1.2 Infiltración

La infiltración se obtuvo midiendo el agua que infiltró en el suelo en una unidad de tiempo. Para calcular esta variable se utilizan 2 cilindros de PVC, de distinto diámetro que se insertan sobre la superficie del suelo colocando el de menor diámetro dentro del otro. La infiltración del agua se mide en el espacio que queda dentro del cilindro más pequeño, mientras que el espacio entre los dos cilindros se mantiene saturado para que el agua no se mueva por diferencia de potencial hacia fuera de los laterales del cilindro interior.

Los test de infiltración se realizaron para ambos potreros entre el 22 y el 24 de marzo del 2014.

#### 3.4.1.3 Peso radicular y cantidad de raíces

Para calcular el peso radicular y la cantidad de raíces se obtuvieron muestras de suelo con un calador hidráulico, el cual permitió la extracción de muestras de gran diámetro y profundidad. Estas muestras se dividieron cada 20 cm.

Para calcular la cantidad de raíces en la muestra, se determinó las puntas de raíces que se observaron a los 20 y 40 cm, y al final del perfil.

Para calcular el peso radicular, las muestras de 20 cm de suelo se disolvieron y se eliminaron todas las partículas de suelo. Luego se secaron a 60°C en una estufa de aire forzado durante 72 horas, y se pesaron.

Los muestreos se realizaron en diciembre de 2013 para el potrero 35, y en marzo de 2014 para el potrero 32b.

#### 3.4.1.4 Análisis de nutrientes

Para el análisis de nutrientes se tomaron 8 muestras por parcela para 0-5cm, 5-10cm y 10-20cm, obteniendo así datos de nutrientes para todas ellas y a

distintas profundidades. Se estudió las variables carbono orgánico del suelo (COS), fósforo (Bray I,  $P_2O_5$ ) y potasio (k int).

Los muestreos se realizaron en diciembre de 2013 para el potrero 35, y en marzo de 2014 para el potrero 32b.

### 3.5 HIPÓTESIS

#### 3.5.1 Hipótesis biológica

##### 3.5.1.1 Potrero 32B

Existe efecto en el tipo de mezcla y fecha de siembra e interacción de las mismas sobre las propiedades físicas y químicas del suelo.

##### 3.5.1.2 Potrero 35

Existe efecto de la dotación animal sobre las características físicas y químicas del suelo.

#### 3.5.2 Hipótesis estadística

##### 3.5.2.1 Potrero 32b

$$H_0: t_1 = t_2 = t_3 = t_4 = 0$$

Ha: existe algún tratamiento distinto de 0

##### 3.5.2.2 Potrero 35

$$H_0: t_1 = t_2 = t_3 = 0$$

Ha: al menos un tratamiento es distinto de cero.

### 3.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico se realizó a través del análisis de varianza entre los tratamientos. En el caso de encontrarse diferencias de las variables entre los tratamientos se realizó la prueba LSD-Fisher con 10% de probabilidad.

#### 3.7.1 Modelo estadístico

##### 3.7.1.1 Potrero 32b

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_j + \tau_i + \sigma_k + (\tau\sigma)_{ik} + \epsilon_{ijk}$$

Siendo:

$\mu$  es el efecto de la media general.

$\beta$  es el efecto del j-ésimo bloque  $j=1,2$ .

$\tau_i$  es el efecto de la i-ésima producción de la mezcla  $i= 1, 2$ .

$\sigma_k$  es el efecto de la fecha de siembra.

$(\tau\sigma)_{ik}$  efecto de la interacción fecha de siembra mezcla

$\epsilon_{ijk}$  error experimental

##### 3.7.1.2 Potrero 35

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Siendo:

$Y$  = corresponde a la variable de interés.

$\mu$  = es la media general.

$\tau_i$  = es el efecto del i-ésimo tratamiento.

$\beta_j$  = es el efecto del j-ésimo bloque.

$\epsilon_{ij}$  = es el error experimental.

$i= 1, 2, 3. j= 1, 2, 3.$

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DEL PERÍODO DE EVALUACIÓN

#### 4.1.1 Precipitaciones

La precipitación promedio histórica del periodo 2002-2014 fue de 1473,3 mm anuales. En el año de evaluación, de julio 2013 a junio 2014, precipitaron 1640,4 mm acumulados, 11% superior a la media histórica de referencia. A continuación están graficados los valores mensuales de precipitación del periodo de evaluación confrontado con los valores promedios históricos de referencia.

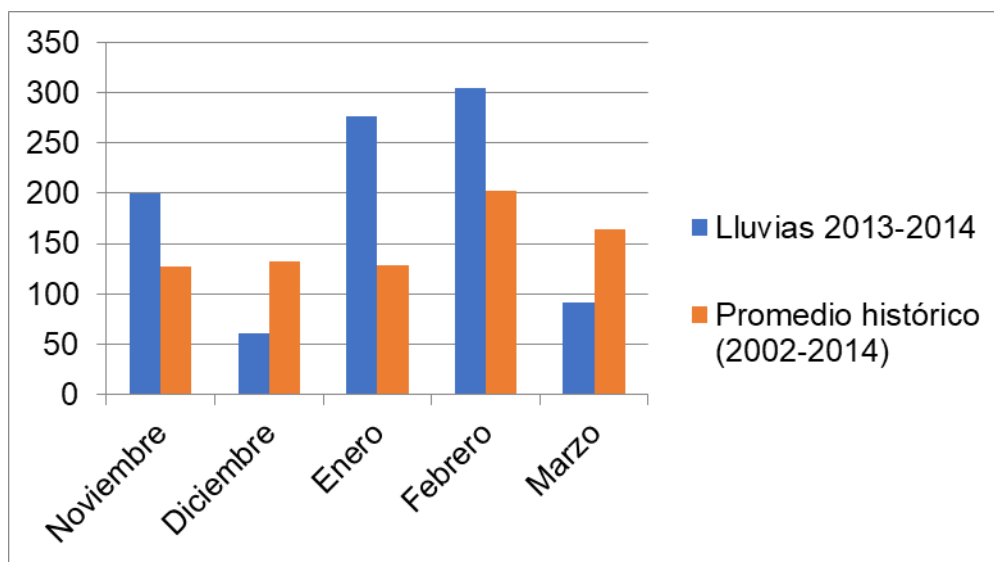


Figura No. 3. Precipitaciones mensuales (mm) en la serie histórica 2002-2014 y durante el período de noviembre 2013 a marzo 2014

Además de la precipitación del año experimental hay que tener en cuenta que este suelo tiene una capacidad de acumulación de agua de 117mm. Las precipitaciones de los dos meses anteriores estarían afectando el desarrollo y crecimiento posterior de las mezclas.

En los meses de noviembre, enero y febrero las precipitaciones superaron la media histórica; de modo contrario sucedió en diciembre y marzo, destacando el mes de diciembre donde se presentaron deficiencias hídricas en gran parte del país.

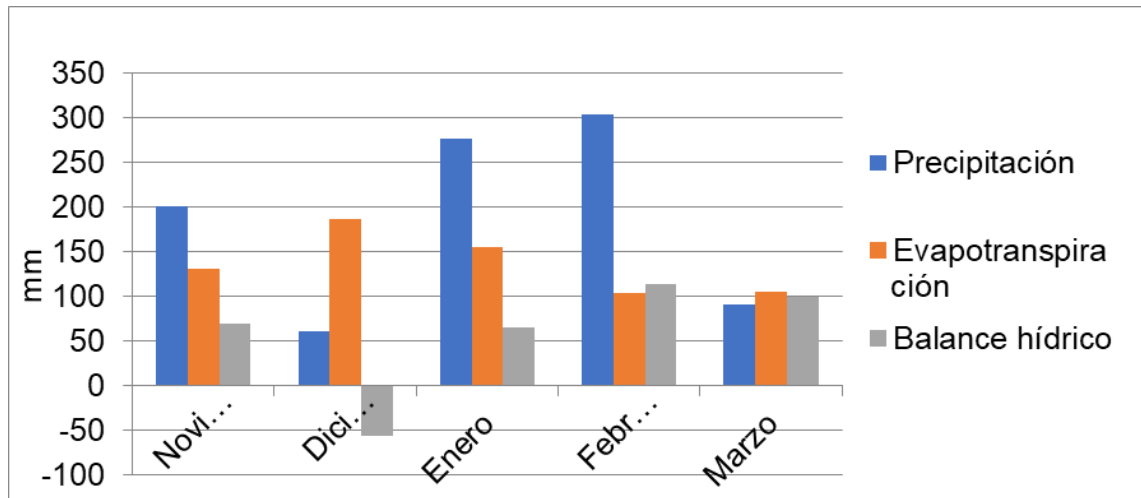


Figura No. 4. Balance hídrico (mm) para el período en el que se realizaron las mediciones

El balance hídrico se hizo teniendo en cuenta la disponibilidad de agua del perfil del mes anterior. De esta forma el máximo valor de balance no va más allá de la capacidad de acumulación de agua disponible del suelo (117 mm).

En la gráfica anterior se presentan los valores de balance hídrico para el período en el que se realizaron las mediciones con el objetivo de valorar el estado del suelo en el período experimental. El mes de diciembre se caracterizó por un balance hídrico negativo debido a las bajas precipitaciones. El déficit hídrico fue acentuado y agotó el agua disponible del suelo. Esta situación se normalizó en los meses siguientes con lluvias abundantes, llegando a completar el perfil de almacenamiento de agua en el mes de febrero.

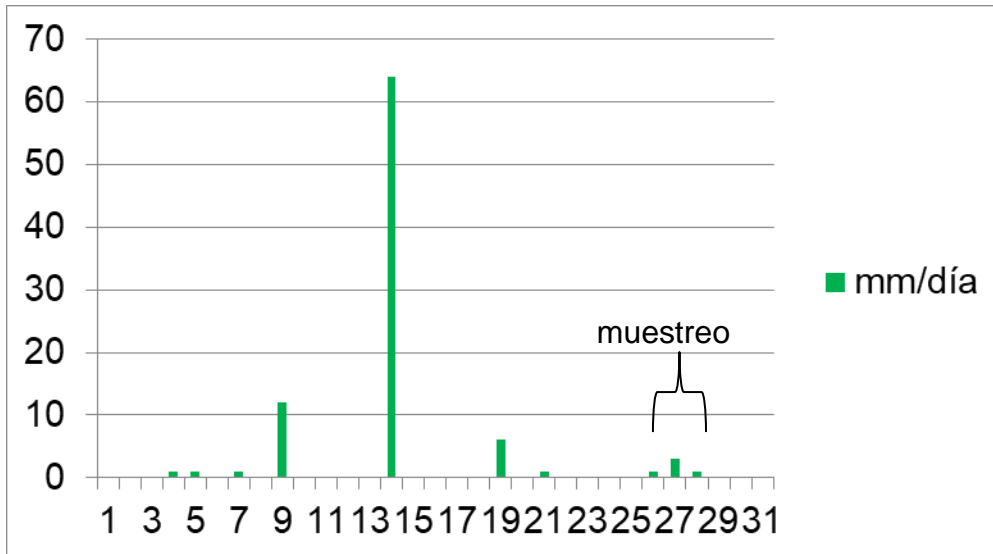


Figura No. 5. Precipitaciones diarias en el mes de marzo, 2014

En la figura anterior se presentan las precipitaciones del mes de marzo ya que son fundamentales para entender, posteriormente, los valores de infiltración del experimento. Como ya fue expresado anteriormente los valores de esta variable fueron tomados en los días 22, 23 y 24 de marzo, conjuntamente para el potrero 35 y 32b. Esto quiere decir que antes de la evaluación el suelo venía cargado con agua en el suelo debido a las precipitaciones ocurridas fundamentalmente el 14 y 19 de marzo.

#### 4.1.2 Temperatura

En la siguiente figura se presentan las temperaturas promedio del aire del año de evaluación y el promedio de la serie histórica de referencia (2002-2014). El comportamiento de la temperatura fue similar, con la salvedad del mes de diciembre donde la temperatura resultó considerablemente superior en el año de evaluación.



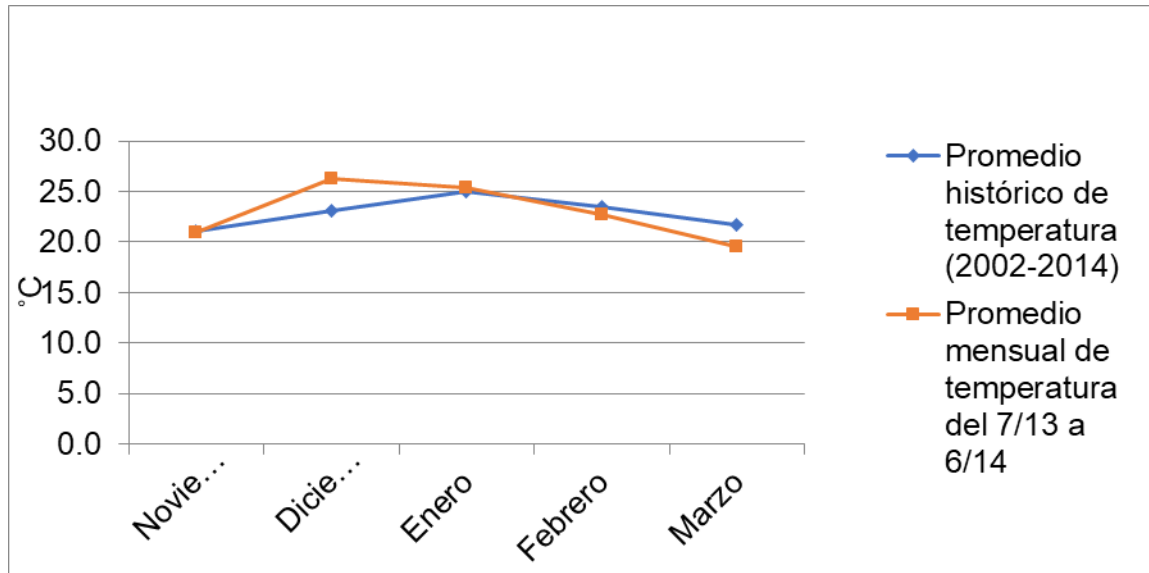


Figura No. 6. Temperaturas promedio del aire (°C) para el periodo noviembre/13-marzo/14 y promedio histórico de referencia (2002-2014)

El rango óptimo de temperaturas para una correcta performance de las especies  $C_3$  es de 15 – 20°C (Carámbula, 2002a).

Los promedios históricos para la temperatura se encuentran por encima del rango de temperaturas óptimas para estas especies. Los meses donde las temperaturas son óptimas para las especies son setiembre, octubre, marzo, abril y mayo. Desde mayo hasta principios de setiembre están por debajo de los 15°C; luego, noviembre y los meses de verano son más calurosos que el óptimo, mayores promedios que 20°C. Esto puede suponer limitantes de crecimiento y, por lo tanto, rendimiento para las especies que componen la mezcla.

La temperatura promedio del mes de diciembre de 2013 fue 3,2 grados superior a la media histórica de referencia (23,1°C). Las altas temperaturas, sumado a la baja precipitación de este mismo mes, desencadenó una situación importante de deficiencias hídricas, que debieron haber afectado a las mezclas en evaluación.

## 4.2 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO

### 4.2.1 Carbono orgánico

#### 4.2.1.1 Potrero 35

Los resultados del COS de los diferentes tratamientos en el potrero 35, no presentaron diferencias significativas. Es importante destacar que los niveles obtenidos de COS son parecidos a los obtenidos por Ernst y Siri Prieto (2009) en experimentos anteriores sobre estos suelos. En el cuadro a continuación se exhiben los valores de COS obtenidos en los 20 cm de suelo.

Cuadro No. 5. Carbono total de 20 cm

Tratamiento	Media (%)	
10 novillos	2,82	a
7 novillos	2,96	a
4 novillos	2,79	a

Además de no existir niveles de COS diferentes en los 20cm totales del suelo, tampoco los hubo si se analiza el suelo desglosado en estratos de profundidad: 0-5 cm, 5-10cm y 10-20cm. Un punto que es importante destacar es la tendencia del valor numérico de los resultados de COS. Este último disminuye a razón de la profundidad de forma muy parecida en todas las repeticiones experimentales. Las variaciones son tan constantes entre bloques y tratamientos que no surgen diferencias significativas. A continuación se presenta la gráfica resultante de este análisis.

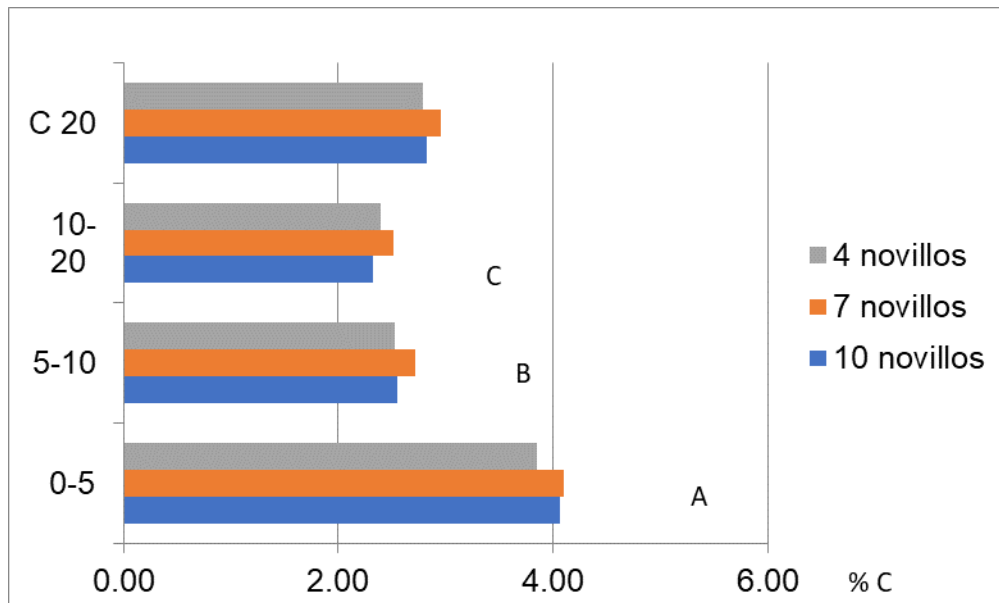


Figura No. 7. Carbono promedio por estrato según tratamiento

Importa destacar que los niveles de carbono fueron más variables entre los tratamientos en los estratos más superficiales evaluados, con mayor incidencia en el estrato 0-5. Las diferencias de COS desaparecen a razón de análisis de mayor profundidad. En otras palabras, los rangos de diferencia de carbono disminuyen entre los tratamientos con la profundidad. Este comportamiento a una progresiva estabilidad de valores en profundidad puede deberse a que los estratos inferiores no son tan afectados por la erosión hídrica, y los superficiales si lo son, sin embargo, los valores de COS en el estrato superficial son mayores, por más de un punto porcentual, a los otros dos estratos (5-10 y 10-20cm). Por este motivo se analizó estadísticamente los estratos por separado para comprobar si las diferencias eran significativas, y de hecho se comprobó que sí lo eran como se aprecia en la gráfica; cada uno de ellos diferentes entre sí mismos. Estos valores, como habría sido de esperar, denotan que la mayor transformación de materiales orgánicos a compuestos húmicos se da principalmente en este estrato del suelo. El COS es el sustrato de toda la actividad biológica del suelo involucrada en el equilibrio de entrada y salida del mismo al sistema. En esta sección del suelo se dan las principales entradas de carbono como lo son exudados radiculares y restos secos aéreos que serán transformados y devueltos en materia orgánica al suelo.

Una pregunta que debe surgir a partir de los niveles de carbono presentes en la gráfica anterior es: ¿por qué el nivel de carbono del tratamiento

con menor carga es menor en comparación, a los otros dos de mayor carga? En este sentido, Nabinger et al. (2008), estudiaron el efecto de la carga sobre el nivel de carbono en el suelo y comprueba que a mayores asignaciones de forraje el nivel de COS aumenta. Por lo tanto, tratamientos más aliviados deberían entregar mayor carbono al sistema.

Sin embargo, en este experimento no ocurre lo anteriormente mencionado, el tratamiento de menor carga obtiene un nivel de COS por debajo al de mayor carga. Estos resultados pueden ser explicados por un aumento en la producción de materia seca aérea, en el tratamiento más aliviado, provocado por la competencia de luz. En consecuencia, la acumulación de materia seca aérea provocó un desbalance en la relación parte aérea/raíz ocasionando una menor acumulación de materia seca radicular que es depositada dentro del suelo (Carámbula, 2002b). Este concepto lo reafirman los valores de remanentes y tasas de crecimiento promedios, obtenidos por García Pintos y Orticochea (2014), en las mismas parcelas de este experimento. Todo esto no quiere decir que la evolución de la materia orgánica en el suelo no sea ascendente, todo lo contrario. Según la descripción del status de la pradera de cuarto año establecido por estos autores, el sistema debería de estar en un proceso de aumento del nivel de COS.

Robert (2002) menciona que los principales factores que actúan sobre la evolución de la materia orgánica del suelo son la vegetación (ingreso de residuos, composición de las plantas), factores climáticos (condiciones de humedad y temperatura) y las propiedades del suelo (textura, contenido, y mineralogía de la arcilla). En este sentido, los últimos dos factores no varían en gran medida en el experimento, por lo tanto, afectan de forma constante e igual a todos los tratamientos. El ingreso de residuos vegetales son los que estarían marcando las diferencias.

Los cambios de COS son muy lentos y son visibles a largo plazo. El balance de ganancias y pérdidas de materia orgánica del suelo está influido por los residuos orgánicos potencialmente humificables que deja el sistema animal-pastura, y la tasa de mineralización anual de la materia orgánica del suelo; que a su vez está vinculada con el clima, además del propio suelo en estudio.

En definitiva, estos valores demuestran que, si se quiere encontrar diferencias en el contenido de COS, se debería extender el estudio más a largo plazo, u otra posibilidad sería, aumentar el rango de diferencia de carga entre tratamientos.

#### 4.2.1.2 Potrero 32b

Los valores obtenidos de COS en los tratamientos de este potrero poseen diferencias significativas evaluando los 20cm del suelo, además son inferiores al promedio obtenido por Ernst y Siri Prieto (2009) en trabajos anteriores sobre los mismos suelos (3 % COS). A continuación, se presentan las medias de COS según tratamiento.

