

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN FOSFATADA EN LA PRODUCTIVIDAD DE
PRIMER AÑO DE UN MEJORAMIENTO EN COBERTURA DE *Trifolium repens*
y *Trifolium pratense*

por

Juan Pedro GUGGERI SOLARO
Federico LALUZ ELLIS
Martín O'NEILL DÍAZ
Juan Pedro URIARTE DI LANDRO

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

MONTEVIDEO
URUGUAY
2012

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. MSc. Ramiro ZANONIANI

Ing. Agr. Ph.D. Pablo BOGGIANO

Ing. Agr. Edison D. SILVEIRA

Fecha: 16 de mayo de 2012

Autores:

Juan Pedro GUGGERI SOLARO

Federico LALUZ ELLIS

Martín O'NEILL DÍAZ

Juan Pedro URIARTE DI LANDRO

AGRADECIMIENTOS

A nuestro director de tesis Ing. Agr. MSc. Ramiro Zanoniani por la entera disposición para la realización de este trabajo.

A la Lic. Sully Toledo por su buena voluntad en la corrección de este trabajo.

A Cecilia Suárez por la traducción del resumen de este trabajo.

A nuestras familias y amigos.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VIII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1. GENERALIDADES DEL USO DE MEJORAMIENTOS EXTENSIVOS.....	3
2.1.1. <u>Características del tapiz vegetal</u>	4
2.2. IMPLANTACIÓN DE MEJORAMIENTOS EN COBERTURA	5
2.2.1. <u>Preparación del tapiz</u>	5
2.2.2. <u>Elección de la especie</u>	7
2.2.3. <u>Método de siembra</u>	10
2.2.4. <u>Época de siembra</u>	11
2.2.5. <u>Manejo de la fertilización</u>	12
2.3. CARACTERIZACIÓN DE LAS ESPECIES SEMBRADAS...	13
2.3.1. <u>Generalidades del género <i>Trifolium</i></u>	13
2.3.2. <u>Generalidades de la especie <i>Trifolium repens</i></u>	15
2.3.2.1. Cultivar Zapicán.....	16
2.3.3. <u>Generalidades de la especie <i>Trifolium pratense</i></u>	17
2.3.3.1. Cultivar La Estanzuela 116.....	18
2.4. FÓSFORO Y FERTILIZACIÓN FOSFATADA.....	19
2.4.1. <u>El ciclo del fósforo en el suelo</u>	19
2.4.2. <u>Formas de fósforo en el suelo</u>	20
2.4.2.1. Fósforo en solución.....	21
2.4.2.2. Fósforo inorgánico.....	21
2.4.2.3. Fósforo orgánico.....	22
2.4.3. <u>Factores que afectan la disponibilidad de fósforo en el suelo</u>	23

2.4.3.1. Mineralización-Inmovilización de fósforo.....	23
2.4.3.2. Acidez del suelo.....	25
2.4.3.3. Cambios en las condiciones de oxidación- reducción de los suelos.....	25
2.4.3.4. Extracción de fósforo en los productos agrícolas.....	26
2.4.3.5. Pérdidas por acción de la lluvia.....	27
2.4.4. <u>Retención de fósforo por los suelos</u>	27
2.4.5. <u>Absorción de fósforo por las plantas</u>	28
2.4.6. <u>Fuentes de fertilizantes fosfatados</u>	29
2.4.6.1. Rocas fosfatadas o fosforita finamente molida.....	30
2.4.6.2. Fuentes solubles.....	31
2.4.7. <u>Importancia del fósforo en las plantas</u>	32
2.4.8. <u>Efectos de la deficiencia de fósforo en las plantas</u>	33
2.4.9. <u>Requerimientos de fósforo de las leguminosas y su eficiencia de uso</u>	34
2.4.10. <u>Influencia de la fertilización fosfatada en la producción de forraje</u>	37
2.4.11. <u>Respuesta a la fertilización fosfatada en mejoramientos extensivos</u>	37
2.5. MANEJO DEL PASTOREO.....	39
2.5.1. <u>Defoliación y parámetros que la afectan</u>	39
2.5.1.1. Carga animal.....	41
2.5.1.2. Intensidad.....	42
2.5.1.3. Frecuencia.....	43
2.5.2. <u>Proceso de defoliación: factores y consecuencias en el campo natural</u>	44
2.5.2.1. Carga en campo natural y mejoramientos extensivos.....	44
2.5.2.2. Selección.....	45
2.5.2.3. Método de pastoreo y evolución del tapiz.....	46
2.5.2.4. Persistencia.....	49
2.5.3. <u>Dinámica de leguminosas bajo pastoreo</u>	49
2.5.3.1. Dinámica de <i>Trifolium repens</i> en condiciones de pastoreo.....	50

2.6.	PRODUCCIÓN ANIMAL EN MEJORAMIENTOS	
	EXTENSIVOS.....	51
	2.6.1. <u>Consumo y carga animal en pastoreo</u>	51
	2.6.2. <u>Producción sobre Basalto y Cristalino</u>	53
3.	<u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	55
3.1.	CONDICIONES EXPERIMENTALES GENERALES.....	55
	3.1.1. <u>Localización y período experimental</u>	55
	3.1.2. <u>Descripción del sitio experimental</u>	55
	3.1.3. <u>Antecedentes del área experimental</u>	55
	3.1.4. <u>Información climatológica</u>	55
	3.1.5. <u>Descripción del experimento y tratamientos</u>	56
	3.1.6. <u>Diseño experimental</u>	56
3.2.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	56
	3.2.1. <u>Variables determinadas</u>	57
	3.2.1.1. Disponibilidad y remanente de materia seca..	57
	3.2.1.2. Materia seca desaparecida y porcentaje de	
	desaparición.....	57
	3.2.1.3. Producción de forraje.....	57
	3.2.1.4. Composición botánica.....	57
	3.2.1.5. Producción de peso vivo por hectárea.....	57
	3.2.1.6. Ganancia media diaria.....	58
	3.2.1.7. Oferta de forraje.....	58
3.3.	HIPÓTESIS.....	58
	3.3.1. <u>Hipótesis biológicas</u>	58
	3.3.2. <u>Hipótesis estadísticas</u>	58
3.4.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	58
	3.4.1. <u>Modelo estadístico</u>	58

4.	<u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	60
4.1.	DATOS METEOROLÓGICOS.....	60
4.2.	COMPOSICIÓN BOTÁNICA.....	62
4.3.	PRODUCCIÓN DE FORRAJE.....	65
4.4.	CANTIDAD Y ALTURA DEL FORRAJE DISPONIBLE.....	67
4.5.	CANTIDAD Y ALTURA DEL FORRAJE REMANENTE.....	67
4.6.	UTILIZACIÓN DEL FORRAJE.....	68
4.7.	PRODUCCIÓN ANIMAL.....	69
5.	<u>CONCLUSIONES</u>	74
5.1.	CONSIDERACIONES FINALES.....	74
6.	<u>RESUMEN</u>	76
7.	<u>SUMMARY</u>	78
8.	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	80
9.	<u>ANEXOS</u>	93

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Fósforo disponible (ppm) para 4 suelos desarrollados a partir de diferentes materiales.....	19
2. Solubilidad en diferentes reactivos del fósforo asimilable de los principales fertilizantes comerciales.....	32
3. Requerimientos de fósforo en instalación de diferentes especies en suelos de texturas medias y pesadas del sur y litoral.....	35
4. Descripción de los experimentos revisados.....	38
5. Resultados de los experimentos revisados.....	39
6. Contribución de la fracción leguminosa en kg de MS/ha en el disponible promedio.....	64
7. Producción total de forraje.....	65
8. Cantidad y altura del forraje disponible promedio.....	67
9. Cantidad y altura del forraje remanente.....	68
10. Utilización (%) del forraje.....	68
11. Producción animal total.....	70
12. Ganancia individual.....	71
13. Forraje desaparecido total.....	71
14. Oferta de forraje.....	72
Figura No.	
1. Registro de precipitaciones.....	60
2. Temperaturas medias mensuales del período y medias históricas.....	61
3. Temperaturas mínimas y máximas medias del período y medias históricas.....	62
4. Composición botánica (%).....	63
5. Evolución del peso vivo promedio.....	69

1. INTRODUCCIÓN

En Uruguay existe una alta variabilidad en cuanto a suelos y clima, lo que hace que la producción de las pasturas naturales se vea muchas veces limitada, y además se presente con una marcada estacionalidad. Esto último se acentúa principalmente por la presión que ejerce el pastoreo sobre aquellas especies de tipo productivo tierno-fino de producción invernal, generando que la producción de forraje en esta estación crítica del año se vea afectada (Bermúdez y Ayala, 2005).

Si a esto le sumamos el efecto del desajuste de la carga bajo pastoreo continuo, quitándole la posibilidad a la pastura de recuperarse luego de una defoliación -en condiciones de bajas temperaturas y radiación solar como ocurre en el invierno-, la capacidad de producir forraje de calidad en cantidad se reduce.

Ante estas condiciones surge la necesidad de implantar pasturas con el objetivo de producir forraje de calidad principalmente en las estaciones críticas del año como son el otoño e invierno. Pero además de la capacidad de producir forraje, a las pasturas implantadas se les exige persistencia, la cual dependerá directamente del manejo que se le realice y de las condiciones climáticas principalmente en verano, a causa del déficit hídrico que generalmente ocurre a lo largo de esta estación (Formoso, 1996).

Así, los mejoramientos en cobertura son una buena alternativa para cumplir con los objetivos antes mencionados, y cuentan además con la ventaja de tener menores costos de producción que otras alternativas forrajeras.

En nuestro país su uso se extiende principalmente en zonas más extensivas en donde las condiciones edáficas para la implantación de pasturas sembradas y las tecnologías de producción son muchas veces limitantes (Risso et al., 2002a).

A diferencia de lo que ocurre con la implantación normal de las pasturas cultivadas, tanto perennes como anuales, en las que es necesaria la destrucción total del tapiz natural, en las siembras en cobertura éste se mantiene presente. El tapiz donde se sembrará el mejoramiento debe ser preparado con antelación para lograr el debilitamiento momentáneo de la vegetación, pero evitando que se genere un tapiz rastrero y entramado que

competirá con las especies sembradas, como ocurriría con excesos en el pastoreo (Carámbula et al., 1994).

La bibliografía consultada es consistente en cuanto a la importancia que tiene la fertilización fosfatada tanto en la implantación como en la producción de forraje y persistencia de las pasturas.

Esta práctica de manejo toma aún más relevancia en los mejoramientos en cobertura ya que las zonas del país en donde su adopción es mayor, se caracterizan por presentar suelos con marcada deficiencia de fósforo disponible.

El presente trabajo tiene como objetivo principal evaluar diferentes niveles de fertilización fosfatada sobre la producción de forraje de un mejoramiento en cobertura con *Trifolium repens* y *Trifolium pratense*, su composición botánica, y la producción animal obtenida sobre el mismo..

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. GENERALIDADES DEL USO DE MEJORAMIENTOS EXTENSIVOS

En el Uruguay la superficie destinada a mejoramientos forrajeros se mantuvo relativamente constante en la última década, ocupando un total aproximado de 2.500.000 hectáreas. Sin embargo, dentro de las distintas alternativas que componen dichos mejoramientos, en los últimos años los que han tenido mayor expansión son los verdes tanto de invierno como de verano, desplazando a las praderas permanentes de larga y corta duración. De todos modos, los mejoramientos en cobertura sobre campo natural sigue siendo una alternativa de gran impacto en algunas zonas del país ocupando un área total de 700.000 hectáreas, lo que representa un 5 % del área ganadera del país (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2004).

Los mejoramientos de campo natural constituyen una herramienta sencilla y económica para mejorar en forma sostenible la producción forrajera de los campos naturales en las áreas ganaderas del país (Risso, 1998b). Éstas se ubican principalmente en las regiones de Cristalino Central y del Este, Basalto, y Areniscas, donde el campo natural se destaca por su escasa y variable oferta tanto invernal como estival, así como por su baja calidad (Rebuffo et al., 2006).

Analizando las regiones antes mencionadas, la de Basamento Cristalino abarca una superficie de 2.500.000 has y presenta una alta variabilidad de suelos, siendo la unidad San Gabriel - Guaycurú la más importante con 1.140.000 has de suelos superficiales y medios, ácidos, de bajo contenido de materia orgánica, pendientes de 5 a 9 % y riesgo de erosión medio-alto (Risso et al., 2001).

La región basáltica ocupa 4.100.000 has de una amplia variedad de suelos, desde Litosoles a Brunosoles y Vertisoles profundos siendo los primeros limitantes para la realización de mejoramientos forrajeros (Berretta et al., 2001).

En lo que respecta a la Región Este, esta representa el 24,5 % de la superficie del país con suelos moderada a fuertemente ácidos, de baja fertilidad y con deficiencia marcada de fósforo. Además por sus propiedades físicas los suelos presentan alto riesgo de erosión, siendo calificados como no arables pero si sembrables (Ayala et al., 2001).

Por último la región de Areniscas abarca las formaciones Tacuarembó, Yaguarí, Las Arenas y San Gregorio-Tres Islas. Los suelos se caracterizan por tener un horizonte A de 40-110 cm, textura arenosa fina-muy fina, bajo contenido de materia orgánica, y presencia de Al intercambiable (Bemhaja, 2001).

Desde el punto de vista económico, Zanoniani (1998) plantea que la producción de forraje a través de la implantación de mejoramientos en cobertura es la alternativa productiva más económica del país, en términos de costo por unidad de materia seca producida.

2.1.1. Características del tapiz vegetal

Las pasturas naturales sobre las que se siembran los mejoramientos en cobertura ocupan un área aproximada de 11 millones de hectáreas (70% de la superficie ganadera) y las gramíneas son su principal componente agrupándose fundamentalmente en dos grupos: especies invernales (tipo C3) y especies estivales (tipo C4). Complementando este grupo de especies se encuentra una pequeña cantidad de leguminosas (Carámbula, 1996). Esta vegetación supone un ambiente desfavorable para las especies introducidas por la competencia que ejerce el tapiz, la compactación del suelo y la menor disponibilidad de agua, entre otras (Carámbula et al., 1994).

Es por esto que cobra importancia la correcta preparación del tapiz previo a la siembra. La semilla germina por absorción de agua y esto ocurre a través de la parte que está en contacto directo con el suelo, por lo que si el tapiz es muy denso, el contacto semilla-suelo será inapropiado pudiendo verse afectada la germinación de las semillas (Sedgley, Harper y Benton, citados por Risso, 1994).

Berretta (1996) afirma que el campo natural es deficiente en proteína cruda y fósforo, principalmente, en verano por lo que sugiere la necesidad de una suplementación proteica y energética en verano e invierno respectivamente para un adecuado desempeño animal. Son justamente estas deficiencias las que los mejoramientos de campo con introducción de leguminosas y fertilización fosfatada pretenden corregir. El aporte de fósforo permite lograr y mantener el stand de plantas de las leguminosas, quienes además por la fijación biológica de nitrógeno hacen un aporte de este nutriente a las gramíneas nativas,

significando un aumento en la cantidad de forraje producido (Carámbula, 2002a).