Cuadro No. 6. COS en los primeros 20 cm de suelo según tratamiento

Tratamiento	Media (%)	
FTBL temprano	2,64	A
FTBL tardío	2,38	B
DA temprano	2,5	AB
DA tardío	2,5	AB

En este cuadro se pueden apreciar diferencias con significancia en el nivel de carbono entre los tratamientos FTBL-temprano y FTBL-tardío. Los tratamientos con *Dactylis glomerata*, presentaron un comportamiento intermedio no presentando diferencias estadísticamente significativas de los anteriormente mencionados. El factor que podría estar incidiendo sería la fecha de siembra. En este sentido, Gomes de Freitas y Klaassen (2011), determinaron que la primera fecha de siembra (temprana) fue mejor para la implantación general, el número de plantas y desarrollo de las leguminosas en general, menores valores de enmalezamiento al comienzo del período, mayor producción de materia seca y mayor crecimiento radicular, por lo que determinaron más recomendables las fechas de siembra tempranas. Todas estas consecuencias de la fecha de siembra podrían estar explicando en el largo plazo estas diferencias en el nivel de COS.

En la siguiente gráfica se discrimina el contenido de carbono promedio por estrato según tratamiento. Como se puede observar, se encontraron diferencias significativas en los niveles de COS en el primer sector de suelo (0-5cm).

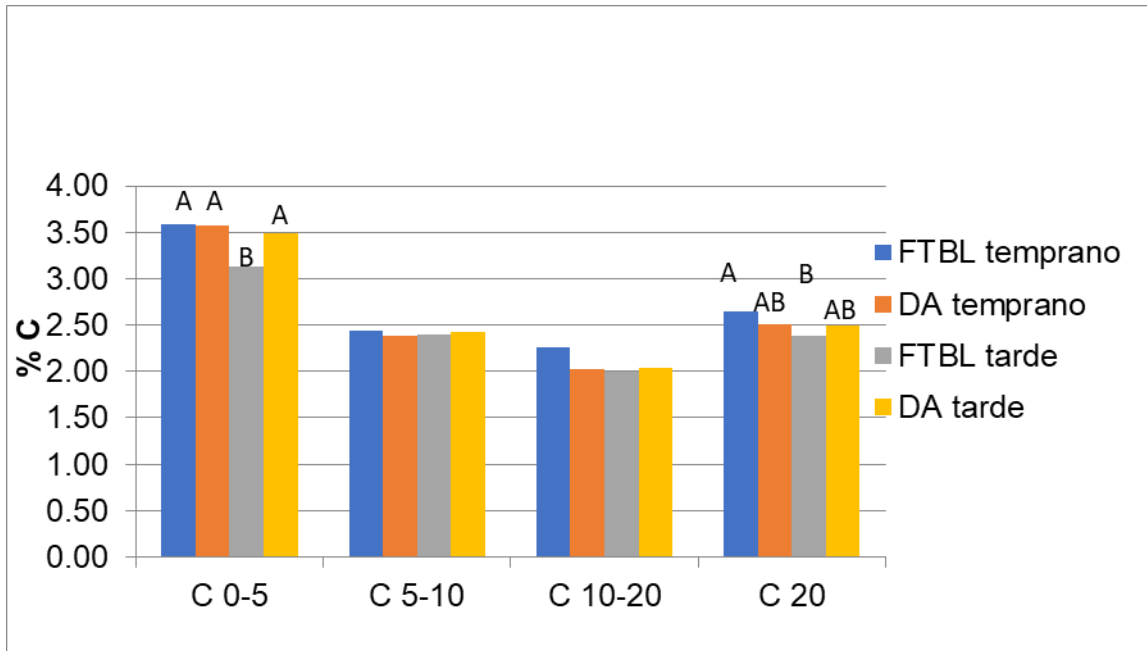


Figura No. 8. Carbono orgánico del suelo promedio según estrato y tratamiento

En este potrero se verifica la misma tendencia comprobada anteriormente en el potrero 35. Los niveles de COS disminuyen con la profundidad. Además, se vuelven más estables, pero no lo suficiente como para generar diferencias estadísticamente significativas entre los estratos estudiados. Es decir, que los niveles de carbono de los estratos difieren todos con significancia.

El carbono orgánico en el estrato 0-5 del suelo difieren significativamente entre los diferentes tratamientos. Las variables responsables son la fecha de siembra temprana-tardía y la interacción entre la última y la mezcla utilizada; la variable mezcla estudiada individualmente no llega a un valor de p-valor suficiente (p.v. 0,1) como para verificar diferencias significativas, pero es muy cercano al mismo.

Cuadro No. 7. Medias de COS del estrato 0-5cm según fecha de siembra y mezcla considerada

Tratamiento	Media (%)	
FTBL temprano	3,59	A
FTBL tardío	3,125	B
DA temprano	3,575	A
DA tardío	3,485	A

En definitiva, las diferencias están dadas por la interacción de la fecha de siembra y la mezcla utilizada, siendo la fecha, en este caso, la variable con más peso en el resultado. El tratamiento FTBL-tardía corresponde con el de menor nivel de COS, y FTBL-temprano con el mayor. Los tratamientos que contienen *Dactylis glomerata* tienen niveles medios con respecto a los anteriores, pero DA-temprano, es superior a DA-tarde, lo que reafirma la idea anterior.

Haciendo referencia a los valores de COS del estrato 0-5 del potrero 35, se puede observar que son aproximadamente 0,5 puntos porcentuales mayores a los de ésta, considerando la misma mezcla. Esto da la pauta de que el experimento en cuestión podría estar sufriendo una disminución, y no un aumento, del carbono, ya que la carga del mismo está dentro del rango de 1,7 a 2 UG/ha, es decir, de parecida magnitud a los tratamientos de 7 y 10 novillos. A partir de este concepto es que se buscaron las variables responsables que generan las diferencias en el nivel de COS en el estrato 0-5cm.

Para poder evaluar y sacar conclusiones del por qué de los resultados, hay que remontarse a valores tomados el año anterior, para poder entender en qué estado estaban las praderas. Las dos repeticiones del tratamiento festuca-tarde presentaban valores con menor producción total de MS, de los cuales un alto porcentaje lo aportaba la MS de las malezas y el restante correspondía a la producción de la mezcla. Este tratamiento presentó el menor porcentaje de las especies integrantes de la mezcla forrajera (menos del 1% de leguminosas) en el disponible. A partir de este último concepto se puede suponer que el aporte de N de la fijación biológica del nitrógeno que brindan las leguminosas es reducido (Aldeta et al., 2014).

Otra de las características antecedentes importantes, es el porcentaje de suelo descubierto de los tratamientos. El valor porcentual de suelo

descubierto del remanente varió desde 11,1 a 19,5 puntos entre tratamientos (Aldeta et al., 2014). Numéricamente las mezclas que comprendían *Dactylis glomerata* son superiores a las correspondientes a *Festuca arundinacea* para esta variable, sin embargo, no eran significativamente diferentes. Por este motivo, y sumado a que no variaban las propiedades edáficas del suelo, se puede sugerir que la erodabilidad del suelo en los tratamientos era un factor que afectaba por igual la variable en estudio.

Las variaciones más importantes en el estrato 0-5cm, y que repercutieron en la media de carbono de los 20cm totales, fueron encontradas en los tratamientos con *Festuca arundinacea* tardía y temprana. Una posible explicación puede estar basada en el estado de ambas praderas. En la primera, el componente especies sembradas, está bastante más degradada que la otra. Esto, en primera instancia, denota que el aporte de restos vegetales aéreos, pero sobre todo subterráneos, ha sido deficiente desde años anteriores.

La fuente principal de nitrógeno, sacando la fertilización nitrogenada otoño-invernal, es a partir de la mineralización de la materia orgánica del suelo. Por lo tanto, he aquí una de las principales pérdidas de carbono, que debe ser respirado para poder entregar N al suelo. Sumado a esto, quienes capturan este nitrógeno fósil son las malezas que están presentes de forma abundante en todos los tratamientos, más aún en festuca-tarde. Es por esto que los decrementos son más acentuados en este último tratamiento, lo que genera que a lo largo del tiempo el porcentaje de carbono sea menor en comparación a festuca-temprano. En otras palabras, quienes capturan este nitrógeno son especies no sembradas que no favorecen de forma muy satisfactoria o deseada a la devolución al suelo; y todo esto es debido a la baja proporción de especies sembradas quienes tendrían mejor comportamiento en este proceso.

#### 4.2.2 Fósforo

##### 4.2.2.1 Potrero 35

Los niveles de  $P_2O_5$  promedio de los 20 cm de suelo fueron obtenidos por el método de análisis Bray I. En el cuadro a continuación se presentan los valores de los diferentes tratamientos.



Cuadro No. 8. Valor promedio de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en los primeros 20 cm de suelo

Tratamiento	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm Bray I)	
10 novillos	12,8	B
7 novillos	21,4	A
4 novillos	13,9	B

En primer lugar, se verificaron diferencias significativas entre los tratamientos. Es destacable el promedio correspondiente a las parcelas pastoreadas con 7 novillos, y la diferencia entre los otros dos tratamientos. Pero en general concuerdan con el promedio obtenido por Ernst y Siri Prieto (2009) sobre las mismas parcelas (15 ppm P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

Este comportamiento puede deberse a la presión de selección que ejercen los animales sobre las leguminosas. En el tratamiento con 4 novillos existe la posibilidad por parte de los rumiantes de incidir en un pastoreo más frecuente en el componente leguminosa, pero ya en el tratamiento de 10 novillos la carga es elevada y hay un consumo más parejo de las especies.

Otro punto asociado a la presión de pastoreo que podría estar incidiendo es que debido a la baja carga, la producción en general se resiente y hay un porcentaje mayor de senescencia y consecuente devolución al suelo de restos secos por parte de estas especies. Esto es debido a un consumo inferior a la tasa de crecimiento de la pastura. Por otro lado, con una carga de 2,17 UG/ha el consumo es mayor y el remanente no sufre los procesos anteriormente mencionados. En este sentido Almada et al. (2007), estudiaron el comportamiento del forraje desaparecido en función de la asignación de forraje, con asignaciones de 2, 4,5, 7 y 9,5 %. Estos autores demostraron que en una pradera de *Lolium perenne*, *Lotus corniculatus* y *Trifolium repens* el máximo de producción se dio entre asignaciones del 4,5 y 7% sin presentar diferencias significativas. El valor de asignación de forraje promedio correspondiente a cada una de las cargas manejadas en los tratamientos son 9,5, 5,6 y 3,7 % para las cargas de 2,17, 1,52 y 0,87 UG/ha, respectivamente (García Pintos y Orticochea, 2014). Por lo tanto, el tratamiento de 7 novillos sería el de mayor producción de materia seca y devolución en reciclaje de este nutriente.

Si se desglosan los contenidos de fósforo según estratos, la significancia de los resultados se mantiene, excepto en el estrato 0-5 cm. La gráfica a continuación trata de ilustrar este concepto.

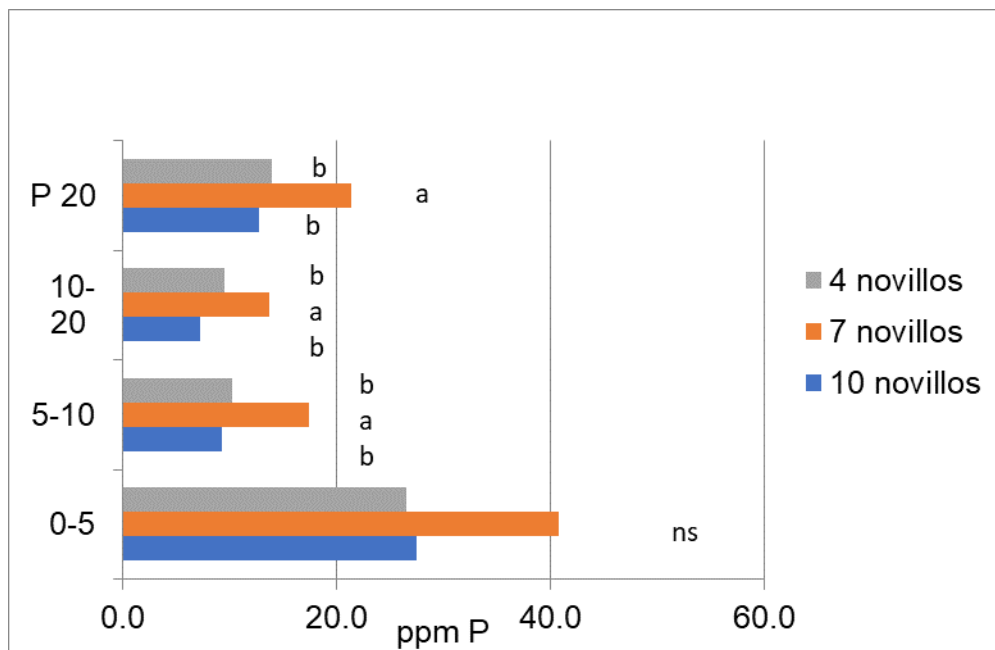


Figura No. 9. Fósforo promedio por estrato según tratamiento

Una característica que resalta de la gráfica es la gran estratificación del nutriente en el perfil de suelo. Debido a su naturaleza poco móvil, la fertilización anual y el aporte de las deyecciones del ganado, el estrato superior (0-5cm) de suelo contiene la mayor parte de fósforo disponible en los 20cm totales estudiados. Pero lo que llama más la atención, no es el alto nivel del nutriente en este sector, sino la ausencia de significancia entre los valores de los diferentes tratamientos. Esto sucede por la alta heterogeneidad de los resultados de las repeticiones experimentales, que crea un coeficiente de variación tan alto, que a su vez, provoca que la mínima diferencia significativa sea alta como para que resulten significancias. Si se estudia la significancia de los valores obtenidos por estratos de suelos comparados si existen diferencias, es decir, el nivel de  $P_2O_5$  del estrato 0-5 cm difiere significativamente con los otros dos que, a su vez, entre ellos no difieren.

Los valores siguen un patrón de disminución en función de la profundidad. Esto concuerda con los datos obtenidos por Calviño et al. (2000), Maranges y Nadal (2014).

En la gráfica se señala que se encontraron diferencias significativas. Los estratos subsiguientes al superficial, 5-10 y 10-20cm, contienen niveles de fósforo estadísticamente diferentes, lo que en un principio hace suponer que la variable carga es la responsable de esta diferencia. Ahora, ¿por qué el tratamiento de carga media es el superior en este aspecto?

Para poder empezar a evaluar este comportamiento, es necesario hacer referencia a algunos aspectos que pueden estar interviniendo en los resultados obtenidos.

Por ejemplo, la historia de chacra de estos potreros es muy larga, es decir, sufrieron laboreo y fertilizaciones externas importantes a lo largo del tiempo. Esto da la pauta que el suelo estuvo sujeto a una serie importante de deformaciones y mezcla de su perfil, erosión, lixiviación y de más procesos naturales que se acentuaron con la acción del hombre. Por lo tanto, al momento de calar y sacar uno o varios cilindros de suelo, el perfil de arcillas por ejemplo, en un espacio acotado, perfectamente puede variar a un metro de distancia. El componente arcilla, muy importante en el suelo estudiado, es uno de los responsables directos que hacen a la magnitud del poder de retención de fósforo de un suelo.

En sintonía con el anterior concepto, el análisis puede ser sesgado por otros motivos de naturaleza edáfica. El experimento se encuentra en una zona de blanqueales. Éstos fueron ubicados y evitados con herramientas como el Google Earth y observando la vegetación. Pero, sin embargo, volviendo al antecedente de tierras muy labreadas, parte de los perfiles del blanqueal fueron mezclados con perfiles adyacentes, con esto se quiere decir que se mezclaron horizontes superficiales y más profundos que presentan piedras de carbonato de calcio en mayor frecuencia. Esta característica genera una fuerte variabilidad, porque como ya fue expresado, el análisis utilizado fue el Bray I. Este método no es capaz de solubilizar el fósforo disponible que se encuentra atrapado por el carbonato de calcio, Si bien, al momento de tomar y acondicionar las muestras para el análisis, se extrajo la mayoría del carbonato de calcio, el contenido de  $P_2O_5$  se pudo haber visto subestimado.

Otro factor importante, que estaría generando la mayor variabilidad, son las deyecciones del ganado en pastoreo. Esto significa que, en una deyección animal, se concentra en muy poco espacio, una cantidad muy grande de fósforo que luego de mineralizado queda disponible para las plantas. Es posible entonces, que alguna de las muestras tomadas haya tenido un enriquecimiento excesivo por parte del retorno del fósforo debido a heces.

Hay que sumarle a todo este razonamiento, que el fósforo en el suelo presenta un equilibrio dinámico entre dos fracciones: inorgánica y orgánica.

Partiendo de la base que el valor de análisis corresponde únicamente a la fracción inorgánica (Morón y Kiehl, 1992a), el valor de fósforo real y total depende en gran medida de la fracción orgánica. Dado a que la evolución de la materia orgánica en este caso es positiva por lo reflexionado en el anterior capítulo, su efecto en el disponible de fósforo no variaría tanto los resultados como sí lo hace en el experimento del potrero 32b. Esto es consecuencia de que la acumulación de fósforo denota que éste nutriente no es la limitante en la formación de materia orgánica, es decir, la demanda generada en el equilibrio por parte del P orgánico está totalmente cubierta.

En definitiva, la dinámica del nutriente en el sistema animal-pastura, sumado a las características edáficas anteriormente explicadas y las desventajas pertenecientes al método de análisis, genera una gran variabilidad espacial y experimental casi imposible de poder evitar que pudiera estar enmascarando algún otro posible resultado.

#### 4.2.2.2 Potrero 32b

El fósforo medido en el experimento a través del método Bray I, mostró diferencias significativas en los primeros 20 cm de suelo, donde el tratamiento festuca-tardía obtuvo el valor más bajo. Concordando con lo anterior, también presentó los análisis más inferiores discriminando en estratos (0-5, 5-10 y 10-20). De lo contrario, el tratamiento con el mayor contenido de fósforo en los 20 cm totales fue el de dactylis-tardía, sin embargo, todos promedios inferiores a los encontrados por Siri Prieto (2009) en años anteriores. A continuación, se presentan los valores obtenidos en los 20cm totales.

Cuadro No. 9. Valor promedio de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en los primeros 20 cm de suelo

Tratamiento	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm Bray I)	
Festuca temprana	7,8	AB
Dactylis temprana	6,1	BC
Festuca tardía	4,7	C
Dactylis tardía	8,3	A

Las diferencias entre los tratamientos fueron respecto a la variable de interacción fecha tardía-temprana y mezcla utilizada. Las otras variables no difirieron con significancia. Esto se reafirma en el resultado de los 20 cm de

suelo total dónde también hay diferencia significativa siendo la variable responsable la misma mencionada anteriormente.

Para empezar el análisis y poder encontrar posibles explicaciones a los valores obtenidos, es importante recordar puntos clave, que se especificaron en el análisis del potrero 35, pero que en este son diferentes. Las deyecciones animales, son una variable que afecta el análisis, pero al presentar la misma cantidad de animales en todas las parcelas, no es tan importante su impacto. Luego, la presencia de carbonatos de calcio en el horizonte A existe, pero con una frecuencia ínfima con respecto al anterior potrero. Los blanqueales están más ausentes y se distinguen mejor. Con esto no quiere decir que no se haya incurrido en errores de análisis, pero sí, que son menores a los que posiblemente afectaron en el experimento de carga.

Es inevitable destacar la diferencia en el nivel de fósforo que se encuentra entre los dos experimentos evaluados. Por lo tanto, hay variables responsables de este suceso que tienen un peso más importante a las que afectaron en el experimento anterior.

El valor de fósforo es menor en los 20 cm de suelo, como se mencionó anteriormente, pero además, como es de esperar, también lo es en los estratos por separado. El estrato con mayor repercusión en este aspecto es el más superficial. Para visualizarlo mejor, a continuación se muestra la gráfica que ilustra los niveles de fósforo Bray I según estrato y tratamiento.

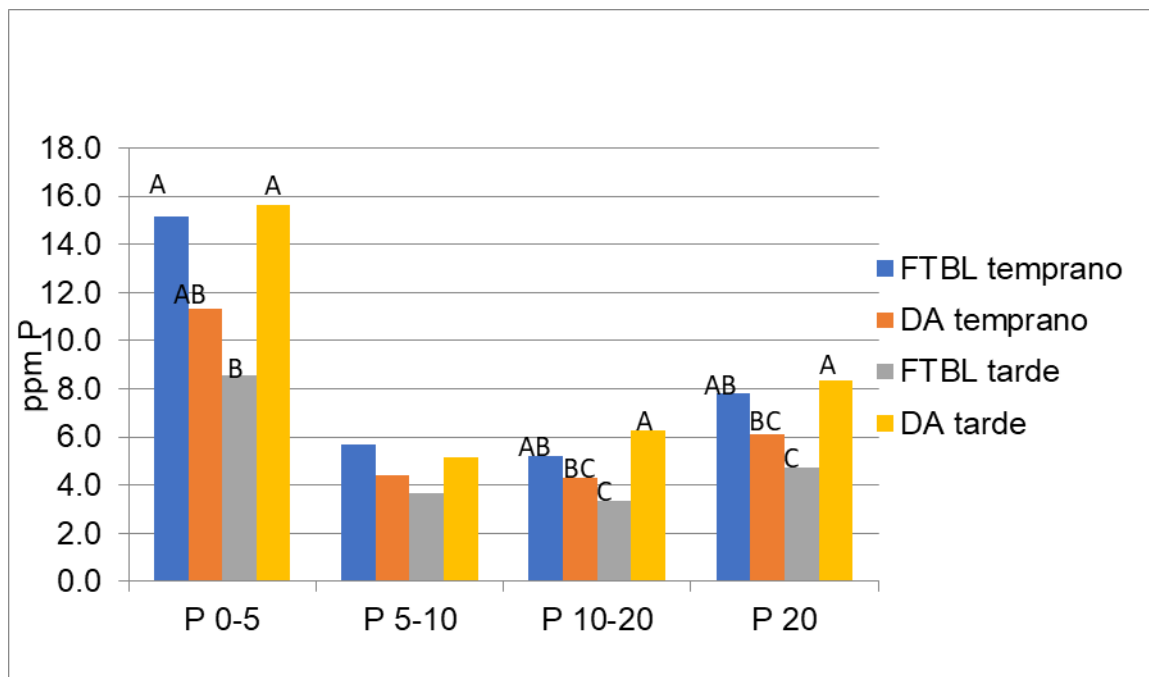


Figura No. 10. Contenido de  $P_2O_5$  promedio por estrato según profundidad de análisis y tratamiento

Nuevamente en este caso se observa la estratificación del nutriente debido al sistema pastoril y forma de reciclaje, sumado a la naturaleza poco móvil del nutriente. En este caso también si se estudia estadísticamente las diferencias por estratos, el más superficial sería diferente a los otros dos, que no obtienen diferencias entre sí.