2.2. IMPLANTACIÓN DE MEJORAMIENTOS EN COBERTURA

En la instalación de mejoramientos en cobertura, el tapiz natural existente ofrece un ambiente desfavorable a la semilla que puede limitar el logro de una implantación exitosa (Carámbula et al., 1994). Es por este motivo que el éxito en la instalación de los mejoramientos extensivos depende de un conjunto de factores tales como el acondicionamiento del tapiz natural, la elección de la especie a sembrar, la utilización del método de siembra más apropiado, sembrar en la época más favorable y realizar un correcto manejo de la fertilización fosfatada (Carámbula, 1996).

2.2.1. Preparación del tapiz

El tapiz natural debe ser acondicionado adecuadamente para regular la cobertura vegetal, favorecer el contacto semilla – suelo, y controlar la competencia con las especies a implantar (Hill, citado por Arias y Paperán, 2001). El acondicionamiento del tapiz no pretende eliminar la cobertura presente, sino crear nichos para las especies a implantar (Carámbula et al., 1994).

La cobertura vegetal debe cumplir la función de proteger a las semillas introducidas y las plántulas de la exposición a condiciones climáticas desfavorables, tales como vientos, lluvias fuertes, temperaturas extremas y exposición a la luz solar (Blackmore et al., Chapman et al., citados por González y Pippolo, 1999). Por otro lado Zanoniani (1998) resalta la importancia de reducir la trama del tapiz a sembrar, de manera de favorecer un buen contacto de la semilla con el suelo.

Estos dos objetivos deben equilibrarse con la regulación de la competencia que las especies del tapiz puedan ofrecer a las especies a introducir. Esta competencia se da por espacio, luz, nutrientes y agua (Raven et al. 1992, Arias y Paperán 2001).

Carámbula (1996) cita al pastoreo, los métodos mecánicos, la quema y el uso de herbicidas como métodos para efectuar la preparación del tapiz previo

a la siembra. La elección del método a utilizar, dependerá de las características del tapiz natural.

En Uruguay la facilidad y el prácticamente nulo costo hacen del pastoreo el método más utilizado para el acondicionamiento del tapiz. Según Zanoniani (1998), pastoreos planificados desde la primavera anterior a la siembra bastarían para lograr implantaciones adecuadas. El objetivo de los pastoreos debería ser llegar a la siembra con tapices con 5 cm de altura, restos secos y suelo desnudo en superficie. El pastoreo con descansos permite reducir la altura, incentivar el rebrote de las plantas, y en el siguiente pastoreo reducir las reservas de las plantas, debilitándolas para favorecer el establecimiento de las especies introducidas (Berretta et al., 2001).

Existe consenso entre varios autores que se deberían realizar pastoreos periódicos con altas dotaciones de vacunos y lanares desde la primavera (Milot et al. 1987, Risso 1994) o verano (Carámbula 1996, Olmos 2001a) alternando con períodos de alivio hasta previo a la siembra en otoño (Risso 1994, Carámbula 1996, Zanoniani 1998, Olmos 2001a).

Previo a la siembra en otoño, es adecuado pastorear intensamente el tapiz para lograr una altura razonable, consumiendo reservas previo al invierno. De este modo, el rebrote de comienzo de primavera no será agresivo y acompañará con el crecimiento de las especies introducida (Davidson, Risso y Morón, citados por Risso, 1994).

Estos pastoreos recomendados con altas dotaciones desde la primavera, presentan diferencias en cuanto a frecuencia e intensidad según el punto de partida inicial del tapiz. En el caso de tapices con pastos altos, el pastoreo debería ser frecuente e intenso, mientras que en tapices con pastos cortos el pastoreo debería ser poco frecuente e intenso (Zanoniani, 1998).

Por otro lado, pastoreos continuos con alta carga llevan a que la vegetación tome un porte postrado, con las hojas sobre el suelo, que impediría el contacto semilla-suelo (Risso, 1998b).

La quema solo debería ser utilizada en casos en que el tapiz presente excesivas cantidades de restos secos y duros, no controlables mediante

pastoreo. Este proceso debe llevarse a cabo en condiciones de suelo húmedo y con cierto viento que permita que el fuego corra rápidamente. Esto permite que no ocurran altas temperaturas por demasiado tiempo, lo cual es desfavorable para la vegetación existente y el banco de semillas del suelo (Carámbula, 1996).

El uso de herbicidas debería reservarse para casos en que existan crecimientos extremos de la vegetación, y sólo con productos que detengan el crecimiento del tapiz. De otro modo se corre el riesgo de perder mucho forraje, ocasionar la muerte de especies perennes y promover especies anuales invernales de escaso valor forrajero (Carámbula et al., 1994).

Respecto a los métodos mecánicos, Zanoniani (1998) considera adecuado un rascado superficial en otoño cuando el tapiz se compone de pastos cortos rastreros, con trama cerrada. En el caso de la presencia de una cantidad importante de restos de maciegas con acumulaciones de tierra, puede ser necesario el pasaje de una rastra excéntrica poco trabada.

2.2.2. Elección de la especie

Según Risso (1998b) las leguminosas mejor adaptadas a este tipo de siembra son *Lotus corniculatus*, *Lotus subbiflorus*, y *Trifolium repens*. Otras leguminosas utilizadas en el país para este tipo de mejoramientos son el *Lotus pedunculatus*, *Lotus tenuis* y *Trifolium pratense*.

Las especies utilizadas para mejoramientos en cobertura deben contar con características tales como buena habilidad para competir, tolerancia a niveles nutritivos bajos y acidez del suelo, adaptación a niveles extremos de humedad, eficiencia en la utilización de fósforo, larga estación de crecimiento, habilidad de rebrote y tolerancia al pastoreo, y buena persistencia por resiembra natural entre otras (Carámbula, 1996). La elección de la especie a utilizar es función del tipo de suelo, y la ubicación topográfica, entre otros aspectos.

En la región basáltica, históricamente no existió una especie adaptada y productiva sobre los suelos superficiales. En los últimos años se dio la aparición de *Lotononis bainesii* Baker como promisoría para este tipo de suelos (Real et al., 2004). *Lotus subbiflorus* cv. El Rincón presenta un comportamiento aleatorio

en establecimiento y persistencia a diferencia de otras regiones del país. En suelos medianos y profundos de Basalto se destacan por buen comportamiento *Trifolium repens*, *Lotus corniculatus* y *Lotus pedunculatus* cv. Maku, y en forma menos generalizada *Trifolium pratense* y *Lotus subbiflorus* cv. Rincón (Berretta et al., 2001).

Para la región del Cristalino, la información es consistente en destacar a *Lotus corniculatus*, *Lotus subbiflorus* cv. El Rincón, y *Trifolium repens* como de excelente adaptación en la región. Dentro de estas especies, *Lotus subbiflorus* cv. El Rincón se destaca por su importante aporte en los suelos superficiales (Risso et al., 2001). Similar comportamiento de estas especies menciona Ayala et al. (2001) en la región de lomadas del este.

Para esta región, Risso et al. (2001) cuantifican la variación en cuanto a calidad del forraje producido por distintos mejoramientos en cobertura en comparación con el campo natural de esta región. Tomando a *Trifolium repens* como referencia de especie a utilizar para mejoramientos en cobertura en esta zona por su buena adaptación a los suelos, los valores de proteína cruda y digestibilidad de la materia orgánica del forraje aumentaron 5,5 % y 11,7 % respectivamente en comparación con el campo natural.

En lo que a la inclusión de gramíneas refiere, Carámbula (2008) sugiere el uso de gramíneas anuales con buen comportamiento para los suelos superficiales de la región. *Holcus lannatus* y *Lolium multiflorum* presentan buen comportamiento en estos suelos, así como en aquellos con presencia de horizonte Bt característicos también de la región Cristalino del Este.