El análisis de  $P_2O_5$  fue a través del análisis Bray I que representa la fracción inorgánica del mismo y es la técnica más adecuada para suelos neutros, que son los que se manejan en este experimento. Este método tiene ciertas desventajas como que representa únicamente formas inorgánicas con diferentes grados de disponibilidad, y además teniendo en cuenta que entre un 50 y 80 % del total de este nutriente corresponde a formas orgánicas de disponibilidad en el suelo (Stewart y Sharpley, citados por Abella y Nin, 2003).

La diferencia de fósforo entre los dos potreros está regida por la evolución actual del nivel de COS que tiene cada uno de ellos. En esta situación en particular, se está frente a pérdidas de carbono del suelo, es decir, materia orgánica. Por lo tanto, según los modelos de Stewart y Sharpley (2009), el suministro de fósforo para las especies estaría limitando al P inorgánico lábil, es decir, si no hay entradas de carbono la actividad microbiana se frena y no hay aporte de fósforo desde formas orgánicas. En otras palabras, el nivel de fósforo obtenido, resulta del equilibrio natural de oferta de fósforo del suelo, sumado a lo agregado en la fertilización, y la demanda, o absorción por parte de las plantas. Esto quiere decir que a corto plazo, el suelo entrega fósforo orgánico a la solución debido al proceso de mineralización y pérdida de la materia orgánica en la que está incurriendo.

En todos los tratamientos, el nivel de fósforo obtenido del análisis corresponde al aportado mediante las fertilizaciones, sumado al entregado debido a la degradación de la materia orgánica. Ahora, el fundamento de la diferencia entre los tratamientos, es posible que se base en el estado de la pradera y la aptitud de las mezclas en el aporte de carbono al sistema.

Con todo esto lo que se quiere decir es que, debido a las variabilidades experimentales, sumados a la dinámica particular del nutriente y la información disponible, no se puede generar un esclarecimiento de el por qué de las diferencias entre los tratamientos. Debería haber información similar de cada año del experimento, en particular, de todos los tratamientos.

### 4.2.3 Potasio

#### 4.2.3.1 Potrero 35

Con respecto al potasio intercambiable en el suelo, en el experimento del potrero 35, no hubo ningún tipo de diferencias significativas entre los diferentes tratamientos. La mínima diferencia encontrada entre éstos es importante ya que, como se observará más adelante, concuerda con otros valores obtenidos y analizados anteriormente. El contenido de potasio intercambiable promedio de los tres tratamientos se encuentra dentro de los rangos necesarios para la instalación de pasturas (Hernández, 2012), pero por debajo a los promedios obtenidos por Ernst y Siri Prieto (2009) que resultó en 1,9 meq/100g de suelo. Sin embargo, no es una limitante nutricional para las especies en estudio. A continuación se presenta un cuadro con los valores de potasio intercambiables obtenidos en los 20cm de suelo para los distintos tratamientos.

Cuadro No. 10. Contenido promedio de potasio intercambiable en los 20cm de suelo según tratamiento

Tratamiento	K (meq / 100 g suelo)
10 novillos	0,670
7 novillos	0,686
4 novillos	0,651

El efecto de la carga manejada a lo largo de estos años no varió con valor estadístico los niveles de potasio en el suelo. Hay otros factores que pudieron haber sido los responsables de atenuar este comportamiento. En los siguientes párrafos se trata de clarificar el escenario y la dinámica de potasio vinculándolo a este sistema en particular.

Las fases de potasio en el suelo se dividen en: potasio en solución, intercambiable y no intercambiable. Éstas se encuentran en equilibrio dinámico, el cual se modifica por las entradas de K al sistema, a través de la fertilización y residuos vegetales, deyecciones y orina, y por las salidas del mismo, mediante la absorción de K por los cultivos y posibles pérdidas naturales. Los análisis de potasio en este trabajo estiman la fracción intercambiable del nutriente, que es un buen indicador de la evolución del potasio. Hay que sumarle a este

razonamiento que cada fracción retiene o libera potasio en función de la naturaleza fisicoquímica del suelo. Por lo tanto cada suelo tiene una capacidad de retención de potasio diferente, es decir, una capacidad amortiguadora, o poder buffer distinto. Que depende principalmente de la CIC que brinda la fracción arcilla y el contenido de materia orgánica. A modo de ejemplo, Melgar y Díaz Zorita (2008), explican que cuando un suelo tiene elevado poder regulador o buffer, la concentración de potasio en solución se mantendrá por un periodo mayor que si la capacidad tampón del suelo fuese menor.

En relación a la CIC que aportarían las arcillas dentro del experimento, se supone que afectan de forma proporcional en los bloques, por lo tanto, no habría un efecto particular de los tratamientos, debido a que se encuentran sobre el mismo suelo. Ahora, el reciclaje del nutriente al suelo en pastoreo es un factor que sí debería estar influyendo ya que por restos vegetales y deyecciones se estaría devolviendo el nutriente al suelo, teniendo en cuenta que se manejan diferentes cargas animales. Según los datos obtenidos por García Pintos y Orticochea (2014), en las mismas parcelas de estudio, el forraje desaparecido en kg de MS no difirió significativamente entre los tratamientos, por lo tanto, el K extraído del forraje sería igual en todos los tratamientos. A su vez el reciclaje por heces es más homogéneo en el tratamiento con más carga (más animales), a razón de una mayor distribución de heces. En este sentido, Del Pino y Andi6n (2004), hicieron un estudio de la magnitud del reciclaje del potasio al sistema en condiciones de pastoreo. Se evalu6 sobre mejoramientos con diferentes niveles de P (30 y 60 kg/ha/a6o); campo natural, gramínea y leguminosa con diferentes cargas. De este trabajo concluyen que los mejoramientos que tuvieron mayor producci6n de forraje, y a la vez habían sostenido mayores cargas, la magnitud del reciclaje de K fue mayor ya que se reflej6 en los niveles de K del forraje.

A continuaci6n, se ilustra en la figura una gráfrica que discrimina los valores de potasio intercambiable por estrato y total (20cm) seg6n tratamiento.



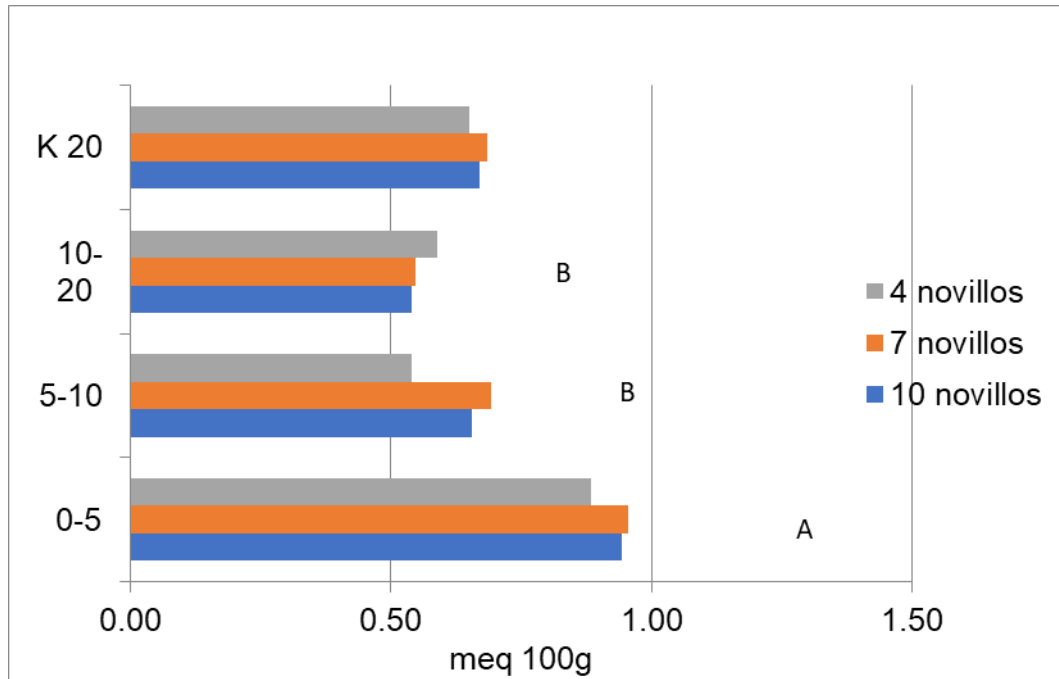


Figura No. 11. Potasio intercambiable promedio por estrato según tratamiento

Hay una clara disminución del potasio intercambiable en profundidad. A mayor profundidad los valores disminuyen en valor absoluto y la variación entre los tratamientos es cada vez menor. Este comportamiento se comprueba con el análisis estadístico entre estratos que resulta en que se encuentra diferencia significativa entre el primer estrato y los otros dos subsiguientes como se representa en la gráfica. Esto puede ser explicado por el perfil de contenido de COS, que muestra el mismo comportamiento. Por consecuencia, es razonable que ocurra esto sabiendo ya lo que representa esta fracción del suelo para el nivel de K int. El contenido de carbono orgánico para los tratamientos con 10, 7 y 4 novillos les corresponden los valores de 2,82, 2,96 y 2,79 de porcentaje de carbono, respectivamente. Si se comparan las magnitudes de los valores de COS y los de K int, se puede ver que concuerda el tratamiento con mayor valor de COS, con el de mayor K int; y el mismo comportamiento ocurre en los otros dos tratamientos. Esto da la pauta de que lo sucedido en este experimento concuerda con las afirmaciones de los autores anteriormente mencionados. Resumiendo, el aporte de capacidad intercambiable que brinda el contenido de carbono orgánico de cada tratamiento podría estar determinando el valor de K int obtenido.

#### 4.2.3.2 Potrero 32b

Los valores de potasio intercambiable de este potrero fueron numéricamente superiores a los del potrero 35. En esta situación tampoco se dieron diferencias significativas entre los tratamientos, ni en los primeros 20cm de suelo, ni en los estratos por separado. A continuación se presenta un cuadro con los valores de potasio intercambiable promedio obtenidos en los 20cm de suelo para los distintos tratamientos.

Cuadro No. 11. Contenido promedio de potasio intercambiable en los 20cm de suelo según tratamiento

Tratamiento	K (meq / 100 g suelo)
festuca-temprana	0,81
dactylis-temprana	0,81
festuca-tardía	0,62
dactylis-tardía	0,76

Una característica que resalta, además del valor superior de contenido de potasio intercambiable frente al anterior potrero, es la diferencia que existe entre el tratamiento festuca-tardía y los demás tratamientos. No es casualidad este resultado, como se ha observado, es una de las praderas en peor estado, y que constantemente presenta los valores más bajos.

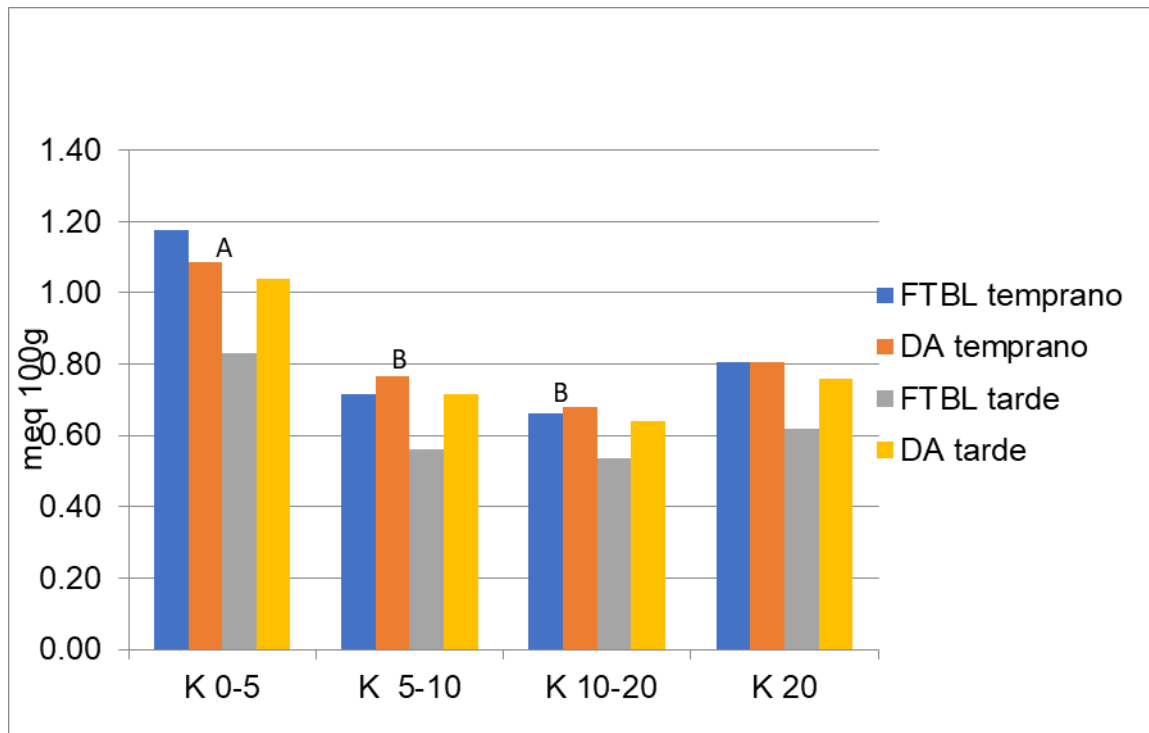


Figura No. 12. Potasio intercambiable promedio por estratos, según tratamiento

Otra coincidencia que se verifica es la disminución del valor de K a razón de la profundidad. Por ello se realizó el mismo análisis estadístico arrojando diferencias significativas entre el primer estrato y los otros en cuestión. En la gráfica están representadas estas diferencias.

Este comportamiento no es casualidad, y como ya fue explicado anteriormente, podría tener relación directa a los valores de COS. Este comportamiento, estaría explicando también, la diferencia del tratamiento festuca-tardía. Por lo tanto, en este caso también el contenido de COS explica los niveles de potasio intercambiable obtenidos.

Sin embargo, mirando la superioridad numérica de los valores de este potrero frente a los del anterior, surge la pregunta: ¿Por qué se da la superioridad si en este caso los valores promedio generales de COS son menores? Esta pregunta se respondería haciendo referencia al otro factor que contribuye a el nivel de capacidad de intercambio catiónico de un suelo.

Los suelos son diferentes entre los potreros. En el 35, se observó un suelo de menor profundidad, con ciertos lugares donde el horizonte C estaba a menos de 50cm de la superficie. El horizonte B textural es desarrollado, pero menos profundo dado el largo total del perfil. Por otro lado, el potrero 32b,

presenta un perfil de suelo más profundo y constante, es decir, no se encontraron casos de superficialidad como en el otro. También, el Bt es más desarrollado (mayor contenido de arcillas) y de profundidad superior. Con esto se quiere expresar que el suelo presente en el potrero 35 contiene un nivel menor de arcilla en comparación al del potrero 32b.

Todos estos valores dan la pauta de que el contenido de arcillas de este potrero es mayor. Por lo tanto, el valor de actividad de intercambio catiónico generado por este componente es superior al del potrero 35. Ahora, este valor es tan superior, que sumado a la CIC de su materia orgánica (inferior en este caso), superan la CIC total del otro suelo. He de aquí, la posible explicación de el por qué de la pregunta presentada. En este sentido, Hernández (2012), afirma que un suelo franco limoso tiene una CIC mayor que uno arenoso. Esto determina que retenga más potasio el de textura más pesada. La parte de potasio que no retienen los suelos permanece en la solución y estaría sujeta al lavado lo cual explica las grandes pérdidas observadas en el suelo arenoso de baja CIC.

#### 4.2.3.3 Comportamiento carbono-potasio

Dado al comportamiento que se observa entre la variable potasio y el contenido de carbono orgánico, se decidió verificar la correlación entre ambas. Se contrastaron los valores obtenidos de dichas dos variables en los dos potreros sin discriminar por tratamiento. A partir de este análisis surge la gráfica siguiente del nivel de potasio intercambiable del suelo en función del carbono orgánico.

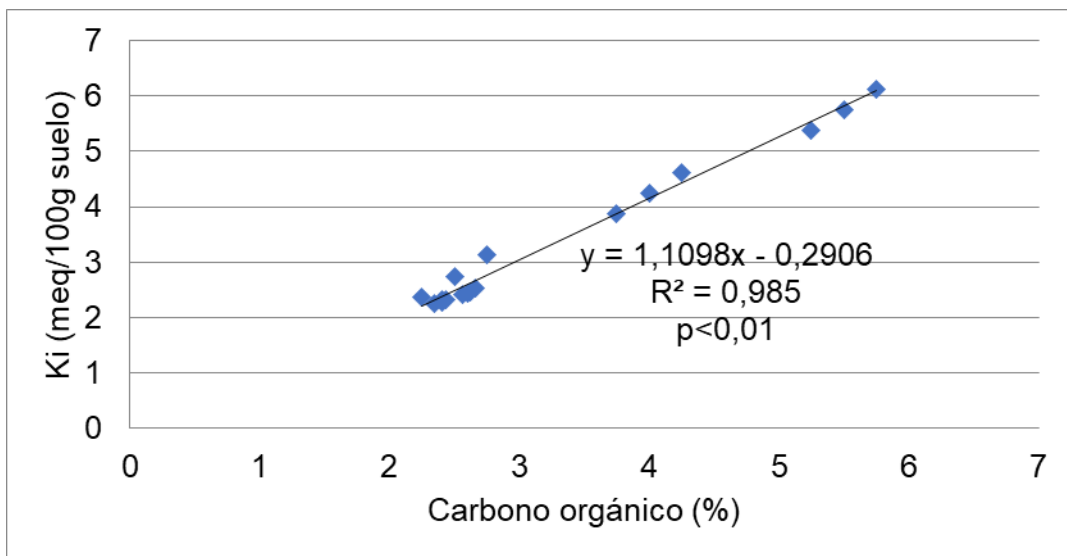


Figura No. 13. Relación entre el potasio intercambiable en función del carbono orgánico.

Como se puede observar, hay una relación lineal, con un alto valor de coeficiente de determinación de casi 0,99. Además, el p-valor, es inferior a 0,01 lo cual demuestra que esta regresión es estadísticamente significativa.

Como se expresó anteriormente, en los dos tratamientos se verificó el mismo comportamiento entre estas dos variables, lo cual arrojó resultados coincidentes al razonamiento donde el nivel de carbono es una causa no menor en su responsabilidad sobre los niveles de potasio.

### 4.3 PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO Y DESARROLLO RADICULAR

#### 4.3.1 Cantidad y peso de raíces

##### 4.3.1.1 Potrero 35

La cantidad y el peso de las raíces son dos variables que se consideró pertinente evaluar en conjunto. Agronómicamente los componentes cantidad y peso están muy vinculados, y de hecho, este caso no es una excepción. Para poder empezar a evaluar y reflexionar sobre los datos obtenidos se debe repasar una serie de conceptos ya mencionados.

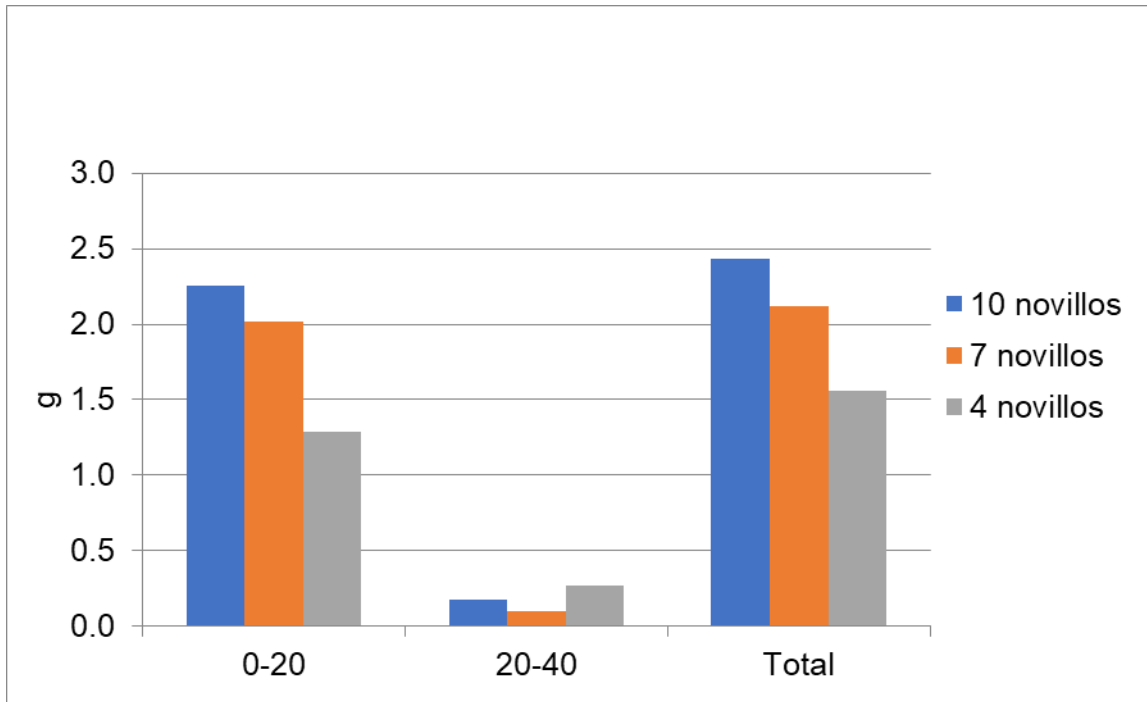


Figura No. 14. Peso promedio de raíces según estrato y tratamiento

Muslera y Ratera (1984), señalan que la mayor parte de las raíces se desarrollan en la capa superficial del terreno, primeros 10 cm de suelo, donde se encuentra la materia orgánica y los elementos minerales vitales para la alimentación de la planta. En la gráfica no se representa el sector 0-10cm pero se comprueba que más del 90% del total de las raíces se encuentran en los primeros 20cm de suelo.