Bemhaja (2001) determina que las pasturas naturales de la región de Areniscas presentan una altísima variación estacional de forraje, con una severa crisis invernal – de mayor magnitud que la mayoría de los suelos del país – y baja calidad. Las especies de leguminosas con mejor adaptación a esta región son *Ornithopus compressus*, *Lotus subbiflorus* y *Lotus pedunculatus*. Bemhaja y Olmos (1996b) consideran además para la región, la inclusión de gramíneas como *Bromus Catharticus* y *Triticale* al haber demostrado gran adaptación a esos suelos. Sugieren además la fertilización con nitrógeno y fósforo acompañando las gramíneas para aumentar significativamente la producción de forraje.

Por último, para la región Noreste, Olmos (2001a, 2001b) menciona a *Lotus corniculatus* y *Trifolium repens* como las especies más adoptadas.

La introducción de leguminosas y el agregado de fósforo al sistema además de aumentar la producción de forraje del campo natural, mejora considerablemente la calidad de la dieta y la distribución estacional (Risso, 1994). Estos aspectos toman importancia sobre todo en aquellas regiones donde las pasturas naturales presentan bajos niveles de digestibilidad de la materia orgánica y proteína cruda.

En cuanto a la ubicación topográfica, en el caso de mejoramiento de bajos se destaca *Lotus tenuis* por su tolerancia a condiciones de anegamiento temporario (Zanoniani, 2004), siendo más tolerante que *Lotus corniculatus* (Vignolio et al., citados por Carámbula, 1996). *Trifolium repens* también presenta buena adaptación a suelos húmedos y tolerancia a períodos de anegamiento temporario (Millot et al., Fernández et al., citados por Silveira, 2005). Por el contrario, *Trifolium pratense* no tiene buena persistencia en estas ubicaciones topográficas por su alta susceptibilidad a enfermedades tales como podredumbre de raíz (García, 1992).

Lotus corniculatus ha sido la leguminosa predominante en el país durante cuatro décadas desde 1950 (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2001). Sin embargo, en las últimas décadas ha perdido terreno frente a otras leguminosas ya que a pesar de su adaptación, su producción esta limitada por diversos factores medioambientales tales como sequía, anegamiento, así como por enfermedades y plagas, que afectan la implantación, crecimiento y persistencia (Borsani et al., Altier, citados por Rebuffo et al., 2006).

En este sentido, *Lotus subbiflorus* ha sido adoptada rápidamente a partir de mediados de la década del 80 a nivel comercial, constituyéndose en la principal leguminosa en mejoramientos en cobertura en todo el país, y muy especialmente en Cristalino Sur y Este. Es una especie con marcada estacionalidad productiva (de agosto a diciembre), y presenta gran capacidad de resiembra y elevada persistencia productiva (Risso y Carámbula, 1998a).

Los mismos autores hacen referencia además, al notable incremento en el uso de *Lotus uliginosus* en los últimos años debido a las buenas características del cultivar Maku. Algunas de ellas son el alto valor nutritivo, la

tolerancia a suelos ácidos con baja disponibilidad de fósforo, la rusticidad y facilidad de manejo.

2.2.3. Método de siembra

Olmos (2001a, 2001b) destaca tres métodos de siembra como los más usados en nuestros sistemas de producción: la siembra en cobertura, la siembra directa y la siembra con sembradora de zapata. La elección del método a utilizar, dependerá de la disponibilidad de maquinaria, tipo de suelo, especies predominantes, tipo de tapiz, condiciones de humedad a la siembra y aspectos económicos (Olmos 2001a, 2001b, Millot et al., citados por Silveira 2005).

Según Risso (1998b), cuando se trata de una leguminosa adaptada, el acondicionamiento del tapiz fue adecuado y las condiciones ambientales son favorables, no existen diferencias significativas entre los distintos métodos de siembra según resultados experimentales sobre Cristalino y Basalto.

La siembra en cobertura constituye el método más extendido para la instalación de este tipo de mejoramientos. Su uso es seguro en campos donde la competencia del tapiz nativo es baja o fue reducida a niveles aceptables (Carámbula, 1996).

En años normales y con tapices acondicionados la siembra en cobertura constituye un método sencillo y eficaz (Risso, 1994). Esto se debe a que la penetración de la radícula solo será exitosa en condiciones de suelo húmedo, mientras que en suelos con baja humedad las plántulas enraizarán superficialmente y morirán cuando los niveles superiores del suelo pierdan agua rápidamente (Carámbula, 1996).

La siembra directa es un sistema en el que el suelo es mínimamente perturbado durante la colocación de semillas, siendo estas depositadas en una angosta cama de siembra o surco (Conservation Technology Information Center, citado por Uri, 1999). El éxito de este método radica en un correcto trabajo de las máquinas, el cual depende de la densidad del tapiz, de la humedad del suelo, y de la textura y el grado de compactación del mismo (Carámbula, Berretta, citados por Silveira, 2005).

La siembra con sembradora a zapatas preparan un surco de 6-7 cm de ancho y 3-4 cm de profundidad donde es liberada la semilla. No poseen elemento compactador, pero poseen una cadena que corre por el surco cubriendo las semillas y el fertilizante. Presenta buena adaptación a suelos pedregosos con piedras sueltas, superficiales, con pendientes pronunciadas y tapices cerrados (Berretta, citado por Silveira, 2005).

Tanto la siembra directa como la siembra con sembradora a zapatas son recomendadas para situaciones con tapiz vegetal muy cerrado, de manera de remover parte del mismo, facilitar el contacto semilla-suelo y provocar cierta mineralización de la materia orgánica (Risso, 1998b).

2.2.4. Época de siembra

La época en que se siembra el mejoramiento influye en las condiciones ambientales a las que serán expuestas las semillas y las plántulas. Los distintos factores ambientales afectan los procesos de germinación y el crecimiento inicial de las plantas, los cuales determinarán a futuro la productividad y persistencia del mejoramiento.

Dentro de los factores ambientales, tienen singular importancia la temperatura y la disponibilidad hídrica.

La temperatura ejerce influencia en el rompimiento de la dureza y germinación de las semillas (Robinson 1960, Carámbula 1977), y sobre el desarrollo y actividad simbiótica de los nódulos (Coll, 1994). Por otro lado la temperatura tiene una influencia importante en la tasa fotosintética, cuya respuesta es creciente hasta los rangos óptimos de cada especie para luego decrecer (Taiz y Seiger, 2010).

Rangos de temperaturas de entre 5 y 30 °C no son factores limitantes para la germinación de leguminosas perennes, observándose óptimos entre 15 y 20 °C (Mc William et al., citados por Silveira, 2005).

Respecto a la disponibilidad hídrica, Risso (1998b) sostiene que la humedad es el factor dominante en el proceso de germinación y emergencia,

dado que la semilla debe embeberse, germinar e introducir la radícula en el suelo para luego comenzar el crecimiento radicular y aéreo.

Combinando los requerimientos de temperatura y humedad, la época de siembra más adecuada sería en el otoño de nuestro país, desde abril hasta fines de mayo. En este período es esperable que existan precipitaciones adecuadas, que junto a una evapotranspiración media resulte en una buena humedad del suelo, y a su vez las temperaturas no muy bajas facilitan la germinación y el desarrollo inicial de las plántulas (Risso, Olmos, citados por Risso, 1998b).

La siembra debe realizarse en suelos húmedos y tibios después de lluvias efectivas de principios de otoño. Siembras más tempranas tienen el inconveniente de que las plántulas deben competir con un tapiz estival en activo crecimiento, sumado a la mayor probabilidad de ocurrencia de déficit hídrico. Por el contrario, atrasar la siembra hacia el invierno enlentece los procesos de germinación y nodulación, así como el crecimiento inicial de las especies sembradas por las condiciones de bajas temperaturas (Carámbula et al., 1994). Este autor, encontró disminuciones en la producción de materia seca al primer corte del orden del 67% en *Trifolium repens* por atrasar la fecha de siembra de abril a junio, y del 55% en *Lotus corniculatus*.