Como se dijo en el capítulo de carbono, hay una mayor relación parte aérea/raíz en el tratamiento de menor carga. Es decir, hay un aumento en la producción de materia seca aérea provocado por la competencia de luz, y en consecuencia, se provoca un detrimento del crecimiento radicular. En este mismo sentido, Evans, citado por Muslera y Ratera (1984), explica que la falta de luz por competencia de otras plantas afecta el crecimiento de las raíces y a la relación parte aérea/raíz como consecuencia de la reducción de hidratos de carbono.

En este experimento, otro factor que hay que tener en cuenta, es que el pastoreo es rotativo y de relativamente poca frecuencia, lo que estaría variando es la intensidad. En este sentido, Formoso (2000b), expresa que los pastoreos demasiado frecuentes generan una disminución del nivel de reservas y, por lo

tanto, del peso de las raíces, lo que genera a largo plazo una disminución de la producción de forraje y rebrotes más lentos. En este potrero no hay una alta frecuencia, sino que las pasturas son sometidas a períodos prolongados de descanso, por lo tanto como afirma Langer (1981), su rendimiento relativo es mayor, y lo explica por la oportunidad de reaprovisionar reservas.

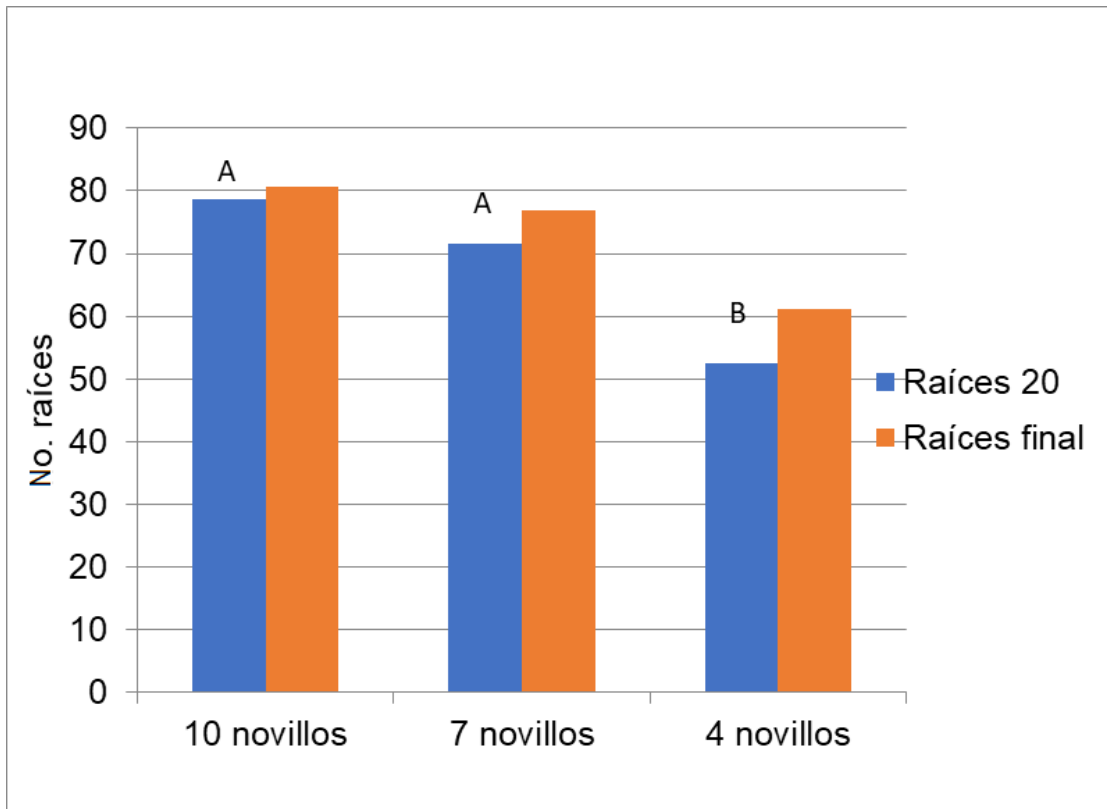


Figura No. 15. Promedio en cantidad de raíces transversales según sección y tratamiento

Para poder empezar a estudiar y analizar los valores de cantidad y peso de las raíces en los distintos tratamientos, se necesitan algunos datos anteriores del mismo potrero que describan el comportamiento de defoliación que hubo a lo largo de estos años. García Pintos y Orticochea (2014), evaluaron el efecto de las tres dotaciones animales sobre la productividad invierno-primaveral de la mezcla. Se estudiaron producciones de materia seca, evolución de la composición botánica y producción animal en el 4º. año de la pradera.

Los remanentes promedio que se manejaron a lo largo de estas estaciones del año, fueron siempre mayores a 10cm. En primavera, tanto el disponible como el remanente, se destacan un poco más dado la estación. A continuación se presenta el cuadro de MS y altura disponible y remanente promedio de los tratamientos.

Cuadro No. 12. Características descriptivas del estado de los tratamientos

	10 novillos	7 novillos	4 novillos
MS disp. kg/ha	2105	2205	2336
Altura disp. (cm)	16,9	17,9	18,7
MS rem. (kg/ha)	1344	1313	1616
Altura rem. (cm)	11,6	11,6	13,6
Forraje desaparecido promedio (kg MS/ha)	760,8	892	719,7
TC (kg/ha MS)	45,8	51,9	56,3

Fuente: García Pintos y Orticochea (2014).

Zanoniani et al. (2006) plantearon un experimento donde se evaluó el efecto de cuatro intensidades: 2,5, 5,0, 7,5 y 10 cm. Las principales diferencias entre los distintos manejos que obtuvo en el experimento se comenzaron a manifestar luego del verano del primer año. Se observó una clara tendencia a un mejor comportamiento de los manejos más aliviados, siendo 7,5 cm el remanente que presentó el mejor comportamiento. Este autor concluye que el resultado no se debe a una mayor cantidad de macollas, sino al mayor peso de las mismas, que presumiblemente se tradujo a una mejor posibilidad de extraer agua desde horizontes más profundos. En este sentido Saldanha et al. (2010), agregan que la intensidad de pastoreo afecta la densidad de macollos como de plantas, el número de macollos y sobre todo el peso de los mismos. También es importante mencionar que las alturas determinadas para el ingreso del pastoreo permitieron recuperar el área foliar y el estado de la pastura en todos los tratamientos.

Como se dijo anteriormente los promedios de remanentes no bajaron de 10cm de altura, esto quiere decir que sería una situación comparable a la que tuvieron Zanoniani et al. (2006) en el tratamiento más aliviado. En el



tratamiento de 4 novillos se observó que la cantidad de raíces es menor significativamente a los otros dos dado el proceso de dominancia apical, pero esto además se reafirma ya que dada la competencia los macollos aumentarían su peso y disminuirían en cantidad respecto a los otros dos tratamientos. De allí se explica más aún la menor cantidad de raíces en los 20cm de suelo. En otras palabras, a mayor cantidad de macollos, más raíces en los primeros centímetros de suelo.

Otro aspecto importante que se demuestra en la gráfica es la diferencia que existe en cantidad de raíces final frente a las raíces de primer estrato. En todos los tratamientos existe mayor número de raíces finales, pero la diferencia con el otro estrato es numéricamente mayor en el tratamiento de 4 novillos. Nuevamente en este caso ocurre algo parecido a lo que observaron Zanoniani et al. (2006) en su experimento. Explica que las macollas más pesadas tendrían la capacidad de extraer agua de horizontes más profundos, que se traduce y concuerda con los datos obtenidos en este experimento. Para aclarar el concepto, se grafica el peso promedio de raíces según tratamiento de sólo un bloque experimental, ya que no se consiguió en todas las parcelas de los otros dos bloques la profundidad de 40 o más centímetros.

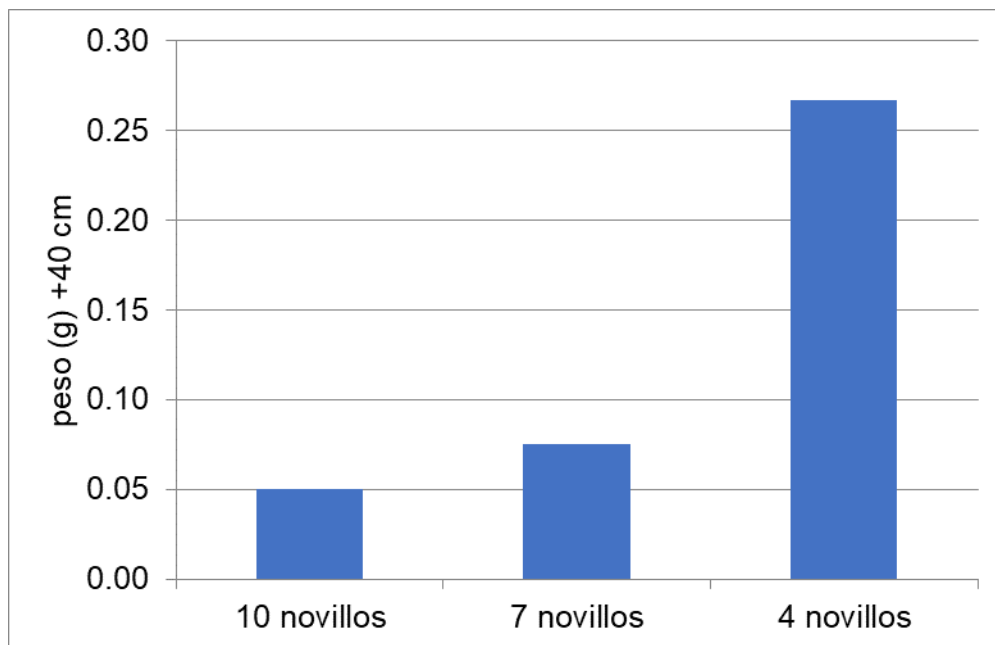


Figura No. 16. Peso promedio de raíces según tratamiento en profundidades mayores a 40cm

En términos generales lo que se concluye es, en primer lugar, que el factor cantidad de raíces es el determinante del peso total encontrado, y las diferencias entre los tratamientos se deben a la carga manejada, y a sus consecuencias en el sistema pastura.

#### 4.3.1.2 Potrero 32b

El potrero 32b presentó praderas bastante degradadas con respecto a las del 35, que se puede decir que están en buen estado. La degradación pasa fundamentalmente por la desaparición de las especies sembradas y el bajo aporte de MS al sistema por parte de ellas. A esto se le suma un alto porcentaje de enmalezamiento que, en definitiva, sería la mayor proporción del forraje disponible. También existen porcentajes de suelo descubierto que hacen a la degradación que se está mencionando.

Esto se verificó con datos de la tesis realizada por Aldeta et al. (2014) sobre la misma parcela en cuestión. A continuación se ilustra el cuadro con los datos pertinentes.

Cuadro No. 13 Características descriptivas del estado de los tratamientos

Tratamientos	Festuca temprana	Festuca tardía	Dactylis temprana	Dactylis tardía
Disponibilidad (kg/ha MS)	3384 bc	4297 a	2787 c	3743 ab
Altura disponible (cm)	28,9	29,8	26	29,9
Remanente (kg MS/ha)	1763 bc	2416 a	1493 c	2242 ab
Altura remanente (cm)	17,3	16,7	12,9	17,1
Forraje desaparecido (kg MS/ha)	1621	1881	1501	1294
OF (%)	9	13	6,8	10,1
% Utilización	47,9	43,7	47,1	39,6
% suelo descubierto disponible	7,9	6,2	21,4	6,9
% suelo descubierto	13,7	11,1	19,5	16,3

remanente				
Disp gram + leg (%)	15,9 c	12,4 c	36,1 a	21 b
Disp malezas (%)	82 a	79,3 a	57,8 b	77,5 a

Fuente: Aldeta et al. (2014).

Además de estos datos en los que se apoyará este análisis, no hay que olvidar lo dicho en capítulos anteriores. Este potrero podría estar sufriendo un proceso de degeneración de la materia orgánica. Este concepto está muy vinculado a las raíces de cada tratamiento, pero más aún a la evolución de las mismas, que desgraciadamente no se tienen datos, pero es posible sugerirlas con datos relacionados, como los anteriormente expuestos.

Es importante recalcar que los resultados obtenidos de cantidad y peso de raíces no son únicamente de las especies sembradas, sino que, debido al nivel de enmalezamiento, parte de este valor corresponde al aportado por estas últimas. A continuación, se expone el cuadro de cantidad de raíces según estrato y una gráfica que ilustra el peso de las mismas, también por estrato y tratamiento.

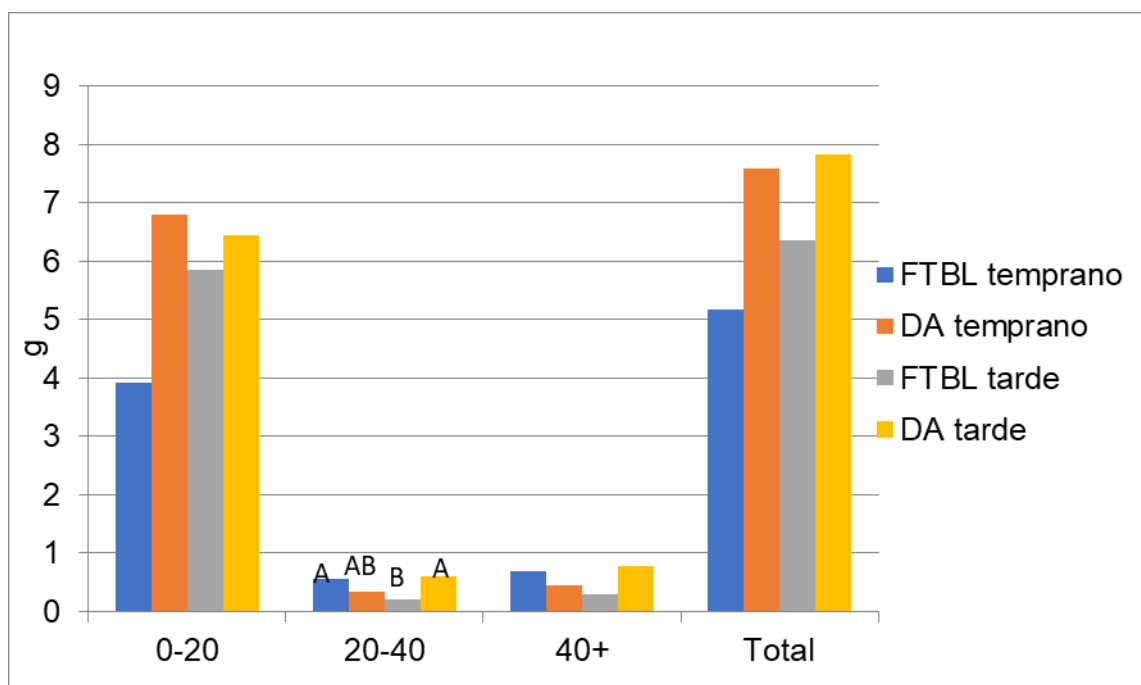


Figura No. 17. Peso promedio de raíces en cada estrato de suelo y según tratamiento

Los tratamientos con *Festuca arundinacea* son inferiores en el peso total de raíces y el correspondiente a los primeros 20cm de suelo frente a los que contienen *Dactylis glomerata* en su mezcla. Esto es debido fundamentalmente al estado general de las mezclas. Las primeras están más deterioradas. El estado de deterioro ya se mencionó en capítulos anteriores y se puede corroborar en el primer cuadro de esta sección. Son los tratamientos con más porcentajes y kg de MS por hectárea de malezas. Estas especies se caracterizan por poseer una gran relación parte aérea/subterránea. Este concepto y el bajo aporte de las especies sembradas estarían explicando el resultado frente a las mezclas de dactylis y alfalfa.

En el estrato 20-40 cm se encontraron diferencias significativas siendo festuca-tarde el tratamiento diferente frente a los otros tres. A lo largo del análisis fue el tratamiento con niveles inferiores a los otros y en este caso no es la excepción.

Con respecto a los tratamientos que contienen *Dactylis glomerata*, existe una diferencia numérica en el peso de estas, en el sector de suelo 0-20cm, a favor del tratamiento temprano; pero luego se da lo contrario, al mirar el total en gramos de raíces del perfil. Este comportamiento podría deberse a la composición florística de las malezas en cuestión de cada tratamiento, o también, a raíces pivotantes de alfalfa que exploran en profundidad en el caso de el tratamiento tardío, que presenta mayores pesos en estratos inferiores. Lo importante radica que el total de peso de raíces favorece al tratamiento dactylis-tardío. Esto se debe fundamentalmente al estado de la mezcla, al igual que ocurre con los tratamientos que contienen *Festuca arundinacea*. Si se observan los porcentajes de suelo descubierto entre estos dos tratamientos (DA-tem. y DA-tar.), y el disponible, traducido a raíces de malezas y especies sembradas, se verifica que probablemente la cantidad de raíces sea más alta en el tratamiento tardío.

Cuadro No. 14. Cantidad de raíces por estrato según tratamiento

Tratamiento	0-20	20-40	Final	Largo
Festuca tem.	60	37 a	18 b	98
Dactylis tem.	65	36 a	36 a	89
Festuca tar.	54	29 b	13 b	101

Dactylis tar.	55	37 a	18 b	98
---------------	----	------	------	----

Los resultados obtenidos concuerdan con lo expresado por Muslera y Ratera (1984), que señalan que la mayor parte de las raíces se desarrollan en la capa superficial del terreno.

En la cantidad de raíces en el sector 20-40 hay diferencias significativas dejando a festuca-tarde en la posición más baja. Esto se debe a lo explicado anteriormente, pero además el análisis arrojó diferencias entre las variables mezcla y fecha favoreciendo a tratamientos con *Dactylis glomerata* y fechas tempranas. Esto podría deberse a que los tratamientos con esta especie mantienen más porcentaje de especies sembradas frente a la otra mezcla; y los tratamientos tempranos podrán estar arrastrando un mejor comportamiento debido a su mejor implantación (Gomes de Freitas y Klaassen, 2011).

En el caso de la cantidad de raíces, en este potrero se encuentra un comportamiento diferente al encontrado en el 35. Además de que se involucran especies nuevas, el suelo en este caso es más profundo y pesado. Estas características hacen a un perfil de cantidad de raíces descendente a razón de la profundidad. La cantidad y peso de raíces involucran tanto a las especies sembradas como a las especies no deseadas.

#### 4.3.2 Densidad aparente

##### 4.3.2.1 Potrero 32b

La siguiente gráfica muestra los valores obtenidos para la densidad aparente en los distintos tratamientos.

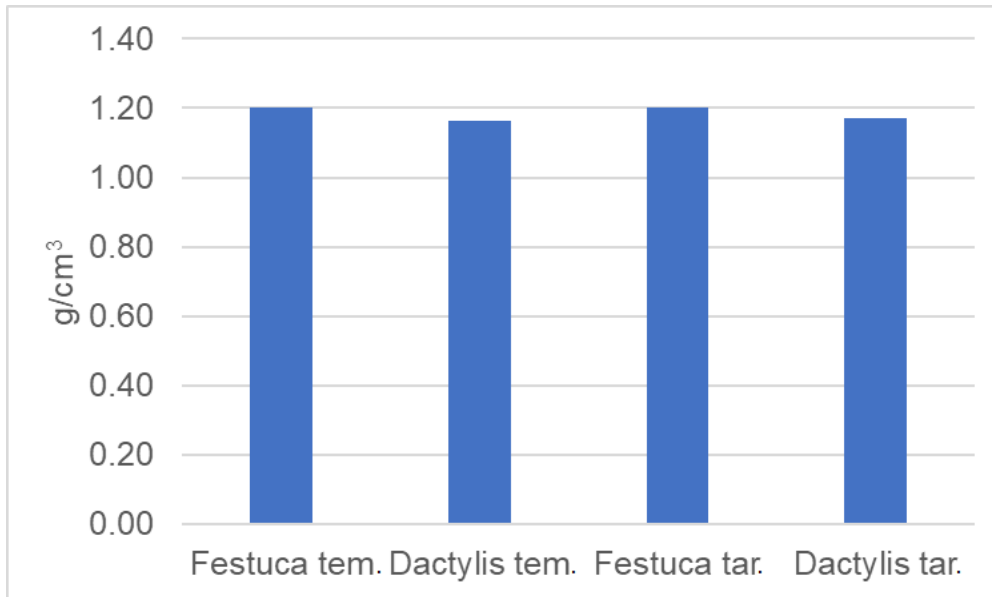


Figura No. 18. Densidad aparente para el potrero 32b

Para este experimento se evaluó la densidad aparente en función de diferentes mezclas y fechas de siembra. No se encontraron diferencias para ninguno de los tratamientos. Como se observó con anterioridad, la densidad aparente de un suelo depende de varios factores: de la fuerza mecánica del suelo, su densidad aparente original, el contenido de humedad y materia orgánica, y la fuerza del tapiz vegetal. Por lo tanto, son numerosas las razones para que no se encuentren diferencias entre los tratamientos.

Las condiciones en las que las mediciones fueron realizadas son de moderada humedad en el suelo, en el verano. Esto puede condicionar a que el suelo no se haya enfrentado a condiciones de alto estrés compactante, en donde tal vez sí se podrían haber evidenciado posibles diferencias en la fuerza de los distintos tapices vegetales para soportar el daño de las pezuñas bajo pastoreo.

El contenido de materia orgánica tiene una alta correlación con la densidad aparente, especialmente en suelos con bajo contenido de carbono. Durán y García Prechác (2007) encontraron una alta correlación con la densidad aparente para suelos con un rango de contenido de carbono (1,48 y 1,9%). Por lo tanto, es esperable que para los suelos que se están comparando en este experimento, cuyos contenidos de carbono orgánico son mayores y sus diferencias entre los tratamientos son pocas, que no haya diferencias entre las densidades aparentes.

#### 4.3.2.2 Potrero 35

La siguiente gráfica muestra la densidad aparente para los distintos tratamientos en el potrero 35

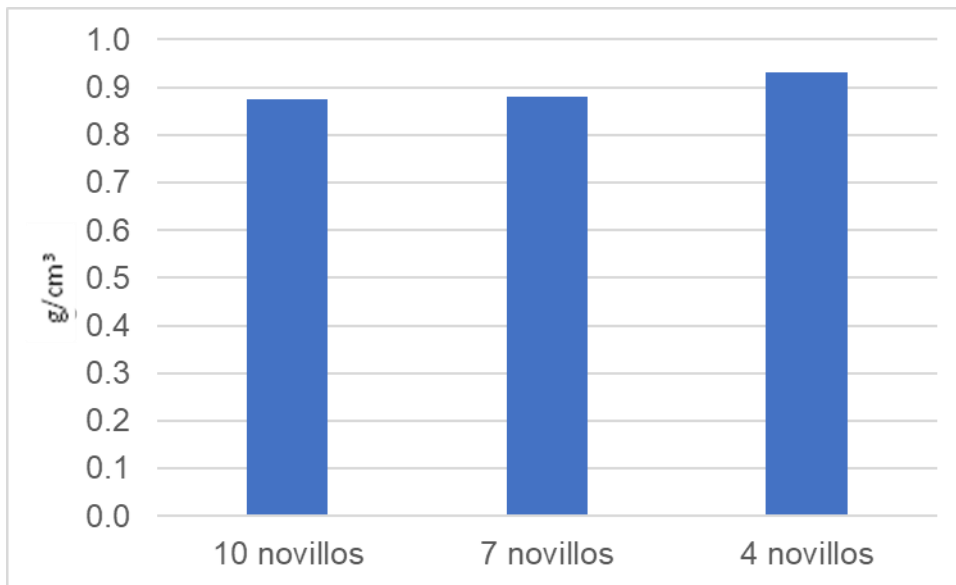


Figura No. 19. Densidad aparente para el potrero 35

Si bien es considerable esperar que haya un efecto de la dotación del ganado sobre la densidad aparente del suelo, no se registraron diferencias significativas para los distintos tratamientos. Es conocido que el pisoteo puede causar daño estructural a las capas superficiales del suelo, modificando características físicas tales como densidad aparente, agregación y distribución de la porosidad. Los suelos arcillosos, limosos mal estructurados, y aquellos con alto contenido de materia orgánica, son fácilmente afectados por el pisoteo en condiciones húmedas (Frame, 1982). Sin embargo, las mediciones de densidad aparente se realizaron bajo condiciones de baja humedad en el suelo, lo cual pudo ocasionar que no haya diferencias entre los distintos tratamientos en esta época del año.

Por otro lado, si bien las cargas en este experimento son elevadas, las cargas instantáneas no lo son, llegando apenas a 10 UG/ha en las parcelas más pequeñas y con mayor cantidad de animales, y con un mínimo de 1,77 UG/ha en las parcelas más grandes y con menos novillos. En adición, las parcelas tienen zonas altas y zonas bajas, por lo tanto es probable que cuando se den las condiciones de humedad que podrían causar una mayor

compactación en el suelo, los animales prefieran ubicarse en lugares más secos del terreno.

Mullen, citado por Frame (1982), en un trabajo realizado con cargas de 0, 2 y 6 novillos por hectárea, obtiene resultados similares de densidad aparente para los distintos tratamientos. Sin embargo, al evaluar la resistencia a la penetración, si se evidencian diferencias entre los distintos tratamientos, habiendo una mayor penetración en el caso en el que la carga es 0.

Nabinger et al. (2008), en un experimento sobre una pastura natural de Rio Grande do Sul con ofertas de forraje de 4, 8, 12 y 16%, observaron los efectos sobre las propiedades físicas del suelo; encontrando diferencias más marcadas para la densidad aparente, en los niveles más superficiales del suelo. En el presente trabajo, sólo se realizaron medidas de densidad aparente para los primeros 20cm del suelo, lo cual puede haber determinado que no se encuentren diferencias significativas para esta variable.

### 4.3.3 Infiltración

#### 4.3.3.1 Potrero 32b

En este experimento no se observaron diferencias entre los distintos tratamientos, ya sea con respecto a las distintas mezclas utilizadas, o las distintas fechas de siembra. Sin embargo, cuando se evalúa la interacción entre tratamientos, sí se evidencia una diferencia significativa entre las distintas combinaciones.



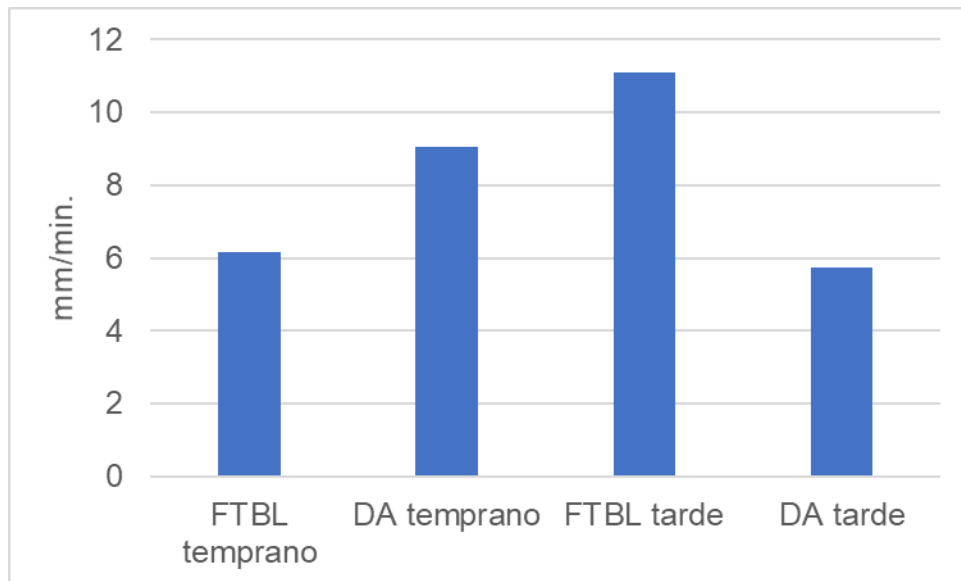


Figura No. 20. Velocidad de infiltración potrero 32b

Estas diferencias en la interacción pueden estar debidas a que se trata de una pradera de cuarto año, y los diferentes tratamientos pueden haber evolucionado de distintas formas determinando estas diferencias en la infiltración. Por lo tanto, es necesario evaluar cómo se compone la pradera al momento en que se realizan las mediciones.

En un experimento, realizado por Aldeta et al. (2014), se evaluó la producción estivo-otoñal de esta pradera en el año de estudio. El siguiente cuadro muestra la composición botánica de la pradera en el período estudiado.

Cuadro No. 15. Composición botánica disponible porcentual (%) para cada tratamiento

Tratamiento	Disp. gram. (%)	Disp. leg. (%)	Disp gram. + leg. (%)	Disp. malezas (%)	Disp. restos secos (%)
FTBL tardío	11,8ab	0,6 b	12,4 c	79,3 a	9,3 a
DA tardío	6,5 b	14,5 a	21 b	77,5 a	1,5 c
FTBL temp.	15,5a <sup>a</sup>	0,5 b	15,9 c	82 a	2,5 bc
DA temp.	15,5 a	20,5 a	36,1 a	57,8 b	6 ab

Fuente: Aldeta et al. (2014).

Como se puede apreciar, la cantidad de malezas para todos los tratamientos es muy alta, por lo que las especies de las mezclas en evaluación van a tener mucho menos incidencia sobre los resultados.

Stewart (2009) señalaba que mantener el suelo cubierto de residuos es aún más importante que la formación de canales de raíz a la hora de mantener una buena infiltración. Por lo tanto, tiene sentido la correlación que se observa entre la disponibilidad de restos secos y las velocidades de infiltración encontradas.

Por otro lado, Martino (2001) señala una superioridad en el sistema radicular de alfalfa con respecto al de festuca y trébol blanco para generar una mayor capacidad de infiltración de agua. Esta tendencia no fue observada en los resultados de este experimento, ya que no se encontraron diferencias entre mezclas. Además, debido a la muy baja disponibilidad de leguminosas que se observaron en los tratamientos de festuca, trébol blanco y lotus, se puede decir que no hubo una incidencia significativa de las raíces de lotus.

Otro factor que puede estar contribuyendo a las diferencias observadas en velocidad de infiltración es la disponibilidad de malezas. Para este potrero y al momento de realizar la medición el enmalezamiento consistía mayormente en gramíneas estivales de ciclo C<sub>4</sub> o especies arbustivas como *Digitaria sanguinalis*, *Sida spp.*, *Verbena sp.*, cuyos sistemas radiculares muy desarrollados generan canales de raíz. Entre ellas el *Sorghum halepense* puede tener una gran influencia ya que sus rizomas podrían estar generando condiciones en el suelo que favorezcan la velocidad de infiltración.

#### 4.3.3.2 Potrero 35

Para la medición de la velocidad de infiltración en este potrero, se utilizaron volúmenes de agua superiores a los agregados en el potrero 32b, y la velocidad con la que la misma infiltró en el perfil también fue mayor. Esto puede causar que los datos obtenidos sean más atípicos, ya que, al enfrentarnos con un suelo con una deficiencia hídrica muy acentuada, cualquier agrietamiento puede causar diferencias remarcables en la velocidad a la que el agua va a infiltrar.

Sin embargo, las mediciones de infiltración en este potrero sí arrojaron resultados en los que se evidencian diferencias significativas entre los distintos tratamientos. En la siguiente gráfica se observa la velocidad de infiltración para los distintos tratamientos.

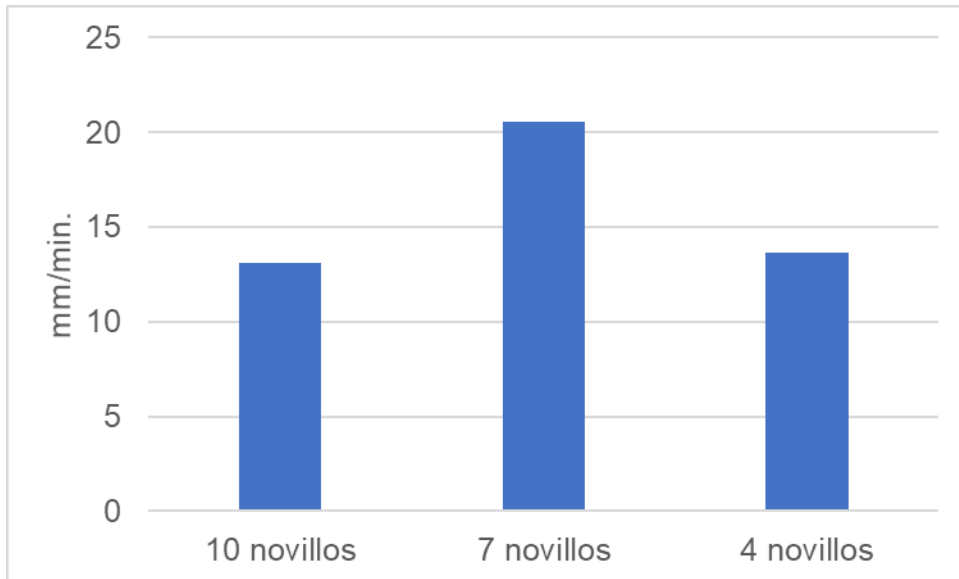


Figura No. 21. Velocidad de infiltración potrero 35 según carga

Como se observó anteriormente, las principales causas de una mayor velocidad de infiltración son la estructura del suelo, la vegetación en superficie y los sistemas radiculares. En este sentido, al observar estos resultados cabe preguntarse cuál es el motivo que podría estar llevando a que el tratamiento de 7 novillos tenga mayores velocidades de infiltración.

En primera instancia, es conocido que la producción de forraje de una pastura se maximiza balanceando las cargas, ya que lo ideal es mantenerse cercano al IAF óptimo. Agustoni et al. (2008), trabajando en una pradera de raigrás, trébol blanco y *Lotus corniculatus* de segundo año, observaron que la producción de materia seca se maximizaba para asignaciones de forraje del entorno de 6,8% del peso vivo. Si se considera que el tratamiento de 7 novillos correspondió a una asignación de forraje de 5,6% para el período invierno-primaveral (García Pintos y Orticochea, 2014) y 4,7% para el período estivo-otoñal<sup>1</sup> anteriores al momento en que se realizaron las mediciones, se puede decir que se encuentra en rangos muy cercanos al óptimo para la producción de materia seca.

Por lo tanto, se puede considerar que el tratamiento en el que las parcelas fueron pastoreadas por 7 novillos, la producción de la pastura a lo largo del experimento fue mayor, lo cual permitió una mayor acumulación de biomasa y una mayor actividad biológica en el suelo desencadenando al

<sup>1</sup> Fontes, J.; Umpierrez, M. 2014. Efecto de la dotación sobre la producción de forraje y carne (sin publicar).

momento en que se realizaron las mediciones, en una mayor velocidad de infiltración.

Por otro lado, una causa que puede haber influenciado en los resultados es el desarrollo radicular de las especies en cada tratamiento. Para el caso de la festuca, como se observó anteriormente, es recomendado no permitir el encañado, ya que el mismo detiene la formación de macollas y el desarrollo del sistema radicular va debilitando a la planta (García, 2003). Esto podría explicar la menor velocidad de infiltración que se obtuvo en el tratamiento con 4 novillos.

El desarrollo radicular también se deprime cuando el pastoreo es muy intenso, Muslera y Ratera (1984) plantean que una reducción de la parte aérea por defoliación produce la muerte de parte del sistema radicular. Por lo tanto, en el tratamiento con una menor asignación de forraje el desarrollo del sistema radicular se podría ver resentido a causa de un pastoreo más intenso.

Siguiendo este razonamiento, el tratamiento con 7 novillos por parcela debería tener una mayor cobertura de la superficie por parte de la festuca debido a una mayor cantidad de macollas, con fuertes sistemas radiculares que podrían estar explicando en parte la mayor velocidad de infiltración que se observa en este tratamiento.

#### 4.4. CONSIDERACIONES FINALES

El tratamiento de menor carga mostró niveles de COS por debajo al de mayor carga. Estos resultados podrían estar explicados por un aumento en la relación de materia seca aérea/subterránea provocado por competencia por la luz, generando un detrimento del crecimiento radicular.

Los niveles de carbono son equiparables con los encontrados años atrás, pero en el experimento con diferentes mezclas fueron menores, encontrándose diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, que podrían ser explicados fundamentalmente por el estado de las praderas.

Los niveles de fósforo entre experimentos fueron contrastantes. En el potrero 35 los niveles de  $P_2O_5$  fueron parecidos a los logrados años atrás pero estuvieron afectados por las diferentes cargas manejadas surgiendo diferencias significativas debido básicamente a la presión de pastoreo sobre las especies y el comportamiento productivo de las mismas.

En el experimento de mezclas y fechas de siembra los niveles fueron inferiores y diferentes significativamente entre los tratamientos. Los niveles

podrían estar influidos por la evolución del COS en ese período debido a que gran parte del fósforo orgánico presente no se hace disponible en el análisis Bray I debido a la posible involución de carbono que estaba sufriendo el suelo.

Los niveles de potasio no difirieron entre tratamientos de los diferentes experimentos. Se observó que los valores obtenidos están estrechamente relacionados a las características edáficas que afectan la CIC del suelo. Se encontró que los niveles promedio de COS se encuentran relacionados con los de potasio intercambiable observándose una mayor cantidad de potasio disponible en función de la mayor materia orgánica presente en el suelo. Es decir, los valores de potasio son función de los obtenidos en COS.

Con relación a la cantidad y peso de raíces, en el experimento de carga, el factor cantidad de raíces es el determinante del peso total encontrado, y las diferencias encontradas entre los tratamientos se deben a las consecuencias que genera la carga manejada en las características de la pastura como son el peso y cantidad de macollos, influidas también por el ambiente edáfico.

En el experimento de mezclas y fechas de siembra se encuentran diferencias significativas fundamentalmente en la cantidad debido al estado de las diferentes mezclas, la proporción de malezas y especies sembradas, sumado al efecto de la implantación de las pasturas favoreciendo las fechas tempranas.

La densidad aparente no mostró diferencias para ninguno de los tratamientos, posiblemente debido a las cargas instantáneas relativamente bajas en las que se manejaron los experimentos, así como las condiciones de baja humedad en el suelo a la hora de realizar las mediciones.

Tanto en el experimento de diferentes cargas, como en el de distintas mezclas, se observaron diferencias significativas para los distintos tratamientos en la velocidad de infiltración de agua en el suelo. En el potrero 35, las velocidades de infiltración fueron menores en los tratamientos con carga más elevada, o más baja; y superiores en el tratamiento de carga intermedia. Esto posiblemente esté explicado porque esta carga esté potenciando la producción de la pastura, beneficiando la generación de macollas, y fomentando un buen desarrollo radicular.

Para el tratamiento con distintas mezclas, se observó que los factores que más influyeron en la velocidad de infiltración fueron la disponibilidad de restos secos en superficie y el nivel y tipo de enmalezamiento. Con una mayor cantidad de restos secos en superficie, la velocidad de infiltración aumenta.

También el nivel de enmalezamiento con especies C<sub>4</sub> y arbustivas influyó positivamente en la velocidad de infiltración.

## 5. CONCLUSIONES

El sistema animal pastura, más concretamente la carga manejada, afecta de forma positiva o negativamente dependiendo del nivel de la misma. Es posible encontrar un óptimo en el que la pastura logre un sistema sustentable desde el punto de vista biológico y económico, de manera de conservar las propiedades físico químicas del suelo. En el experimento, ésta carga se encontró en 1,52 UG/ha.

El tipo de mezcla y estado de las mismas a lo largo del tiempo son evidentemente responsables en las variaciones de las propiedades físico químicas del suelo. La fecha de siembra determina parte de la capacidad de implantación y por lo tanto el estado inicial de la pradera que favorecerá, o no, desde el principio a que ocurran estas transformaciones. En este experimento se evidencia que las fechas tempranas estarían siendo las más adecuadas.

Las mayores diferencias en los diferentes niveles de las propiedades químicas evaluadas en los dos experimentos se dieron entre distintas profundidades dentro del suelo. El estrato superior obtuvo niveles mayores de todas ellas, esto da la pauta de que los procesos de transformación se dan principalmente en este sector del suelo, donde se encuentra la mayor cantidad de biomasa y se generan la mayor cantidad de entradas y salidas del sistema.

Se encontró un alto grado de asociación entre el carbono orgánico y el nivel de potasio en el suelo, independientemente de la dotación y mezcla utilizada.

El análisis realizado debería extenderse en el tiempo para poder reducir los efectos ambientales que enmascaran posibles resultados y así poder tener una mirada más a largo plazo de cómo operan las variables en estudio sobre las características del suelo.

## 6. RESUMEN

El experimento fue realizado en los potreros 32b y 35 de la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni (EEMAC), Facultad de Agronomía, Universidad de la República; Paysandú, Uruguay, más concretamente ubicado sobre la ruta nacional No. 3, Km 363. El período de trabajo fue entre el 1/12/2013 y el 25/3/2014. El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar. El primer potrero está compuesto por dos bloques con cuatro tratamientos cada uno. El otro potrero contiene 3 bloques con 3 tratamientos. En el potrero 32b los tratamientos corresponden a dos mezclas forrajeras de 3er año, *Dactylis glomerata* y *Medicago sativa*, y *Festuca arundinacea*, *Trifolium repens* y *Lotus corniculatus*, con diferentes fechas de siembra, temprana (17 de mayo) y tardía (14 de junio), generando un total de cuatro tratamientos. En el segundo potrero existe sólo una mezcla y los tratamientos corresponden a las diferentes cargas animales, siendo las mismas de 0,87, 1,52 y 2,17 unidades ganaderas. En los dos potreros existen animales pastoreando de forma rotativa. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de estos tratamientos sobre las propiedades físico-químicas del suelo. Para ello se evaluaron las variables: porcentaje de carbono, nivel de fósforo y potasio, densidad aparente, velocidad de infiltración, cantidad y peso de raíces. Haciendo referencia a los resultados obtenidos, en la variable nivel de COS, hubo diferencias significativas en el estrato 0-5 y en los 20 cm totales para el experimento de mezclas y fechas de siembra, la variación en la carga no arrojó diferencias. En el caso del nivel de fósforo, en el experimento de carga se distinguieron niveles significativamente diferentes en los estratos 5-10, 10-20 y considerando los 20 cm totales, mientras que en el experimento de mezclas también existieron diferencias en todos los estratos, explicado por el efecto interacción. En el contenido de potasio en el suelo no se encontraron diferencias en ninguno de los tratamientos de los dos experimentos, aunque se distinguieron diferencias numéricas que tendrían coherencia con otros valores en estudio. Al analizar el desarrollo radicular las diferencias más marcadas se dieron en el factor cantidad, más que en el peso, tanto en el experimento de diferentes cargas como en el de diferentes mezclas. Con respecto a las propiedades físicas del suelo, no se observaron diferencias en la densidad aparente dentro de los experimentos, sin embargo, la infiltración sí tuvo diferencias significativas entre tratamientos.

Palabras clave: Propiedades físico-químicas; Mezclas forrajeras; Fecha de siembra; Carga animal.



## 7. SUMMARY

The present study was held in paddocks 32b and 35 from Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni” (Facultad de Agronomía, Universidad de la República; Paysandú, Uruguay), in the period between 12/01/2013 and 03/25/2014. The experimental design used was completely randomized blocks. The first paddock is composed by two blocks with four treatments each one. The second one has three blocks with three treatments each one. In paddock 32b, the treatments correspond to two different forage mixtures on their third year: *Dactylis glomerata* with *Medicago sativa*, and *Festuca arundinacea*, *Trifolium repens* and *Lotus corniculatus*, with two different sowing dates: early (may. 17<sup>th</sup>.) and late (jun.14<sup>th</sup>.); making a total of four different treatments. In the second paddock there is only one forage mixture, and the treatments correspond to three different animal stockings, which are 0,87, 1,52 y 2,17 UG/ha. In both paddocks the animals are grazing in a rotational method. The main objective of this study was to evaluate the effect of these treatments over the physical and chemical properties of the soil. For this purpose the variables evaluated were: carbon percentage, phosphorus and potassium levels, quantity and weight of roots, bulk density and infiltration rate. According to the results obtained, in soil organic carbon, there were significant differences in the 0-5 cm layer and in the whole first 20 cm on the mixtures and sowing dates experiment; different stockings didn't throw any differences in carbon levels. For the phosphorus level, there were significantly different results for the 5-10, 10-20 and 0-20 cm layers, while in the other experiment the differences were found in all the layers. In potassium content there weren't find any differences between treatments in both experiments, although there were distinguished numeric differences that would be in concordance with other values in this study. When analyzing the root development, the strongest differences were in the quantity and not in the weight, on both experiments. With regards to the soil's physical properties, there were no significant differences in bulk density, while infiltration rate did had significant differences between treatments for both experiments.