2.2.5. Manejo de la fertilización

Dados los altos requerimientos de las leguminosas en cuanto a fósforo, para lograr una buena implantación de estas especies en cobertura se torna imprescindible suministrar cantidades adecuadas de este nutriente (Carámbula et al., 1994).

La fertilización fosfatada del mejoramiento no sólo es importante para el establecimiento del mismo, sino que es relevante para la producción de forraje en el primer año y el mantenimiento de un alto nivel productivo y persistencia posterior (Berretta et al., 2001).

Además del momento de la implantación, el fósforo debería ser aportado sucesivamente con refertilizaciones anuales, dado que ante niveles limitantes de este nutriente las gramíneas del tapiz presentan mejor eficiencia

en la utilización del mismo, y pueden desplazar a las leguminosas (Carámbula 1996, Risso 1998b).

Existe interacción entre la época de siembra y la respuesta a la fertilización fosfatada inicial, siendo esta menor a medida que se avanza hacia el invierno. Esto implica que mayores dosis de fertilización en siembras tardías, no revertirían el menor crecimiento que se logra en esas fechas (Carámbula et al. 1994, Carámbula 1996).

La aplicación de fertilizantes en cobertura en siembras en el tapiz no incorpora en profundidad los nutrientes al suelo, lo cual determina que la mayor disponibilidad de fósforo se da en los primeros centímetros del suelo, manteniéndose los niveles naturales del mismo en el resto del perfil (Santiñaque, citado por Arias y Paperán, 2001). Según Jaso y Olaondo (1986), la concentración del nutriente que se genera en superficie puede inducir a que las plantas desarrollen sistemas radiculares poco profundos, generando alta susceptibilidad a deficiencias hídricas. Por otro lado, los autores mencionan que se pueden dar algunas ventajas tales como minimizar los procesos de fijación e inmovilización del nutriente y reducir el impacto de la erosión.

2.3. CARACTERIZACIÓN DE LAS ESPECIES SEMBRADAS

2.3.1. Generalidades del género *Trifolium*

La inclusión de leguminosas dentro de la oferta forrajera como alimento presenta su fundamento en la complementariedad que estas especies tienen con las gramíneas, tanto en el uso de los recursos (nutrientes, radiación, agua) como en la oferta de forraje (calidad y momento).

Dentro de las leguminosas, el género *Trifolium* se destaca como uno de los más importantes agrónomicamente, y comprende entre 250 y 300 especies (Office of the Gene Technology Regulator, 2004).

La incorporación de especies del género *Trifolium* en nuestras pasturas naturales genera numerosos beneficios a los sistemas pastoriles.

Por un lado, las especies de este género presentan una alta apetecibilidad y digestibilidad para el animal debido a su mayor relación contenido celular/pared que las gramíneas. Esto promueve un mayor consumo, resultado de la mayor velocidad de digestión que genera un aumento de pasaje

por tracto. Presenta además un alto valor nutritivo dado por el tenor de proteína y minerales (Mg y Ca), menor fibra y mayor proporción de carbohidratos solubles (Carámbula, 2002a). Las leguminosas del género *Trifolium* presentan mayores niveles de proteína cruda que las gramíneas presentes en nuestras pasturas. Ayala et al. (1996a) presentan niveles de proteína cruda de 10,1% y 19,3% para campo natural y mejoramientos extensivos con inclusión de leguminosas, respectivamente, lo cual cuantifica la mejora en la calidad de la dieta ofrecida a los animales.

En otro sentido, la gran capacidad de fijación biológica de nitrógeno de las especies de este género permite la incorporación de grandes cantidades de este nutriente al sistema, resultando en mayores disponibilidades del mismo para las gramíneas acompañantes de la pastura. Se conoce que la simbiosis *Rhizobium-Trifolium* aporta el 90% del nitrógeno que requieren estas leguminosas, a excepción de verano y principios de otoño. La mayor fijación de nitrógeno se da en el segundo año de vida, significando unos 229 kg N/ha (con una eficiencia de 31 kg N/1000 kg MS) en *Trifolium repens* y 308 kg N/ha (con una eficiencia de 35 kg N/1000 kg MS) en *Trifolium pratense* (García et al., 1994).

Por lo tanto, la fijación biológica de nitrógeno representa una fuente de bajo costo y gran eficiencia. Al incorporar nitrógeno al sistema se incrementa fundamentalmente la calidad del forraje producido, generando niveles más altos de productividad, y por lo tanto una dinamización del ciclo de producción (Olmos, 2004a).

Una de las grandes desventajas es el riesgo por meteorismo que presenta el pastoreo de algunas de las especies del género *Trifolium*. La presencia de proteínas solubles en el citoplasma genera en el rumen una masa espumosa homogénea que provoca hinchazón o meteorismo, lo cual sumado a la presencia de sustancias estrogénicas como las isoflavonas resultan en un efecto negativo sobre el comportamiento animal (Carámbula, 1977).

Algunas pautas generales de manejo desarrolladas en el Uruguay, indican que para especies como *Trifolium repens* y *pratense* las mayores producciones de forraje se obtienen cuando los pastoreos se realizan dejando acumular 1500 a 2000 kg MS/ha, evitando sobrepastoreos en situaciones de déficit hídrico, y con manejos aliviados durante el verano (García, 1992).

2.3.2. Generalidades de la especie *Trifolium repens*

Trifolium repens es una leguminosa de hábito de vida perenne, ciclo de producción invernal, hábito de crecimiento postrado (estolonífero) y tipo productivo fino (Rosengurt, 1979). Dentro de las leguminosas más utilizadas en el Uruguay se destaca por presentar altos requerimientos del nutriente fósforo, de manera que está muy adaptada a suelos fértiles especialmente arcillosos, presentando buen desempeño en aquellos con buena capacidad de almacenaje de agua y disponibilidad de fósforo (Carámbula, 2002a), sumándose un efecto positivo por pH neutro de 6 a 7 (tolerando acidez moderada 5,6 hasta 5,2). De esta manera se puede afirmar que suelos mal drenados, con pH extremos, salinos, y períodos de sequía prolongados por altas temperaturas comprometen su producción y persistencia (Carlson et al., 1985).

El hábito de crecimiento postrado, la presencia de los puntos de crecimientos próximos al suelo, la exposición de hojas planófilas que confieren un IAF bajo, junto con el área foliar remanente joven fotosintéticamente activa le confieren una alta capacidad de respuesta al pastoreo, siendo de las más tolerantes al pastoreo continuo, y la menos afectada en términos de rendimiento (respecto a su potencial) por diferentes manejos de frecuencia. El manejo ideal de pastoreo para esta especie sería rotativo con frecuencias de 12 a 15 cm en invierno, y de 18 cm en primavera a una intensidad de 3 a 5 cm respectivamente (Carámbula, 2002a).

Trifolium repens presenta plasticidad fenotípica ya que frente a incrementos en la presión de pastoreo modifica su morfología y la estructura de la población para mantener un crecimiento relativamente constante (homeostático). La plasticidad frente a incrementos en la defoliación se manifiesta modificando el largo de los pecíolos y el tamaño de los folíolos (Escuder et al., 1987). Brock, citado por Escuder et al. (1987) observó que los cultivares de *Trifolium repens* de porte alto y folíolos grandes mantenían un porcentaje alto de plantas con pastoreo rotativo, pero disminuían con pastoreo continuo, mientras que los cultivares de folíolos pequeños, por el contrario, mostraban mayor plasticidad al reducir la longitud de los pecíolos y el tamaño de los folíolos, para mantener un equilibrio en la formación y pérdida de hojas por la defoliación.