Keywords: Physicochemical properties; Forage mixtures; Planting date; Stocking.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. Abella Faguaga, M.; Nin García, A. 2003. Evolución en las formas y contenidos de fósforo del suelo bajo sistemas de rotaciones de pasturas y cultivos con laboreo convencional y siembra directa. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 71 p.
2. Aguado Lara, G.; Etchevers Barra, J. D.; Hidalgo Moreno, C.; Galvis Spínola, A.; Aguirre Gómez, A. 2002. Dinámica del potasio en suelos agrícolas. *Agrociencia*. 36: 11-21.
3. Agustoni, F.; Bussi, C.; Shimabukuro, M. 2008. Efectos de la asignación de forraje sobre la productividad de una pastura de segundo año. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 80 p.
4. Aldeta, R.; Constantín, F.; Laxalde, J. 2014. Efecto de la fecha de siembra y mezclas forrajeras sobre la producción estivo-otoñal en praderas de cuarto año. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 87 p.
5. Altamirano, A.; da Silva, H.; Durán, A.; Panario, U.; Puentes, R. 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay: clasificación de suelos. Montevideo, Uruguay, MAP. DSF. t.1, 96 p.
6. Altier, N. 1996 Impacto en las enfermedades en la producción de pasturas. In: Risso, D. F.; Berretta, E. J.; Morón, A. eds. Producción y manejo de pasturas. Montevideo, Uruguay, INIA. pp. 47-56 (Serie Técnica no. 80).
7. Almada, S.; Palacios, M.; Villalba, S.; Zipitría, G. 2007. Efectos de la asignación de forraje y la suplementación sobre la productividad de una pastura de raigrás perenne, trébol blanco y *Lotus corniculatus*. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 100 p.
8. Arnold, G. W. 1981. Grazing behavior. In: Morley, F. H. W. ed. Grazing animals. Amsterdam, Elsevier. pp. 79-104.
9. Ayala, W.; Bemhaja, M.; Cotro, B.; Docanto, J.; García, J.; Olmos, F.; Real, D.; Rebuffo, M.; Reyno, R.; Rossi, C.; Silva, J. 2010. Forrajeras: catálogo de cultivares 2010. Montevideo, Uruguay, INIA. 131 p.

10. Barnes, D. K.; Scheaffer, C. C. 1995. Alfalfa. In: Barnes, R. F.; Miller, D. A.; Nelson, C. J. eds. Forages: an introduction to grassland agriculture. 5<sup>th</sup>. ed. Ames, IA, Iowa State University Press. v.1, cap. 16, pp. 206-211.
11. Bautes, C. D.; Zarza, A. 1982. Comportamiento de tres mezclas forrajeras en suelos sobre Libertad, Fray Bentos y Cretácico. Investigaciones Agronómicas. 3 (1): 41-45.
12. Baver, L. D. 1935. Factors contributing to the genesis of soils microstructure. American Soil Survey Association Bulletin. 16: 55-56.
13. \_\_\_\_\_; Gardner, H.; Gardner, W. R. 1973. Física de suelos. 4<sup>a</sup>. ed. México, CRAT. 539 p.
14. Beguet, H. A.; Bavera, G. A. 2001. Fisiología de la planta pastoreada. (en línea). In: Curso de Producción Bovina de Carne (2001, Río Cuarto, Córdoba, Argentina). Textos. Río Cuarto, Córdoba, UNRC. FAV. s.p. Consultado nov. 2014. Disponible en [http://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/pastoreo%20sistemas/04-fisiologia\\_de\\_la\\_planta\\_pastoreada.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pastoreo%20sistemas/04-fisiologia_de_la_planta_pastoreada.pdf)
15. Bignoli, D.; Marisco, O. 2005. Pasturas: implantación, manejo y control de malezas. Buenos Aires, Orientación Gráfica. 160 p.
16. Black, C. A. 1975a. Relaciones suelo-planta. Buenos Aires, Hemisferio Sur. v.1, 444 p. (Colección de textos de agronomía y veterinaria no. 12).
17. \_\_\_\_\_. 1975b. Relaciones suelo-planta. Buenos Aires, Hemisferio Sur. v.2, 420 p. (Colección de textos de agronomía y veterinaria no. 12).
18. Blaser, R. E.; Hammes, R. C.; Bryant, H. T.; Hardison, W. A.; Fontenet, J. P.; Engel, R. W. 1960. The effect of selective grazing on animal output. In: International Grassland Congress (8th., 1960, Reading). Proceedings. Reading, University of Reading. pp. 601 - 606.
19. Brougham, R. W. 1956. Effect of intensity of defoliation on regrowth of pasture. Australian Journal of Agricultural Research. 7 (5): 377-387.

20. Calviño, P.; Echeverría, H.; Redolatti, M. 2000. Estratificación de fósforo en el suelo y diagnóstico de la fertilización fosfatada en trigo en siembra directa. (en línea). s.n.t. s.p. Consultado nov. 2014. Disponible en <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiRj6LBiO3kAhW-K7kGHQh9CT0QFjACegQIAhAC&url=http%3A%2F%2Fwww.ipni.net%2Fpublication%2Fia-lacs.nsf%2F0%2F2B4DD9BF958CBB0D8525799C0058CD97%2F%24FILE%2FP%2520SD%2520TRIGO%2520Calvi%25C3%25B1o.doc&usg=AOvVaw3Vf5DyPfbZMb8x4dXW9At>
21. Cangiano, C. A.; Escuder, C.; Galli, J.; Gómez, P.; Rosso, O. 1996. Producción animal en pastoreo. Buenos Aires, INTA Balcarce. s.p.
22. \_\_\_\_\_. 1997. Consumo en pastoreo. Factores que afectan la facilidad de cosecha. In: Cangiano, C. ed. Producción animal en pastoreo. Buenos Aires, INTA. Estación Agropecuaria Experimental Balcarce. pp. 41 – 64.
23. Carámbula, M. 1977. Producción y manejo de pasturas sembradas. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. 464 p.
24. \_\_\_\_\_. 1991. Aspectos relevantes para la producción forrajera. Montevideo, Uruguay, INIA. 46 p. (Serie Técnica no. 19).
25. \_\_\_\_\_. 2002a. Pasturas y forrajeras: insumos, implantación y manejo de pasturas. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. t. 2, 371 p.
26. \_\_\_\_\_. 2002b. Pasturas y forrajes: potenciales y alternativas para producir forraje. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. t.1, 357 p.
27. \_\_\_\_\_. 2004. Pasturas y forrajes: manejo, persistencia y renovación de pasturas. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. t.3, 413 p.
28. \_\_\_\_\_. 2008. Pasturas y forrajes: insumos, implantación y manejo de pasturas. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. t.2, 371 p.
29. \_\_\_\_\_. 2010a. Pasturas y forrajes: potenciales y alternativas para producir forraje. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. t.1, 357 p.
30. \_\_\_\_\_. 2010b. Pasturas y forrajes: insumos, implantación y manejo de pasturas. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. t.2, 371 p.

31. \_\_\_\_\_. 2010c. Pasturas y forrajes: manejo, persistencia y renovación de pasturas. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. t.3, 413 p.
32. Casanova, O. 1996. Potasio: consideraciones sobre su situación en el Uruguay. *In*: Morón, A.; Martino, D.; Sawchik, J. eds. Manejo y fertilidad de suelos. Montevideo, Uruguay, INIA. pp. 57-61 (Serie Técnica no. 76).
33. Castro, M.; Altier, N.; Pereyra, S.; Stewart, S.; Vera, M.; Cardozo, V.; Rodriguez, M. 2012. Leguminosas: alfalfa (*Medicago sativa*): cultivares evaluados en La Estanzuela, Uruguay, durante 2011. *In*: Resultados experimentales de la evaluación nacional de cultivares de especies forrajeras. Montevideo, Uruguay, INIA. pp. 52-57.
34. Clarke, E. A. 1983. Manejo de pasturas. (en línea). s.n.t. s.p. Consultado nov. 2014. Disponible en [http://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/pastoreo%20sistemas/03-manejo\\_de\\_pasturas.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pastoreo%20sistemas/03-manejo_de_pasturas.pdf)
35. Colozzi Filho, A.; De Souza Andrade, D.; Liborio Balota, E. 2001. Comunidad microbiana en suelos en siembra directa. *In*: Díaz Roselló, R. ed. Siembra directa en el cono Sur. Montevideo, Uruguay, PROCISUR. pp. 407-418.
36. Cubillos, G. F.; Mott, G. O. 1969. La influencia de la presión de pastoreo sobre la producción de carne de novillos en praderas de alfalfa y bromo. *Agricultura Técnica*. 29 (4): 178-185.
37. Dalley, D. E.; Roche, J. R.; Grainger, C.; Moate, P. J. 1999. Dry matter intake, nutrient selection and milk production of dairy cows grazing rainfed perennial pasture at different herbage allowances in spring. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 39 (8): 923-931.
38. Darwin, C. 1881. The formation of vegetable mould, through action of worms, with observations on their habits. London, Murray. 352 p.
39. De León, M. 2007. Interacciones "pastura-animal". INTA. Estación Experimental Agropecuaria Manfredi. Cuadernillo clásico de forrajeras no. 135. 2 p.
40. DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs, UK). 2007. Scoping study to assess soil compaction affecting upland and lowland grassland in England and Wales. (en línea). Cranfield, Cranfield University. 106 p. Consultado nov. 2014. Disponible en

<http://randd.defra.gov.uk/Default.aspx?Menu=Menu&Module=More&Location=None&Completed=0&ProjectID=14699>

41. Denoia, J.; Sosa, O.; Zerpa, G.; Martín, B. 2000. Efecto del pisoteo animal sobre la velocidad de infiltración y sobre otras propiedades físicas del suelo. *Revista de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*. 30 (1):129-141.
42. Díaz Lago, J.; García, J.; Rebuffo, M. 1996. Crecimiento de leguminosas en La Estanzuela. Montevideo, Uruguay, INIA. 17 p. (Serie Técnica no. 71).
43. Díaz Zorita, M. 2002. Ciclado de nutrientes en sistemas pastoriles. (en línea). s.l., Sitio Argentino de Producción Animal. 11 p. Consultado 19 may. 2015. Disponible en [http://www.produccion-animal.com.ar/suelos\\_ganaderos/52-ciclado\\_nutrientes.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/suelos_ganaderos/52-ciclado_nutrientes.pdf)
44. Durán, A.; García Préchac, F. 2007. Suelos del Uruguay: origen, clasificación, manejo y conservación. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. v. 2, 358 p.
45. Ernst O.; Siri, G. 2009. Manejo del suelo y rotación con pasturas; efecto sobre rendimiento de los cultivos, su variabilidad y el uso de insumos. *In: Simposio Nacional de Agricultura de Secano (1º., 2009, Paysandú). Trabajos presentados. Paysandú, Facultad de Agronomía. pp. 125-140.*
46. Fariña, M. F.; Saravia, R. 2010. Evaluación de la productividad de mezclas forrageras bajo pastoreo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 83 p.
47. Foglino, F.; Fernández, J. 2009. Efecto del periodo de ocupación de pastoreo en la productividad de una pastura de primer año de raigrás perenne, trébol blanco, *Lotus corniculatus* y agropiro. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 78 p.
48. Formoso, F. 1993. *Lotus corniculatus*: performance forrajera y características agronómicas asociadas. Montevideo, Uruguay, INIA. 20 p. (Serie Técnica no. 37).
49. \_\_\_\_\_. 1995. Bases morfológicas y fisiológicas del manejo de pasturas. *In: Risso, D. F.; Berretta, E. J.; Moron, A. eds.*

Producción y manejo de pasturas. Montevideo, Uruguay, INIA. pp. 1-19 (Serie Técnica no. 80).

50. \_\_\_\_\_. 2000. Manejo de la alfalfa para producción de forraje. In: Rebuffo, M.; Risso, D. F.; Restaino, E. eds. Tecnología en alfalfa. Montevideo, Uruguay, INIA. pp. 53-74 (Boletín de Divulgación no. 69).
51. \_\_\_\_\_. 2011. Manejo de mezclas forrajeras y leguminosas puras. Producción y calidad del forraje. Efectos del estrés ambiental e interferencia de gramilla (*Cynodon dactylon*, (L) PERS). Montevideo, Uruguay, INIA. 302 p. (Serie Técnica no. 188).
52. Frame, J. 1982. Manejo tendiente a mantener la productividad de las pasturas. Efectos de los animales sobre las pasturas. In: García, J. ed. Persistencia de pasturas mejoradas. Montevideo, Uruguay, Programa Cooperativo de Investigación Agrícola. pp. 53-69.
53. \_\_\_\_\_. 1996. Forage legumes for temperate grasslands. Plymouth, FAO/Science Publishers. 309 p.
54. García, J. A.; Millot, J. C. 1978. Estanzuela Tacuabé, primera variedad de *Festuca arundinacea* creada para el Uruguay. Revista de la Asociación Ingenieros Agrónomos del Uruguay. (2ª. época). 9: 33-36.
55. \_\_\_\_\_.; Rebuffo, M.; Formoso, F. 1991. Las forrajeras de La Estanzuela. Montevideo, Uruguay, INIA. 15 p. (Boletín de Divulgación no. 7).
56. \_\_\_\_\_. 1995a. *Dactylis glomerata* L. INIA LE OBERÓN. Montevideo, Uruguay, INIA. 11 p. (Boletín de Divulgación no. 49).
57. \_\_\_\_\_. 1995b. Variedades de trébol blanco. Montevideo, Uruguay, INIA. 15 p. (Serie Técnica no. 70).
58. \_\_\_\_\_. 2003. Crecimiento y calidad de gramíneas forrajeras en La Estanzuela. Montevideo, Uruguay, INIA. 35 p. (Serie Técnica no. 133).
59. García, F.; Kaplán, A. 1974. Evaluación de un método para determinar densidad aparente, macroporosidad y microporosidad en el suelo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 49 p.

60. García Pintos, M. J.; Orticochea, A. 2014. Efecto de la mezcla y dotación animal en la productividad invierno-primaveral de una pradera de cuarto año compuesta por festuca, trébol blanco y *Lotus corniculatus*. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 82 p.
61. García Préchac, F. 1992. Propiedades físicas y erosión en rotaciones de cultivos y pasturas. Investigaciones Agronómicas. 1 (1): 127-140.
62. Gomes de Freitas, S.; Klaasen, 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. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 92 p.
63. Grant, S. A.; Barthram, G. I.; Torvell, L. 1981. Components of regrowth in grazed and cut *Lolium multiflorum* swards. Grass and Forage Science. 36: 155-168.
64. Harris, W.; Lazenby, A. 1974. Competitive interaction of grasses with contrasting temperature responses and water stress tolerances. Australian Journal of Agricultural Research. 25 (2): 227-246.
65. Haynes, R. J.; Swift, R. S.; Stephen, R. C. 1991. Influence of mixed cropping rotations (pasture-arable) on organic matter content, water stable aggregation and clod porosity in a group of soils. Soil and Tillage Research. 19 (1): 77-87.
66. Hernández, J. 2012. Potasio. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 35 p.
67. Hodgson, J. 1981. Influence of sward characteristics on diet selection and herbage intake by the grazing animal. In: International Symposium of Nutritional Limits to Animal Production from Pastures (1981, St. Lucia). Proceedings. St. Lucia, J. B. Hacker. pp. 153-166.
68. \_\_\_\_\_.1990. Grazing management: science into practice. New York, Longman. 203 p.
69. INASE (Instituto Nacional de Semillas, UY). 2012. Catálogo. (en línea). Montevideo, Uruguay. 105 p. Consultado nov. 2014. Disponible en [http://www.inia.org.uy/convenio\\_inase\\_inia/PubForrajeraPeriodo2011.pdf](http://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/PubForrajeraPeriodo2011.pdf)



70. INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, AR). 2008. Cómo controlar el empaste. (en línea). Buenos Aires. 2 p. Consultado nov. 2014. Disponible en [http://www.produccion-animal.com.ar/sanidad\\_intoxicaciones\\_metabolicos/metabolicas/metabolicas\\_bovinos/16-empaste.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/sanidad_intoxicaciones_metabolicos/metabolicas/metabolicas_bovinos/16-empaste.pdf)
71. Langer, R. H. M. 1981. Las pasturas y sus plantas. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. 524 p.
72. McNaughton, S. J. 1979. Grazing as an optimization process: grass-ungulate relationship in the Serengeti. *The American Naturalist*. 113 (5): 691-703.
73. Martino, D. 2001. Manejo de restricciones físicas del suelo en sistemas de siembra directa. In: Díaz Roselló, R. ed. Siembra directa en el cono Sur. Montevideo, Uruguay, PROCISUR. pp. 225-257.
74. Melgar, R.; Díaz Zorita, M. 2008. La fertilización de cultivos y pasturas. 2a. ed. Buenos Aires, Hemisferio Sur. 569 p.
75. Minson, D. J.; Milford, R. 1967. The voluntary intake and digestibility of diets containing different proportions of legume and mature Pangola grass (*Digitaria decumbens*). *Australian Journal of Experimental Agricultural Animal Husbandry*. 7: 546-551.
76. \_\_\_\_\_. 1983. Forage quality: assesing the plant-animal complex. In: International Grassland Congress (14th., 1981, Lexington, Kentucky). Proceedings. Boulder, Colorado, Westview. pp. 23-29.
77. Montossi, F.; Berretta, E. J.; San Julián, R.; Mederos, A.; Risso, D. F. 1994. Evaluación de la carga animal sobre la productividad de mezclas forrajeras para el engorde de corderos en la región de Basalto. In: Reunión de Pasturas y Producción Animal en Basalto (1994, Tacuarembó). Trabajos presentados. Montevideo, Uruguay, INIA. pp. 40-41 (Actividades de Difusión no. 37).
78. \_\_\_\_\_.; Risso, D.; Pigurina, G. 1996. Consideraciones sobre utilización de pasturas. In: Risso, D. F.; Berretta, E. J.; Morón, A. eds. Producción y manejo de pasturas. Montevideo, Uruguay, INIA. pp. 93-105 (Serie Técnica no. 80).
79. Morón, A.; Kiehl, J. C. 1992a. Dinámica del fósforo en tres sistemas agrícolas en el Suroeste de Uruguay. *Investigaciones Agronómicas*. 1(1): 61-84.

80. \_\_\_\_\_. 1992b. El fósforo en el sistema suelo-planta. Investigaciones Agronómicas. 1(1): 45-60.
81. \_\_\_\_\_. 1996. El rol del carbono en los sistemas productivos agropecuarios. *In*: Morón, A.; Martino, D.; Sawchik, J. eds. Manejo y fertilidad de suelos. Montevideo, Uruguay, INIA. pp. 1-7 (Serie Técnica no. 76).
82. \_\_\_\_\_. 2000. Manejo agronómico de la alfalfa; fertilidad de suelos y estado nutricional. *In*: Rebuffo, M.; Risso, D. F.; Restaino, E. eds. Tecnología en alfalfa. Montevideo, Uruguay, INIA. pp. 37-52 (Boletín de Divulgación no. 69).
83. \_\_\_\_\_. 2001. El rol de los rastrojos en la fertilidad del suelo; *In*: Díaz Roselló, R. ed. Siembra directa en el cono Sur. Montevideo, Uruguay, PROCISUR. pp. 387-405.
84. \_\_\_\_\_. 2003. Efecto de las rotaciones y el laboreo en la calidad del suelo. (en línea). Informaciones Agronómicas. 20: 1-7. Consultado 30 nov. 2014. Disponible en [https://www.ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/\\$webindex/A3D08B283C19F19103256E040071372C/\\$file/A.Moron-Rotaciones-INIA+La+Estanzuela.pdf](https://www.ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/$webindex/A3D08B283C19F19103256E040071372C/$file/A.Moron-Rotaciones-INIA+La+Estanzuela.pdf)
85. Muslera, E.; Ratera, C. 1984. Praderas y forrajes, producción y aprovechamiento. Madrid, Mundi-Prensa. 702 p.
86. Nabinger, C. 1996. Aspectos ecofisiológicos do manejo de pastagens e utilização de modelos como ferramenta de diagnóstico e indicação de necessidades de pesquisa. *In*: Reunião do Grupo técnico em Melhoramento e Utilização de Recursos Forrageiros das Áreas Tropical e Subtropical do Cone Sul, Grupo Campos (16ª., 1996, Porto Alegre). Anais. Porto Alegre, FAO. pp.17 - 62.
87. \_\_\_\_\_.; 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 15 may. 2015. Disponible en [http://rca.cav.udesc.br/rca\\_2008\\_2/salton.pdf](http://rca.cav.udesc.br/rca_2008_2/salton.pdf)
88. Olmos, F. 2004. Factores que afectan la persistencia y productividad de pasturas mejoradas con trébol blanco (*Trifolium repens* L.). Montevideo, Uruguay, INIA. 125 p. (Serie Técnica no. 145).