De acuerdo con Westbrook y Tesar, citados por Carámbula (2002a) la vida productiva de *Trifolium repens* en una pastura está condicionada a un proceso eficiente de formación y enraizamiento de estolones hijos, y a la aparición de plantas nuevas como consecuencia de la resiembra natural, siendo las distintas vías de persistencia dependientes de las condiciones ambientales y de manejo. García (1992) coincide que *Trifolium repens* persiste vegetativamente a través de los estolones aún después de la muerte de la planta original. Igualmente, estos tienen un enraizamiento superficial que le confiere muy baja resistencia al déficit hídrico.

Por lo anteriormente dicho, se generaliza que en suelos fértiles y húmedos la persistencia va a estar definida por manejos de pastoreo controlado que promuevan la formación y enraizamiento de los estolones, y en suelos menos fértiles y con riesgo de sequía en verano la persistencia va a estar dada por la resiembra natural, ya que la especie pasa como semilla el verano y las plantas nuevas presentan una raíz pivotante que le permite pasar mejor esta estación. Así se concluye que la población de estolones, el número de nudos enraizados y la suma de meristemos establecerán la población que sobreviva al período crítico estival (Carámbula, 2002a).

Díaz et al. (1996) encontraron en experimentos realizados desde 1972-1992 en nuestro país una distribución estacional en la producción de forraje en *Trifolium repens* de 52%, 13%, 12% y 23% en primavera, verano, otoño e invierno, respectivamente. Los mismos autores, presentan que durante el primer año la producción es mínima en otoño-invierno y se concentra entre octubre y diciembre. En el segundo año, las mayores tasas de crecimiento del segundo año se registraron desde marzo a octubre, lográndose la máxima tasa de crecimiento en el mes de octubre con valores de 46 kg MS/ha/día.

2.3.2.1. Cultivar Zapicán

El Zapicán es un cultivar nacional de hoja intermedia, con muy buena producción invernal, de floración temprana y buena producción de semilla. Al ser de hoja intermedia presenta baja cianogénesis, es decir glucósidos que por hidrólisis enzimática liberan ácido cianhídrico (García, 1996).

Dentro de los cultivares de tipo intermedio evaluados a nivel nacional es el que presenta mayor floración, y mayor producción, con tasas ligeramente superiores durante otoño-invierno frente al cultivar Regal (su principal competidor, de tipo ladino) (García, 1996).

2.3.3. Generalidades de la especie *Trifolium pratense*

Trifolium pratense es una especie bianual de ciclo invernal cuyo crecimiento es erecto a partir de corona, y es de tipo productivo fino (Rosengurtt, 1979). Es una especie que presenta raíz pivotante que la hace tolerante frente a déficit hídricos, y muy adaptada a suelos de texturas medias y pesadas profundos con buen drenaje. Tolera, además, suelos con pH más bajos que *Medicago sativa* (aunque es menos tolerante que *Trifolium repens*), y es poco productiva en suelos arenosos o livianos (Carámbula, 2002a).

Dentro de las leguminosas se destaca por el buen vigor inicial y rápido establecimiento, teniendo todos los tipos una excelente implantación cuando las siembras se realizan en otoño temprano (marzo-abril). Esta especie ha demostrado tener una buena implantación tanto en siembras convencionales como en siembra directa, y admite una mayor amplitud de fechas de siembra que se puede extender hasta agosto inclusive (Ayala et al., 2010).

En *Trifolium pratense* la persistencia depende en buena medida de la perennidad de la planta original, dado que la resiembra natural es errática (García, 1992). Presenta una escasa persistencia debido a la muerte de plantas por marchitez y podredumbre radicular, fundamentalmente causadas por hongos del género *Fusarium* (Rebuffo y Altier, 1996).

Las especies de hábito erecto pueden ser defoliadas con facilidad y casi totalmente, y tienen menos desarrollados los mecanismos de homeostasis (menor plasticidad fenotípica). Por lo tanto para no perjudicar a este tipo de plantas, es necesario retirar los animales y esperar que aquellas recompongan su área foliar y sus reservas, con un período de descanso largo (Escuder, 1997a). De esta manera se adapta mejor a pastoreos rotativos o cortes siendo su manejo ideal una frecuencia de 15-18 cm en invierno y 20-24 cm en primavera con una intensidad de 4-5 cm (Carámbula, 2002a). Con estos pastoreos busca lograrse una importante acumulación de reservas a través de un período de descanso largo.

Díaz et al. (1996) encontraron que el primer año existe una menor producción en otoño-invierno respecto al segundo año por tratarse del año de implantación. Por otra parte, las tasas de crecimiento en primavera-verano fueron superiores en el primer año respecto al segundo, siendo esto atribuido a los problemas de persistencia que ya empiezan a aparecer en la segunda primavera. La máxima tasa de crecimiento registrada en esa evaluación en La Estanzuela fue de 72 kg MS/ha/día en noviembre del primer año.

2.3.3.1. Cultivar La Estanzuela 116

El cultivar LE116 según García (1992) es uno de los más productivos considerando el rendimiento total de los dos primeros años. Esto es respaldado por Rebuffo y Altier (1996) quien encontró rendimientos para el primer y segundo año de 5300 y 14300 kg MS/ha respectivamente. Se trata de un cultivar con una destacada precocidad y alta producción invernal y total, característica que lo diferencia de los cultivares con latencia (Ayala et al., 2010).

Sin embargo es un cultivar que no ha logrado salvar el mayor problema de esta especie en el país, la persistencia. Este cultivar (al igual que la mayoría de los cultivares en nuestro país) no sobrevive luego de la primavera del segundo año, consecuencia de la alta susceptibilidad al ataque de patógenos, siendo la principal causa de muerte la podredumbre de raíz. Es por esto que la producción en el tercer año tiene alta erraticidad, traduciéndose la baja persistencia en un fenómeno que contrarresta la consistente oferta de forraje durante los dos primeros años (García, 1992). Esto coincide con lo expuesto por Ayala et al. (2010), quienes establecieron que la producción del segundo verano está generalmente condicionada por la incidencia de podredumbres radicales, las altas temperaturas y el déficit hídrico, cuyos efectos combinados reducen el stand de plantas.

Presenta floración temprana (Carámbula, 2002a), y abundante siendo capaz de producir buenos rendimientos de semillas, potencial que se ve limitado en Uruguay por dificultades en la polinización con abejas (Ayala et al., 2010).

2.4. FÓSFORO Y FERTILIZACIÓN FOSFATADA

Para la gran mayoría de los suelos del país, el contenido total de fósforo es bajo. Este se encuentra en valores cercano a 0,02 y 0,08 %, valores considerablemente más bajos que los que se manejan para nitrógeno y potasio (0,14 y 0,80 % respectivamente) (Hernández, 1999).

Stevenson y Cole (1999) hacen referencia a un rango más amplio tomando en cuenta el material originador del suelo. El mismo va de 0,01 % correspondiente a suelos de areniscas a 0,2 % para suelos de calizas.

En el Cuadro No. 1 se muestra información de fósforo disponible o asimilable (ppm) para cuatro suelos desarrollados a partir de diferentes materiales.

Cuadro No. 1 - Fósforo disponible (ppm) para 4 suelos desarrollados a partir de diferentes materiales.

Material de origen	P (ppm)
Lavas basálticas (Formación Arapey)	3,6
Limos Terciarios (Formación Fray Bentos)	5,2
Predevoniano (granitos y migmatitas)	2,2
Areniscas triásicas y cretácicas	3,2

Fuente: Hernández (1999)

Como se puede apreciar en el Cuadro No. 1, los valores son bajos tomando en cuenta que la mayoría de los cultivos y pasturas sembradas requieren niveles superiores a las 10 ppm, siendo así el fósforo el primer factor limitante nutricional para el crecimiento vegetal (Hernández, 1999).