89. Rebuffo, M. 2000. Adopción de variedades en Uruguay. In: Rebuffo, M.; Risso, D. F.; Restaino, E. eds. Tecnología en alfalfa. Montevideo, INIA. pp. 5-13 (Boletín de Divulgación no. 69).
90. Robert, M. 2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Roma, FAO. 70 p. (Informe sobre Recursos Mundiales de Suelos no. 96)
91. Rodrigues Torres, L. J.; Periera, M. G. 2008. Dinámica do potássio nos resíduos vegetais plantas de cobertura no cerrado. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 32 (4):1609-1618.
92. Rucks, L.; García, F.; Kaplán, A.; Ponce De León, J.; Hill, M. 2004. Propiedades físicas del suelo. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 73 p.
93. Saldanha, S.; Boggiano, P.; Cadenazzi, M. 2010. Intensidad del pastoreo sobre la estructura de una pastura de *Lolium perenne* cv. Horizon. Agrocienca (Uruguay). 14 (1): 44 - 54.
94. Santiñaque, F.; Carámbula, M. 1981. Productividad y comportamiento de distintas mezclas forrajeras. Investigaciones Agronómicas. 2: 16-21.
95. Scheneiter, O. 2005. Mezclas de especies forrajeras templadas. In: Jornada de Actualización Técnica en Pasturas Implantadas (2005, Buenos Aires). Trabajos presentados. Buenos Aires, s.e. s.p.
96. Silva, A. 2012. La materia orgánica del suelo. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 46 p.
97. Smetham, M. L. 1981. Manejo del pastoreo. In: Langer, R. H. M. ed. Las pasturas y sus plantas. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. pp. 210-270.
98. Snaydon, R.W. 1981. The ecology of grazed pastures. In: Morley, F. H. W. ed. Grazing animals. Amsterdam, Elsevier. pp. 13-32.
99. Stewart, W. 2009. How tillage affects water infiltration. Oregon, Pendleton. 6 p.
100. Taboada, M. A.; Lavado, R. S. 1993. Influence of cattle trampling on soil porosity under alternate dry and ponded conditions. Soil Use and Management. 9 (4): 139-143.

101. \_\_\_\_\_. 2007. Efectos del pisoteo y pastoreo animal sobre suelos en siembra directa. (en línea). In: Simposio de Ganadería en Siembra Directa (4º., 2007, San Luis). Trabajos presentados. San Luis, AAPRESID. pp. 71-83. Consultado nov. 2014. Disponible en [http://www.produccion-animal.com.ar/suelos\\_ganaderos/49-efectos\\_pisoteo.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/suelos_ganaderos/49-efectos_pisoteo.pdf)
102. Tisdall, J. M.; Oades, J. M. 1982. Organic Matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*. 33:141-163.
103. Zamalvide, J. P. 1992. Dinámica de fósforo en los suelos con especial referencia a la disponibilidad en rotaciones de cultivos y pasturas. *Investigaciones Agronómicas*. 1(1): 85-93.
104. Zanoniani, R. 1999. Algunas alternativas para mejorar la productividad de nuestras pasturas naturales. *Cangüé*. no. 15:13-17.
105. \_\_\_\_\_.; Ducamp, F. 2004. Leguminosas forrajeras del genero Lotus en el Uruguay. *Cangüé*. no. 25: 5-11.
106. \_\_\_\_\_.;Boggiano, P.; Cadenazzi, M. Silveira, D. 2006. Producción otoño-invernal del segundo año de raigrás según intensidades de pastoreo. In: Reunión del Grupo Técnico Regional de Cono Sur, Grupo Campos (21ª., 2006, Pelotas). Trabajos presentados. Pelotas, EMBRAPA. s.p.

## 9. ANEXOS

### Anexo No. 1. Carbono potrero 35

#### Análisis de la varianza

##### C 0-5

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C 0-5	9	0,68	0,35	4,31

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,25	4	0,06	2,09	0,2460
Bloque	0,14	2	0,07	2,36	0,2105
Trat.	0,11	2	0,05	1,83	0,2731
Error	0,12	4	0,03		
Total	0,37	8			

#### Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,30020

Error: 0,0297 gl: 4

Bloque	Medias	n	E.E.
1,00	4,18	3	0,10 A
3,00	3,93	3	0,10 A
2,00	3,90	3	0,10 A

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

#### Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,30020

Error: 0,0297 gl: 4

Trat.	Medias	n	E.E.
7,00	4,10	3	0,10 A
10,00	4,07	3	0,10 A
4,00	3,85	3	0,10 A

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

### C 5-10

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C 5-10	9	0,57	0,13	6,93

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,17	4	0,04	1,31	0,4010
Bloque	0,11	2	0,06	1,71	0,2914
Trat	0,06	2	0,03	0,91	0,4732
Error	0,13	4	0,03		
Total	0,30	8			

#### Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,31348

Error: 0,0324 gl: 4

Bloque	Medias	n	E.E.	
3,00	2,68	3	0,10	A
1,00	2,67	3	0,10	A
2,00	2,44	3	0,10	A

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

#### Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,31348

Error: 0,0324 gl: 4

Trat.	Medias	n	E.E.	
7,00	2,71	3	0,10	A
10,00	2,56	3	0,10	A
4,00	2,53	3	0,10	A

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

### C 10-20

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C 10-20	9	0,13	0,00	13,05

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,06	4	0,02	0,16	0,9504
Bloque	0,01	2	3,9E-03	0,04	0,9618

Trat.	0,05	2	0,03	0,27	0,7746
Error	0,40	4	0,10		
Total	0,46	8			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,54833**

Error: 0,0992 gl: 4

Bloque	Medias	n	E.E.	
3,00	2,45	3	0,18	A
2,00	2,40	3	0,18	A
1,00	2,38	3	0,18	A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,54833**

Error: 0,0992 gl: 4

Trat.	Medias	n	E.E.	
7,00	2,52	3	0,18	A
4,00	2,39	3	0,18	A
10,00	2,33	3	0,18	A

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

**C 20**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C 20	9	0,30	0,00	7,24

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,07	4	0,02	0,42	0,7884
Bloque	0,02	2	0,01	0,27	0,7764
Trat.	0,05	2	0,02	0,57	0,6042
Error	0,17	4	0,04		
Total	0,24	8			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,36015**

Error: 0,0428 gl: 4

Bloque	Medias	n	E.E.	
1,00	2,91	3	0,12	A
3,00	2,88	3	0,12	A
2,00	2,79	3	0,12	A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,36015**

Error: 0,0428 gl: 4

Trat.	Medias	n	E.E.	
7,00	2,96	3	0,12	A
10,00	2,82	3	0,12	A
4,00	2,79	3	0,12	A

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

Anexo No. 2. Carbono potrero 32b

### Análisis de la varianza

#### C 0-5

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C 0-5	8	0,90	0,76	3,04

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,29	4	0,07	6,59	0,0766
Bloque	0,01	1	0,01	1,03	0,3854
Mezcla	0,06	1	0,06	5,28	0,1052
Fecha	0,15	1	0,15	13,81	0,0339
Mezcla*fecha	0,07	1	0,07	6,25	0,0877
Error	0,03	3	0,01		
Total	0,32	7			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,17413**

Error: 0,0109 gl: 3

Bloque	Medias	n	E.E.	
2,00	3,48	4	0,05	A
1,00	3,41	4	0,05	A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,17413**

Error: 0,0109 gl: 3

Mezcla	Medias	n	E.E.	
--------	--------	---	------	--



Dactylis	3,53	4	0,05	A
Festuca	3,36	4	0,05	A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,17413**

Error: 0,0109 gl: 3

Fecha	Medias	n	E.E.	
temp.	3,58	4	0,05	A
tarde	3,31	4	0,05	B

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,24626**

Error: 0,0109 gl: 3

Mezcla	Fecha	Medias	n	E.E.	
Festuca	temp.	3,59	2	0,07	A
Dactylis	temp.	3,58	2	0,07	A
Dactylis	tarde	3,49	2	0,07	A
Festuca	tarde	3,13	2	0,07	B

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

**C 5-10**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C 5-10	8	0,12	0,00	5,54

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,01	4	1,8E-03	0,10	0,9744
Bloque	1,8E-03	1	1,8E-03	0,10	0,7715
Mezcla	4,5E-04	1	4,5E-04	0,03	0,8839
Fecha	0,00	1	0,00	0,00	>0,9999
Mezcla*fecha	5,0E-03	1	5,0E-03	0,28	0,6331
Error	0,05	3	0,02		
Total	0,06	7			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,22222**

Error: 0,0178 gl: 3

Bloque	Medias	n	E.E.	
1,00	2,43	4	0,07	A
2,00	2,40	4	0,07	A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,22222**

Error: 0,0178 gl: 3

Mezcla	Medias	n	E.E.
Festuca	2,42	4	0,07 A
Dactylis	2,41	4	0,07 A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,22222**

Error: 0,0178 gl: 3

Fecha	Medias	n	E.E.
tarde	2,41	4	0,07 A
temp.	2,41	4	0,07 A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,31427**

Error: 0,0178 gl: 3

Mezcla	Fecha	Medias	n	E.E.
Festuca	temp.	2,45	2	0,09 A
Dactylis	tarde	2,43	2	0,09 A
Festuca	tarde	2,40	2	0,09 A
Dactylis	temp.	2,38	2	0,09 A

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

**C 10-20**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C 10-20	8	0,57	0,00	7,16

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,09	4	0,02	0,99	0,5229
Bloque	1,8E-03	1	1,8E-03	0,08	0,7945
Mezcla	0,02	1	0,02	0,73	0,4561
Fecha	0,03	1	0,03	1,41	0,3211
Mezcla*fecha	0,04	1	0,04	1,76	0,2762
Error	0,07	3	0,02		
Total	0,16	7			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,24813**

Error: 0,0222 gl: 3

Bloque	Medias	n	E.E.	
1,00	2,10	4	0,07	A
2,00	2,07	4	0,07	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ )**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,24813**

Error: 0,0222 gl: 3

Mezcla	Medias	n	E.E.	
Festuca	2,13	4	0,07	A
Dactylis	2,04	4	0,07	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ )**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,24813**

Error: 0,0222 gl: 3

Fecha	Medias	n	E.E.	
temp.	2,15	4	0,07	A
tarde	2,02	4	0,07	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ )**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,35091**

Error: 0,0222 gl: 3

Mezcla	Fecha	Medias	n	E.E.	
Festuca	temp.	2,26	2	0,11	A
Dactylis	tarde	2,05	2	0,11	A
Dactylis	temp.	2,03	2	0,11	A
Festuca	tarde	2,00	2	0,11	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ )**C 20**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
C 20	8	0,71	0,32	3,84

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,07	4	0,02	1,83	0,3227

Bloque	1,1E-04	1	1,1E-04	0,01	0,9191
Mezcla	1,1E-04	1	1,1E-04	0,01	0,9191
Fecha	0,04	1	0,04	3,80	0,1465
Mezcla*fecha	0,03	1	0,03	3,52	0,1574
Error	0,03	3	0,01		
Total	0,10	7			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,16001**

Error: 0,0092 gl: 3

Bloque	Medias	n	E.E.
1,00	2,51	4	0,05 A
2,00	2,50	4	0,05 A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,16001**

Error: 0,0092 gl: 3

Mezcla	Medias	n	E.E.
Festuca	2,51	4	0,05 A
Dactylis	2,50	4	0,05 A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,16001**

Error: 0,0092 gl: 3

Fecha	Medias	n	E.E.
temp.	2,57	4	0,05 A
tarde	2,44	4	0,05 A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,22629**

Error: 0,0092 gl: 3

Mezcla	Fecha	Medias	n	E.E.
Festuca	temp.	2,64	2	0,07 A
Dactylis	temp.	2,51	2	0,07 A B
Dactylis	tarde	2,50	2	0,07 A B
Festuca	tarde	2,38	2	0,07 B

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

Anexo No. 3. Fósforo potrero 35

**P 0-5**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
P 0-5	9	0,55	0,10	39,11

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	753,81	4	188,45	1,23	0,4217
Bloque	374,78	2	187,39	1,23	0,3841
Trat.	379,04	2	189,52	1,24	0,3808
Error	610,79	4	152,70		
Total	1364,60	8			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=21,50937**

Error: 152,6985 gl: 4

Bloque	Medias	n	E.E.
2,00	36,38	3	7,13 A
1,00	35,93	3	7,13 A
3,00	22,47	3	7,13 A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=21,50937**

Error: 152,6985 gl: 4

Trat.	Medias	n	E.E.
7,00	40,75	3	7,13 A
10,00	27,54	3	7,13 A
4,00	26,49	3	7,13 A

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

**P 5-10**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
P 5-10	9	0,93	0,87	12,13

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	125,00	4	31,25	14,05	0,0127

Bloque	3,71	2	1,86	0,83	0,4981
Trat.	121,29	2	60,64	27,26	0,0047
Error	8,90	4	2,22		
Total	133,90	8			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=2,59634**

Error: 2,2249 gl: 4

Bloque	Medias	n	E.E.	
2,00	13,04	3	0,86	A
3,00	12,37	3	0,86	A
1,00	11,47	3	0,86	A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=2,59634**

Error: 2,2249 gl: 4

Trat.	Medias	n	E.E.	
7,00	17,46	3	0,86	A
4,00	10,18	3	0,86	B
10,00	9,24	3	0,86	B

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

**P 10-20**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
P 10-20	9	0,80	0,60	22,57

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	84,31	4	21,08	4,02	0,1032
Bloque	19,61	2	9,80	1,87	0,2670
Trat.	64,70	2	32,35	6,17	0,0599
Error	20,96	4	5,24		
Total	05,27	8			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=3,98481**

Error: 5,2408 gl: 4

Bloque	Medias	n	E.E.	
2,00	11,99	3	1,32	A
1,00	10,07	3	1,32	A
3,00	8,37	3	1,32	A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=3,98481**

Error: 5,2408 gl: 4

Trat.	Medias	n	E.E.	
7,00	13,68	3	1,32	A
4,00	9,55	3	1,32	B
10,00	7,20	3	1,32	B

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

**P 20**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
P 20	9	0,73	0,47	25,13

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	178,53	4	44,63	2,75	0,1758
Bloque	47,74	2	23,87	1,47	0,3326
Trat.	130,80	2	65,40	4,02	0,1103
Error	65,03	4	16,26		
Total	243,56	8			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=7,01842**

Error: 16,2576 gl: 4

Bloque	Medias	n	E.E.	
2,00	18,35	3	2,33	A
1,00	16,89	3	2,33	A
3,00	12,90	3	2,33	A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=7,01842**

Error: 16,2576 gl: 4

Trat.	Medias	n	E.E.	
7,00	21,39	3	2,33	A
4,00	13,94	3	2,33	B
10,00	12,79	3	2,33	B

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

Anexo No. 4. Fósforo potrero 32b

**P 0-5**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
P 0-5	8	0,77	0,45	21,07

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	69,98	4	17,49	2,46	0,2433
Bloque	2,16	1	2,16	0,30	0,6200
Mezcla	5,28	1	5,28	0,74	0,4526
Fecha	2,69	1	2,69	0,38	0,5823
Mezcla*fecha	59,84	1	59,84	8,40	0,0626
Error	21,38	3	7,13		
Total	91,35	7			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=4,44214**

Error: 7,1258 gl: 3

Bloque	Medias	n	E.E.
1,00	13,19	4	1,33 A
2,00	12,15	4	1,33 A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=4,44214**

Error: 7,1258 gl: 3

Mezcla	Medias	n	E.E.
Dactylis	13,48	4	1,33 A
Festuca	11,86	4	1,33 A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=4,44214**

Error: 7,1258 gl: 3

Fecha	Medias	n	E.E.
temp.	13,25	4	1,33 A
tarde	12,09	4	1,33 A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=6,28213**



Error: 7,1258 gl: 3

Mezcla	Fecha	Medias	n	E.E.	
Dactylis	tarde	15,64	2	1,89	A
Festuca	temp.	15,17	2	1,89	A
Dactylis	temp.	11,33	2	1,89	A B
Festuca	tarde	8,54	2	1,89	B

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

### P 5-10

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
P 5-10	8	0,68	0,24	18,54

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4,81	4	1,20	1,56	0,3726
Bloque	0,19	1	0,19	0,24	0,6571
Mezcla	0,01	1	0,01	0,02	0,8998
Fecha	0,88	1	0,88	1,15	0,3628
Mezcla*fecha	3,73	1	3,73	4,83	0,1154
Error	2,31	3	0,77		
Total	7,13	7			

### Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=1,46166

Error: 0,7715 gl: 3

Bloque	Medias	n	E.E.
1,00	4,89	4	0,44 A
2,00	4,59	4	0,44 A

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

### Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=1,46166

Error: 0,7715 gl: 3

Mezcla	Medias	n	E.E.
Dactylis	4,78	4	0,44 A
Festuca	4,70	4	0,44 A

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

### Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=1,46166

Error: 0,7715 gl: 3

Fecha	Medias	n	E.E.
temp.	5,07	4	0,44 A
tarde	4,41	4	0,44 A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=2,06710**

Error: 0,7715 gl: 3

Mezcla	Fecha	Medias	n	E.E.
Festuca	temp.	5,71	2	0,62 A
Dactylis	tarde	5,13	2	0,62 A
Dactylis	temp.	4,43	2	0,62 A
Festuca	tarde	3,68	2	0,62 A

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

**P 10-20**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
P 10-20	8	0,87	0,69	14,62

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	9,74	4	2,43	4,96	0,1095
Bloque	0,34	1	0,34	0,69	0,4660
Mezcla	2,07	1	2,07	4,22	0,1322
Fecha	0,01	1	0,01	0,02	0,8856
Mezcla*fecha	7,32	1	7,32	14,91	0,0307
Error	1,47	3	0,49		
Total	11,21	7			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=1,16550**

Error: 0,4905 gl: 3

Bloque	Medias	n	E.E.
2,00	5,00	4	0,35 A
1,00	4,59	4	0,35 A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=1,16550**

Error: 0,4905 gl: 3

Mezcla	Medias	n	E.E.
--------	--------	---	------

Dactylis	5,30	4	0,35	A
Festuca	4,28	4	0,35	A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=1,16550**

Error: 0,4905 gl: 3

Fecha	Medias	n	E.E.
tarde	4,83	4	0,35 A
temp.	4,75	4	0,35 A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=1,64827**

Error: 0,4905 gl: 3

Mezcla	Fecha	Medias	n	E.E.		
Dactylis	tarde	6,30	2	0,50	A	
Festuca	temp.	5,20	2	0,50	A	B
Dactylis	temp.	4,31	2	0,50		B C
Festuca	tarde	3,37	2	0,50		C

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

**P 20**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
P 20	8	0,87	0,70	13,38

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	16,35	4	4,09	5,01	0,1082
Bloque	0,03	1	0,03	0,04	0,8545
Mezcla	1,74	1	1,74	2,13	0,2404
Fecha	0,35	1	0,35	0,43	0,5599
Mezcla*fecha	14,23	1	14,23	17,45	0,0250
Error	2,45	3	0,82		
Total	18,80	7			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=1,50288**

Error: 0,8156 gl: 3

Bloque	Medias	n	E.E.
1,00	6,81	4	0,45 A

2,00                  6,69                  4                  0,45    A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=1,50288**

Error: 0,8156 gl: 3

Mezcla	Medias	n	E.E.	
Dactylis	7,22	4	0,45	A
Festuca	6,28	4	0,45	A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=1,50288**

Error: 0,8156 gl: 3

Fecha	Medias	n	E.E.	
temp.	6,96	4	0,45	A
tarde	6,54	4	0,45	A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=2,12540**

Error: 0,8156 gl: 3

Mezcla	Fecha	Medias	n	E.E.			
Dactylis	tarde	8,34	2	0,64	A		
Festuca	temp.	7,83	2	0,64	A	B	
Dactylis	temp.	6,09	2	0,64		B	C
Festuca	tarde	4,74	2	0,64			C

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

Anexo No. 5. Potasio potrero 35

**K 0-5**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
K 0-5	9	0,80	0,60	17,95

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,45	4	0,11	4,02	0,1031
Bloque	0,44	2	0,22	7,88	0,0410
Trat.	0,01	2	4,6E-03	0,16	0,8534
Error	0,11	4	0,03		
Total	0,56	8			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,28993**

Error: 0,0277 gl: 4

Bloque	Medias	n	E.E.	
1,00	1,24	3	0,10	A
2,00	0,81	3	0,10	B
3,00	0,74	3	0,10	B

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,28993**

Error: 0,0277 gl: 4

Trat.	Medias	n	E.E.	
7,00	0,96	3	0,10	A
10,00	0,94	3	0,10	A
4,00	0,88	3	0,10	A

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

### **K 5-10**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
K 5-10	9	0,75	0,51	21,16

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,22	4	0,05	3,06	0,1522
Bloque	0,18	2	0,09	5,03	0,0809
Trat.	0,04	2	0,02	1,08	0,4210
Error	0,07	4	0,02		
Total	0,29	8			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,23201**

Error: 0,0178 gl: 4

Bloque	Medias	n	E.E.	
1,00	0,83	3	0,08	A
3,00	0,56	3	0,08	B
2,00	0,50	3	0,08	B

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,23201**

Error: 0,0178 gl: 4

Trat.	Medias	n	E.E.	
7,00	0,69	3	0,08	A
10,00	0,66	3	0,08	A
4,00	0,54	3	0,08	A

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

### K 10-20

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
K 10-20	9	0,28	0,00	23,06

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,03	4	0,01	0,39	0,8068
Bloque	0,02	2	0,01	0,65	0,5692
Trat.	4,4E-03	2	2,2E-03	0,13	0,8791
Error	0,07	4	0,02		
Total	0,09	8			

### Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,22434

Error: 0,0166 gl: 4

Bloque	Medias	n	E.E.	
2,00	0,60	3	0,07	A
1,00	0,59	3	0,07	A
3,00	0,49	3	0,07	A

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

### Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,22434

Error: 0,0166 gl: 4

Trat.	Medias	n	E.E.	
4,00	0,59	3	0,07	A
7,00	0,55	3	0,07	A
10,00	0,54	3	0,07	A

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

### K 20

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
K 20	9	0,62	0,25	17,92

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,10	4	0,02	1,66	0,3167
Bloque	0,09	2	0,05	3,27	0,1443
Trat.	1,8E-03	2	9,2E-04	0,06	0,9388
Error	0,06	4	0,01		
Total	0,15	8			

### Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,20860

Error: 0,0144 gl: 4

Bloque	Medias	n	E.E.		
1,00	0,81	3	0,07	A	
2,00	0,63	3	0,07	A	B
3,00	0,57	3	0,07		B

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

### Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,20860

Error: 0,0144 gl: 4

Trat.	Medias	n	E.E.	
7,00	0,69	3	0,07	A
10,00	0,67	3	0,07	A
4,00	0,65	3	0,07	A

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

## Anexo No. 6. Potasio potrero 32b

### K 0-5

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
K 0-5	8	0,58	0,02	20,51

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,19	4	0,05	1,04	0,5084
Bloque	0,06	1	0,06	1,29	0,3387
Mezcla	0,01	1	0,01	0,16	0,7154
Fecha	0,08	1	0,08	1,70	0,2837

Mezcla*fecha	0,05	1	0,05	1,00	0,3902
Error	0,13	3	0,04		
Total	0,32	7			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,35235**

Error: 0,0448 gl: 3

Bloque	Medias	n	E.E.	
1,00	1,12	4	0,11	A
2,00	0,95	4	0,11	A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,35235**

Error: 0,0448 gl: 3

Mezcla	Medias	n	E.E.	
Dactylis	1,06	4	0,11	A
Festuca	1,00	4	0,11	A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,35235**

Error: 0,0448 gl: 3

Fecha	Medias	n	E.E.	
temp.	1,13	4	0,11	A
tarde	0,94	4	0,11	A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,49830**

Error: 0,0448 gl: 3

Mezcla	Fecha	Medias	n	E.E.	
Festuca	temp.	1,18	2	0,15	A
Dactylis	temp.	1,09	2	0,15	A
Dactylis	tarde	1,04	2	0,15	A
Festuca	tarde	0,83	2	0,15	A

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

**K 5-10**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
K 5-10	8	0,67	0,23	13,18



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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,05	4	0,01	1,53	0,3793
Bloque	2,8E-03	1	2,8E-03	0,34	0,6002
Mezcla	0,02	1	0,02	2,55	0,2087
Fecha	0,02	1	0,02	2,55	0,2087
Mezcla*fecha	0,01	1	0,01	0,67	0,4735
Error	0,02	3	0,01		
Total	0,08	7			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,15111**

Error: 0,0082 gl: 3

Bloque	Medias	n	E.E.
2,00	0,71	4	0,05 A
1,00	0,67	4	0,05 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ )**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,15111**

Error: 0,0082 gl: 3

Mezcla	Medias	n	E.E.
Dactylis	0,74	4	0,05 A
Festuca	0,64	4	0,05 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ )**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,15111**

Error: 0,0082 gl: 3

Fecha	Medias	n	E.E.
temp.	0,74	4	0,05 A
tarde	0,64	4	0,05 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ )**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,21370**

Error: 0,0082 gl: 3

Mezcla	Fecha	Medias	n	E.E.
Dactylis	temp.	0,77	2	0,06 A
Dactylis	tarde	0,72	2	0,06 A
Festuca	temp.	0,72	2	0,06 A
Festuca	tarde	0,56	2	0,06 A

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

## K 10-20

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
K 10-20	8	0,67	0,23	11,48

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,03	4	0,01	1,52	0,3811
Bloque	0,01	1	0,01	1,27	0,3420
Mezcla	0,01	1	0,01	1,50	0,3082
Fecha	0,01	1	0,01	2,61	0,2045
Mezcla*fecha	3,6E-03	1	3,6E-03	0,69	0,4662
Error	0,02	3	0,01		
Total	0,05	7			

### Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,12014

Error: 0,0052 gl: 3

Bloque	Medias	n	E.E.
1,00	0,66	4	0,04 A
2,00	0,60	4	0,04 A

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

### Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,12014

Error: 0,0052 gl: 3

Mezcla	Medias	n	E.E.
Dactylis	0,66	4	0,04 A
Festuca	0,60	4	0,04 A

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

### Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,12014

Error: 0,0052 gl: 3

Fecha	Medias	n	E.E.
temp.	0,67	4	0,04 A
tarde	0,59	4	0,04 A

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

### Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,16991

Error: 0,0052 gl: 3

Mezcla	Fecha	Medias	n	E.E.	
Dactylis	temp.	0,68	2	0,05	A
Festuca	temp.	0,66	2	0,05	A
Dactylis	tarde	0,64	2	0,05	A
Festuca	tarde	0,54	2	0,05	A

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

## K 20

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
K 20	8	0,73	0,37	10,90

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,05	4	0,01	2,01	0,2968
Bloque	0,01	1	0,01	1,09	0,3741
Mezcla	0,01	1	0,01	1,48	0,3111
Fecha	0,03	1	0,03	3,99	0,1398
Mezcla*fecha	0,01	1	0,01	1,48	0,3111
Error	0,02	3	0,01		
Total	0,07	7			

### Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,13553

Error: 0,0066 gl: 3

Bloque	Medias	n	E.E.	
1,00	0,78	4	0,04	A
2,00	0,72	4	0,04	A

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

### Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,13553

Error: 0,0066 gl: 3

Mezcla	Medias	n	E.E.	
Dactylis	0,78	4	0,04	A
Festuca	0,71	4	0,04	A

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

### Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,13553

Error: 0,0066 gl: 3

Fecha Medias	n	E.E.
temp. 0,81	4	0,04 A
tarde 0,69	4	0,04 A

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

### Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,19167

Error: 0,0066 gl: 3

Mezcla	Fecha Medias	n	E.E.
Festuca	temp. 0,81	2	0,06 A
Dactylis	temp. 0,81	2	0,06 A
Dactylis	tarde 0,76	2	0,06 A
Festuca	tarde 0,62	2	0,06 A

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

## Anexo No. 7. Correlación C-K

### Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	0,99269002
Coefficiente de determinación $R^2$	0,98543348
$R^2$ ajustado	0,98446238
Error típico	0,16860274
Observaciones	17

### ANÁLISIS DE VARIANZA

	Regresión	Residuos	Total
Grados de libertad	1	15	16
Suma de cuadrados	288,464,225	0,42640325	292,728,257
Promedio de los cuadrados	288,464,225	0,02842688	
F	101,475,853		
Valor crítico de F	3.42E-11		

	Intercepción	Variable X 1
Coefficientes	-0,29055349	110,980,213
Error típico	0,12192756	0,03483888
Estadístico t	-238,300,085	318,552,747
Probabilidad	0,03083159	3.42E-11

Inferior 95%	-0,55043594	103,554,481
Superior 95%	-0,03067104	118,405,945
Inferior 95,0%	-0,55043594	103,554,481
Superior 95,0%	-0,03067104	118,405,945

Anexo No. 8. Cantidad y peso de raíces potrero 35

**Largo total**

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R<sup>2</sup></u>	<u>R<sup>2</sup> Aj</u>	<u>CV</u>
Largo total	9	0,84	0,69	18,56

**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	1147,78	4	286,94	5,35	0,0665
Bloque	950,22	2	475,11	8,86	0,0339
Trat.	197,56	2	98,78	1,84	0,2709
Error	214,44	4	53,61		
Total	1362,22	8			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=12,74494**

Error: 53,6111 gl: 4

<u>Bloque</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	
2,00	50,33	3	4,23	A
3,00	42,33	3	4,23	A
1,00	25,67	3	4,23	B

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=12,74494**

Error: 53,6111 gl: 4

<u>Tratamiento</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	
4,00	46,00	3	4,23	A
10,00	37,00	3	4,23	A
7,00	35,33	3	4,23	A

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

**Raíces 20**

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R<sup>2</sup></u>	<u>R<sup>2</sup> Aj</u>	<u>CV</u>
-----------------	----------	----------------------	-------------------------	-----------

Raíces 20 9 0,91 0,82 10,80

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2107,11	4	526,78	9,89	0,0238
Bloque	990,89	2	495,44	9,30	0,0313
Trat.	1116,22	2	558,11	10,48	0,0257
Error	213,11	4	53,28		
Total	2320,22	8			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=12,70525**

Error: 53,2778 gl: 4

Bloque	Medias	n	E.E.	
1,00	78,33	3	4,21	A
3,00	71,00	3	4,21	A
2,00	53,33	3	4,21	B

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=12,70525**

Error: 53,2778 gl: 4

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
10,00	78,67	3	4,21	A
7,00	71,67	3	4,21	A
4,00	52,33	3	4,21	B

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

**Raíces 40**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Raíces 40	9	0,84	0,69	50,37

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4185,78	4	1046,44	5,43	0,0650
Bloque	1882,89	2	941,44	4,89	0,0843
Tratamiento	2302,89	2	1151,44	5,98	0,0628
Error	770,44	4	192,61		
Total	4956,22	8			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=24,15744**

Error: 192,6111 gl: 4

Bloque	Medias	n	E.E.	
2,00	40,33	3	8,01	A
3,00	35,00	3	8,01	A
1,00	7,33	3	8,01	B

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

### Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=24,15744

Error: 192,6111 gl: 4

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
4,00	42,33	3	8,01	A
10,00	35,00	3	8,01	A
7,00	5,33	3	8,01	B

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

## Análisis de la varianza

### 0-20

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
0-20	9	0,43	0,00	72,68

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5,39	4	1,35	0,74	0,6098
Tratamiento	1,51	2	0,76	0,42	0,6849
Bloque	3,88	2	1,94	1,07	0,4246
Error	7,26	4	1,81		
Total	12,65	8			

### Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=2,34456

Error: 1,8143 gl: 4

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
10,00	2,25	3	0,78	A
7,00	2,02	3	0,78	A
4,00	1,29	3	0,78	A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=2,34456**

Error: 1,8143 gl: 4

Bloque	Medias	n	E.E.	
1,00	2,77	3	0,78	A
3,00	1,52	3	0,78	A
2,00	1,27	3	0,78	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ )**20-40**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
20-40	9	0,46	0,00	51,37

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,03	4	0,01	0,86	0,5567
Tratamiento	0,02	2	0,01	0,92	0,4697
Bloque	0,01	2	0,01	0,80	0,5101
Error	0,04	4	0,01		
Total	0,07	8			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,16293**

Error: 0,0088 gl: 4

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
4,00	0,24	3	0,05	A
10,00	0,17	3	0,05	A
7,00	0,14	3	0,05	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ )**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,16293**

Error: 0,0088 gl: 4

Bloque	Medias	n	E.E.	
3,00	0,23	3	0,05	A
1,00	0,18	3	0,05	A
2,00	0,13	3	0,05	A

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



Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
40	6	0,74	0,00	90,48

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,03	4	0,01	0,71	0,6999
Tratamiento	0,01	2	3,8E-03	0,42	0,7390
Bloque	0,02	2	0,01	1,00	0,5776
Error	0,01	1	0,01		
Total	0,03	5			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,66311**

Error: 0,0090 gl: 1

Tratamiento	Medias	n	E.E.
4,00	0,14	3	0,05 A
7,00	0,12	1	0,11 A
10,00	0,05	2	0,08 A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,66311**

Error: 0,0090 gl: 1

Bloque	Medias	n	E.E.
3,00	0,19	2	0,08 A
1,00	0,06	1	0,11 A
2,00	0,06	3	0,05 A

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

Anexo No. 9. Cantidad y peso de raíces potrero 32b

**Análisis de la varianza**

**0-20**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
0-20	8	0,91	0,79	11,16

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

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

Modelo	1282,50	4	320,63	7,55	0,0642
Bloque	1128,13	1	1128,13	26,57	0,0142
Mezcla	15,13	1	15,13	0,36	0,5926
Fecha	136,13	1	136,13	3,21	0,1713
Mezcla*fecha	3,13	1	3,13	0,07	0,8038
Error	127,38	3	42,46		
Total	1409,88	7			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=10,84315**

Error: 42,4583 gl: 3

Bloque	Medias	n	E.E.	
2,00	70,25	4	3,26	A
1,00	46,50	4	3,26	B

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=10,84315**

Error: 42,4583 gl: 3

Mezcla	Medias	n	E.E.	
Dactylis	59,75	4	3,26	A
Festuca	57,00	4	3,26	A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=10,84315**

Error: 42,4583 gl: 3

Fecha	Medias	n	E.E.	
temp.	62,50	4	3,26	A
tarde	54,25	4	3,26	A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=15,33453**

Error: 42,4583 gl: 3

Mezcla	Fecha	Medias	n	E.E.	
Dactylis	temp.	64,50	2	4,61	A
Festuca	temp.	60,50	2	4,61	A
Dactylis	tarde	55,00	2	4,61	A
Festuca	tarde	53,50	2	4,61	A

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

## 20-40

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
20-40	8	0,94	0,85	7,29

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	283,00	4	70,75	11,17	0,0380
Bloque	200,00	1	200,00	31,58	0,0111
Mezcla	18,00	1	18,00	2,84	0,1904
Fecha	24,50	1	24,50	3,87	0,1439
Mezcla*fecha	40,50	1	40,50	6,39	0,0855
Error	19,00	3	6,33		
Total	302,00	7			

### Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=4,18784

Error: 6,3333 gl: 3

Bloque	Medias	n	E.E.	
2,00	39,50	4	1,26	A
1,00	29,50	4	1,26	B

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

### Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=4,18784

Error: 6,3333 gl: 3

Mezcla	Medias	n	E.E.	
Dactylis	36,00	4	1,26	A
Festuca	33,00	4	1,26	A

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

### Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=4,18784

Error: 6,3333 gl: 3

Fecha	Medias	n	E.E.	
temp.	36,25	4	1,26	A
tarde	32,75	4	1,26	A

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

### Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=5,92250

Error: 6,3333 gl: 3

Mezcla	Fecha	Medias	n	E.E.	
Festuca	temp.	37,00	2	1,78	A

Dactylis	tarde	36,50	2	1,78	A
Dactylis	temp.	35,50	2	1,78	A
Festuca	tarde	29,00	2	1,78	B

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

## Final

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Final	8	0,93	0,83	18,61

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	584,50	4	146,13	9,45	0,0476
Bloque	0,13	1	0,13	0,01	0,9340
Mezcla	253,13	1	253,13	16,37	0,0272
Fecha	253,13	1	253,13	16,37	0,0272
Mezcla*fecha	78,13	1	78,13	5,05	0,1101
Error	46,38	3	15,46		
Total	630,88	7			

## Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=6,54267

Error: 15,4583 gl: 3

Bloque	Medias	n	E.E.
1,00	21,25	4	1,97 A
2,00	21,00	4	1,97 A

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

## Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=6,54267

Error: 15,4583 gl: 3

Mezcla	Medias	n	E.E.
Dactylis	26,75	4	1,97 A
Festuca	15,50	4	1,97 B

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

## Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=6,54267

Error: 15,4583 gl: 3

Fecha	Medias	n	E.E.
temp.	26,75	4	1,97 A
tarde	15,50	4	1,97 B

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=9,25274**

Error: 15,4583 gl: 3

Mezcla	Fecha	Medias	n	E.E.	
Dactylis	temp.	35,50	2	2,78	A
Dactylis	tarde	18,00	2	2,78	B
Festuca	temp.	18,00	2	2,78	B
Festuca	tarde	13,00	2	2,78	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ )**Análisis de la varianza****0-20**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
0-20	8	0,23	0,00	63,26

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,29	4	0,32	0,22	0,9117
Fecha	0,14	1	0,14	0,09	0,7797
Mezcla	0,67	1	0,67	0,46	0,5482
Bloque	0,20	1	0,20	0,13	0,7399
Fecha*mezcla	0,29	1	0,29	0,20	0,6886
Error	4,42	3	1,47		
Total	5,71	7			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=2,01996**

Error: 1,4735 gl: 3

Fecha	Medias	n	E.E.	
tarde	2,05	4	0,61	A
temp.	1,79	4	0,61	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ )**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=2,01996**

Error: 1,4735 gl: 3

Mezcla	Medias	n	E.E.	
Dactylis	2,21	4	0,61	A
Festuca	1,63	4	0,61	A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=2,01996**

Error: 1,4735 gl: 3

Bloque	Medias	n	E.E.	
1,00	2,08	4	0,61	A
2,00	1,76	4	0,61	A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=2,85666**

Error: 1,4735 gl: 3

Fecha Mezcla	Medias	n	E.E.	
temp. Dactylis	2,27	2	0,86	A
tarde Dactylis	2,15	2	0,86	A
tarde Festuca	1,95	2	0,86	A
temp. Festuca	1,31	2	0,86	A

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

**20-40**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
20-40	8	0,84	0,64	28,41

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,03	4	0,01	4,05	0,1399
Fecha	5,6E-04	1	5,6E-04	0,34	0,5993
Mezcla	2,2E-03	1	2,2E-03	1,37	0,3261
Bloque	3,5E-03	1	3,5E-03	2,14	0,2394
Fecha*mezcla	0,02	1	0,02	12,34	0,0391
Error	4,9E-03	3	1,6E-03		
Total	0,03	7			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,06699**

Error: 0,0016 gl: 3

Fecha	Medias	n	E.E.	
temp.	0,15	4	0,02	A
tarde	0,13	4	0,02	A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,06699**

Error: 0,0016 gl: 3

Mezcla	Medias	n	E.E.	
Dactylis	0,16	4	0,02	A
Festuca	0,13	4	0,02	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ )**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,06699**

Error: 0,0016 gl: 3

Bloque	Medias	n	E.E.	
2,00	0,16	4	0,02	A
1,00	0,12	4	0,02	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ )**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,09473**

Error: 0,0016 gl: 3

Fecha Mezcla	Medias	n	E.E.		
tarde Dactylis	0,20	2	0,03	A	
temp. Festuca	0,18	2	0,03	A	
temp. Dactylis	0,12	2	0,03	A	B
tarde Festuca	0,07	2	0,03		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ )**40+**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
40+	8	0,78	0,48	36,47

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,05	4	0,01	2,61	0,2288
Fecha	3,1E-04	1	3,1E-04	0,07	0,8107
Mezcla	2,8E-03	1	2,8E-03	0,62	0,4901
Bloque	0,02	1	0,02	3,35	0,1646
Fecha*mezcla	0,03	1	0,03	6,39	0,0856
Error	0,01	3	4,6E-03		
Total	0,06	7			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,11252**

Error: 0,0046 gl: 3

Fecha	Medias	n	E.E.	
temp.	0,19	4	0,03	A
tarde	0,18	4	0,03	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ )**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,11252**

Error: 0,0046 gl: 3

Mezcla	Medias	n	E.E.	
Dactylis	0,20	4	0,03	A
Festuca	0,17	4	0,03	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ )**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,11252**

Error: 0,0046 gl: 3

Bloque	Medias	n	E.E.	
1,00	0,23	4	0,03	A
2,00	0,14	4	0,03	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ )**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,15912**

Error: 0,0046 gl: 3

Fecha Mezcla	Medias	n	E.E.	
tarde Dactylis	0,26	2	0,05	A
temp. Festuca	0,23	2	0,05	A
temp. Dactylis	0,15	2	0,05	A
tarde Festuca	0,10	2	0,05	A

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

## Anexo No. 10. Densidad aparente potrero 32b

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Densidad aparente	8	0,75	0,43	2,76

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



F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,01	4	2,5E-03	2,31	0,2589
Bloque	0,01	1	0,01	7,03	0,0769
Mezcla	2,3E-03	1	2,3E-03	2,17	0,2369
Fecha	2,6E-05	1	2,6E-05	0,02	0,8859
Mezcla*fecha	6,7E-06	1	6,7E-06	0,01	0,9416
Error	3,2E-03	3	1,1E-03		
Total	0,01	7			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,05432**

Error: 0,0011 gl: 3

Bloque	Medias	n	E.E.	
2,00	1,21	4	0,02	A
1,00	1,15	4	0,02	B

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,05432**

Error: 0,0011 gl: 3

Mezcla	Medias	n	E.E.	
Festuca	1,20	4	0,02	A
Dactylis	1,17	4	0,02	A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,05432**

Error: 0,0011 gl: 3

Fecha	Medias	n	E.E.	
tarde	1,19	4	0,02	A
temp.	1,18	4	0,02	A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,07682**

Error: 0,0011 gl: 3

Mezcla	Fecha	Medias	n	E.E.	
Festuca	tarde	1,20	2	0,02	A
Festuca	temp.	1,20	2	0,02	A
Dactylis	tarde	1,17	2	0,02	A
Dactylis	temp.	1,16	2	0,02	A

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

Anexo No. 11. Densidad aparente potrero 35

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Densidad aparente	9	0,40	0,00	7,80

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,01	4	3,2E-03	0,66	0,6512
Bloque	0,01	2	3,5E-03	0,72	0,5419
Trat.	0,01	2	2,9E-03	0,60	0,5898
Error	0,02	4	4,9E-03		
Total	0,03	8			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,12156**

Error: 0,0049 gl: 4

Bloque	Medias	n	E.E.
3,00	0,93	3	0,04 A
2,00	0,89	3	0,04 A
1,00	0,86	3	0,04 A

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,12156**

Error: 0,0049 gl: 4

Trat.	Medias	n	E.E.
4,00	0,93	3	0,04 A
7,00	0,88	3	0,04 A
10,00	0,87	3	0,04 A

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

Anexo No. 12. Infiltración potrero 32b

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN ..	8	0,92	0,82	17,00

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	65,41	4	16,35	8,82	0,0523
Bloque	27,01	1	27,01	14,56	0,0317
Mezcla	3,00	1	3,00	1,62	0,2930
Fecha	1,36	1	1,36	0,73	0,4546
Mezcla*fecha	34,03	1	34,03	18,35	0,0234
Error	5,56	3	1,85		
Total	70,97	7			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=2,26619**

Error: 1,8546 gl: 3

Bloque	Medias	n	E.E.	
1,00	9,85	4	0,68	A
2,00	6,18	4	0,68	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ )**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=2,26619**

Error: 1,8546 gl: 3

Mezcla	Medias	n	E.E.	
Festuca	8,63	4	0,68	A
Dactylis	7,40	4	0,68	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ )**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=2,26619**

Error: 1,8546 gl: 3

Fecha	Medias	n	E.E.	
tarde	8,43	4	0,68	A
temp.	7,60	4	0,68	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,10$ )**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=3,20488**

Error: 1,8546 gl: 3

Mezcla	Fecha	Medias	n	E.E.		
Festuca	tarde	11,10	2	0,96	A	
Dactylis	temp.	9,05	2	0,96	A	B
Festuca	temp.	6,15	2	0,96		B C
Dactylis	tarde	5,75	2	0,96		C

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

Anexo No. 13. Infiltración potrero 35

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN ..	9	0,83	0,66	18,78

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	169,24	4	42,31	4,83	0,0781
Bloque	66,10	2	33,05	3,77	0,1199
Trat.	103,15	2	51,57	5,89	0,0642
Error	35,02	4	8,75		
Total	204,26	8			

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=5,15021**

Error: 8,7544 gl: 4

Bloque	Medias	n	E.E.		
1,00	18,50	3	1,71	A	
3,00	16,70	3	1,71	A	B
2,00	12,07	3	1,71		B

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

**Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=5,15021**

Error: 8,7544 gl: 4

Trat.	Medias	n	E.E.		
7,00	20,53	3	1,71	A	
4,00	13,63	3	1,71		B
10,00	13,10	3	1,71		B

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