2.4.1. El ciclo del Fósforo en el suelo

El ciclo del fósforo en el suelo es un sistema dinámico que incluye al suelo, plantas y microorganismos. Los principales procesos que lo componen incluyen el consumo de fósforo por parte de las plantas, el reciclado a través de desechos animales y vegetales, el "turnover" biológico entre mineralización e inmovilización, reacciones de fijación y solubilización del nutriente así como de formación de minerales fosfatados por reacciones químicas y actividad microbiana (Stevenson y Cole, 1999).

Los mismos autores concuerdan con Morón (1996) en que en un sistema natural, el ciclo del fósforo es virtualmente cerrado, en donde básicamente todo el nutriente utilizado por las plantas es devuelto al suelo por residuos animales y vegetales.

En condiciones de pastoreo, Haynes y Williams, citados por Turner et al. (2005) establecen que entre un 60-90% del fósforo consumido por las plantas es devuelto al suelo.

Por el contrario en suelos cultivados, gran parte del fósforo es removido con la cosecha y solo una parte vuelve al suelo (Stevenson y Cole, 1999).

Las salidas de fósforo del sistema se pueden agrupar en 4 grandes vías (que se describirán más adelante): (1) la extracción a través de reservas forrajeras (heno y silo), (2) transferencia de fósforo vía heces fuera del área productiva, (3) extracción en productos animales (leche y carne), y (4) erosión (Morón, 1996).

Por el contrario, la única entrada significativa de fósforo al sistema es vía fertilizante fosfatado, siendo esta una de las principales diferencias con respecto al ciclo del nitrógeno, el cual presenta importantes entradas vía atmosférica (Morón, 1996).

A diferencia del nitrógeno, en el cual casi la totalidad de sus formas en el suelo son orgánicas y su dinámica fundamentalmente biológica, en el caso del fósforo coexisten en el suelo un equilibrio químico inorgánico y un ciclo orgánico que gobiernan su disponibilidad (Zamalvide, 1996).

2.4.2. Formas del fósforo en el suelo

El fósforo en las rocas se encuentra bajo la forma de apatita. Por el proceso de meteorización el fosfato es liberado a la solución del suelo aunque una gran proporción se vuelve insoluble nuevamente por los procesos de adsorción y precipitación que ocurren en el suelo (Whitehead, 2000).

En el suelo, es posible separarlo bajo 3 pools o compartimentos: fósforo orgánico, inorgánico y el fósforo en solución (Hernández, 1999). Las plantas absorben por las raíces el nutriente desde la solución del suelo bajo las formas de H_2PO_4 y HPO_4 (Turner et al., 2005). Dependiendo del pH del suelo

predominará la absorción bajo una u otra forma (Lindsay, citado por Morón, 1992).

2.4.2.1. Fósforo en solución

El fósforo en la solución del suelo es extremadamente bajo debido a la baja solubilidad de los compuestos fosfatados (Hernández, 1999). Según el autor, en condiciones de campo natural sin fertilizar no son de esperar valores mayores a las 0,05 ppm, siendo estos valores muy bajos para lo que son los requerimientos de las plantas.

Zamalvide (1996) establece las concentraciones de fósforo en solución en un rango entre 0,05 ppm y 0,2 ppm lo cual significa cantidades en torno a 50 g/ha de fósforo en los primeros 20 cm de suelo con buena humedad. Por este motivo, el autor señala la importancia de la fracción lábil del fósforo inorgánico (fracción de compuestos mas lábiles, es decir de menor estabilidad química y capaces de ser degradados y/o solubilizados contribuyendo a la nutrición de las plantas) ya que es la responsable de reponer y mantener los niveles de fósforo en solución. Para Stevenson y Cole, citados por Turner et al. (2005), este aspecto es de vital importancia particularmente en agroecosistemas donde la demanda por fósforo es alta y la transferencia anual fuera del sistema excede los 20 kg P/ha.

El aporte que haga la fracción lábil a la solución del suelo, dependerá de que baje el valor de equilibrio del fósforo en la misma, acción que ocurre por la absorción del nutriente por parte de las raíces de las plantas en crecimiento (Morón, 1992).

Tisdale y Nelson (1966), sostienen que debido a que la absorción del fósforo ocurre mayoritariamente cerca del ápice radicular, la reposición del fósforo en solución es más rápida en aquellas pequeñas zonas del suelo donde estos se encuentran.

2.4.2.2. Fósforo inorgánico

El fósforo inorgánico se encuentra ligado a metales como hierro, aluminio y calcio así como a minerales arcillosos de tipo 2:1 y 1:1. Que el fósforo se ligue a uno u otro de estos metales dependerá del pH del suelo y de la cantidad y tipo de minerales arcillosos (Morón, 1992).

En suelos ácidos los minerales más comúnmente encontrados son los fosfatos de hierro y aluminio mientras que en suelos calcáreos o neutros predomina el fosfato de calcio (Hernández, 1999).

A pH 6 el fosfato predomina como H_2PO_4^- (94%) frente al HPO_4^{2-} (6%), mientras que a pH 7 la relación se torna más pareja encontrándose el fosfato en un 60 % como H_2PO_4^- y como HPO_4^{2-} en un 40 % (Stevenson, citado por Whitehead, 2000).

2.4.2.3. Fósforo orgánico

El fósforo orgánico forma parte de la materia orgánica y varía su contenido en los suelos según el aumento o pérdida de la misma, por esto es que es más abundante en los horizontes superficiales que en los profundos (Rabuffetti et al., 1983).

La principal fuente de fósforo orgánico está compuesta por los residuos animales y vegetales que se adicionan al suelo. La mineralización y/o inmovilización del nutriente dependerá de la relación C/P de la materia orgánica siendo su valor crítico de aproximadamente 200 (Whitehead, 2000). Hernández (1999) determina que para los suelos de Uruguay la relación C/P crítica es 170:1.

Menos de la mitad del fósforo orgánico del suelo puede ser identificado como un compuesto específico, permaneciendo el resto como no extractable o fuertemente ligado a los ácidos húmicos o ácidos fúlvicos (Tiessen y Stewart, citados por Morón, 1992).

Si bien esto no es un aspecto positivo en lo que a la disponibilidad del nutriente para las plantas refiere, esta fracción es muy importante ya que se la puede considerar como el reservorio de fósforo en los suelos que aumenta o disminuye según las condiciones (Morón, 1992). Diversas determinaciones en Uruguay han cuantificado al fósforo orgánico con valores cercanos al 50 % del fósforo total de los suelos e incluso mayores (Zamalvide, Morón y Khiel, citados por Ferrés et al., 2003).

Stewart y Sharpley, citados por Morón (1996) sostienen que la naturaleza dinámica del fósforo orgánico es encubierta por el hecho de que solo una pequeña porción de la materia orgánica es biológicamente activa. En este sentido, Stewart y Tiessen, citados por Morón (1996), afirman que el

componente central del ciclo activo del fósforo orgánico es el fósforo presente en la biomasa microbiana.

Según Magid et al. (1996), el fósforo orgánico representa más del 90% del fósforo total en los microorganismos del suelo. García y Morón, citados por Morón (1996), determinaron en un año de seguimiento, que una rotación cultivo-pasturas tenía tres veces más cantidad de fósforo en la biomasa microbiana que un sistema continuo de cultivos sin fertilización. Su valor promedio fue de 24 $\mu\text{gP/g}$ de suelo en la biomasa microbiana.

Por esto, la biomasa microbiana presente en el suelo es de gran importancia, actuando además de cómo agente transformador de la materia orgánica, como fuente y depósito de nutrientes (Morón, 1996).

2.4.3. Factores que afectan la disponibilidad de fósforo en el suelo

2.4.3.1. Mineralización-inmovilización de fósforo

Los procesos de mineralización e inmovilización del fósforo del suelo ocurren permanentemente siendo la relación carbono/fósforo (C/P) de los restos vegetales en descomposición la que regulan la predominancia de la mineralización sobre la inmovilización de fósforo (Hernández, 1999).

Como se mencionó anteriormente la fuente principal de fósforo orgánico son los restos animales y vegetales que ingresan al sistema. Una vez en contacto con el suelo, el fósforo contenido en estos restos vegetales es mineralizado por los microorganismos presentes en el mismo con la consecuente liberación de fosfato inorgánico. Sin embargo, debido a que los microorganismos tienen requerimientos substanciales de fósforo, la mineralización neta ocurre solo cuando sus requerimientos son cubiertos. Si el contenido de fósforo en los restos vegetales en descomposición es insuficiente para la actividad microbiana es posible que haya inmovilización de fósforo del suelo significando esto una competencia entre plantas y microorganismos por el fósforo en solución (Whitehead, 2000).

Esta información concuerda con lo publicado por Hernández (1999) que además establece rangos críticos de relación C/P para que ocurra uno u otro proceso. En este sentido, si la relación C/P es inferior a 200 predominará la mineralización neta de fósforo orgánico. Si la relación C/P se encuentra entre 200-300 no hay ni ganancia ni pérdida de fósforo inorgánico, y si la relación C/P

es superior a 300 predominara la inmovilización neta de fósforo inorgánico. En la mayoría de los suelos el contenido total de fósforo mineralizado está altamente correlacionado con el contenido de carbono orgánico.

La enzima fosfatasa, producida por las raíces de las plantas superiores así como por varios microorganismos presentes en el suelo como *Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Bacillus* y *Pseudomonas* (Mengel y Kirkby, 2001) cataliza una reacción por la cual los inositol fosfatos, ácidos nucleicos y fosfolípidos pueden ser mineralizados (Hernández, 1999).

La actividad de la fosfatasa aumenta conforme lo hace el contenido de carbono, pero también es afectada por el pH del suelo, la humedad, la temperatura y otros factores (Hernández, 1999). Según Mengel y Kirkby (2001) el óptimo rango de temperatura para la actividad de la enzima es entre 30-45 °C.

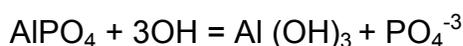
La cantidad de fósforo mineralizado a partir de restos vegetales ha sido estimada en numerosos estudios y los resultados varían ampliamente entre suelos. Para ambientes tropicales con altas temperaturas se ha constatado una mineralización de fósforo orgánico del orden de los 100 kg/ha/año (Steward y Sharpley, citados por Hernández, 1999). Por otra parte para la mayoría de los sistemas de cultivos del medio oeste americano la mineralización probablemente contribuye con cantidades en el orden de los 4 a 10 kg/ha/año (Hernández, 1999).

En el mismo sentido, Tate, citado por Whitehead (2000) hace referencia a que la cantidad de fósforo reciclado a través de material vegetal muerto oscila entre 1 y 20 kg/ha/año dependiendo del tipo de campo. La menor cantidad ocurriría con 1000 kg de MS proveniente de restos vegetales conteniendo 0,1 % de P (relación C/P 480:1), típico de un campo natural manejado extensivamente; mientras que la mayor cantidad resultaría de 10000 kg de materia seca de restos vegetales muertos con 0,2 % de P (relación C/P 240:1). Además cuantifica el aporte de las raíces el cual sería de unos 7, 5 kg/ha/año de fósforo.

2.4.3.2. Acidez del suelo

Uno de los principales mecanismos por el cual el pH del suelo afecta la disponibilidad de fósforo es afectando la solubilización de los compuestos fosfatados.

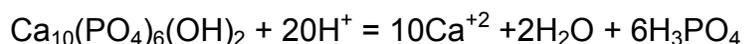
Según Rabuffetti et al. (1983), en suelos ácidos el efecto del pH del suelo sobre el comportamiento de los fosfatos de Al, Fe y los hidróxidos asociados se puede representar de forma simplificada de la siguiente manera:



Con un aumento en el pH o actividad del OH^- , los fosfatos de Al y Fe liberan fosfato en forma soluble y el Al y Fe permanecen en forma insoluble como hidróxidos. Por el contrario con una disminución del pH o actividad del ión OH^- , o con un aumento en la actividad del ión fosfato aumenta la tendencia de los hidróxidos de Al y Fe a reaccionar con el fosfato formando fosfatos de Al y Fe respectivamente (Rabuffetti et al., 1983).

En suelos calcáreos la concentración de fosfato en solución del suelo es gobernado principalmente por la formación y disolución de fosfato de calcio que dependerá del pH del suelo y de la concentración de Ca en el mismo. Cuanto más baja la relación Ca/P del fosfato de calcio más alta es su solubilidad en agua (Mengel y Kirkby, 2001).

El efecto del pH que tiene que ver con los fosfatos de calcio puede verse a través de la siguiente ecuación convencional para la hidroxiapatita:



Los fosfatos de calcio se disuelven a medida que el pH aumenta debido a la tendencia de los iones H^+ de asociarse con los iones fosfato. Con la hidroxiapatita que contiene iones OH^- , la tendencia de los iones H^+ a asociarse con los OH^- para formar agua es otro factor en la disolución del compuesto, ante una disminución del pH (Rabuffetti et al., 1983).

2.4.3.3. Cambios en las condiciones de oxidación-reducción de los suelos

Cuando por exceso de agua en el suelo se establecen condiciones de anaerobiosis, los microorganismos del suelo deben hacer uso de otros elementos como aceptores de electrones. Tal es el caso del hierro el cual se

reduce de su forma oxidada Fe^{+3} a Fe^{+2} . Esta reducción del hierro trae como consecuencia la liberación del fosfato a la solución del suelo, aumentando la disponibilidad del fósforo (Hernández, 1999).

Esta información coincide con lo aportado por Patrick et al., Sanyal et al., citados por Morón et al. (1994), quienes establecen que el comportamiento del fósforo en suelos inundados difiere marcadamente de lo que es en condiciones normales. Generalmente la inundación aumenta la disponibilidad del fósforo nativo y del agregado.

Además existen otros mecanismos por los cuales un período de anegamiento en los suelos puede aumentar la disponibilidad de fósforo. Uno de ellos es por el aumento o descenso de pH en suelos ácidos y calcáreos respectivamente que genera esta condición de anaerobiosis. Otro mecanismo es por la mineralización de la materia orgánica que se produce en estas condiciones lo cual trae como consecuencia la liberación de fósforo a partir de formas orgánicas (Hernández, 1999).

2.4.3.4. Extracción de fósforo en los productos agrícolas

Las pérdidas de fósforo exportado por los productos agrícolas depende de la cantidad de producto retirado y de la concentración del nutriente en el mismo (Morón, 1992).

La extracción del fósforo con la remoción del forraje puede llegar a ser de 0,4% del contenido de este nutriente en la capa arable del suelo. Estos valores son considerablemente más bajos si se lo compara con la extracción de productos agrícolas (Morón, 1992).

Hanway y Olson, citados por Morón (1992) consideró para maíz (5000 kg/ha), sorgo (4000 kg/ha), soja (1800 kg/ha), avena (1600 kg/ha), trigo (2400 kg/ha) y cebada (1900 kg/ha) una extracción variable de fósforo en la parte cosechada en torno a los 7 y 15 kg/ha.

Valores aún mayores destaca Barber (1995) haciendo referencia a extracciones por parte de los cultivos del orden de 10 a 40 kg/ha de fósforo.

2.4.3.5. Pérdidas por acción de la lluvia

El fósforo puede ser perdido en solución por lixiviación dentro del perfil del suelo, en solución por escurrimiento superficial y en las partículas del suelo por el mismo proceso. Estos procesos ocurren de forma natural aunque la actividad del hombre aumenta sus efectos. Las pérdidas por lixiviación dentro del perfil del suelo son de magnitudes muy bajas, mientras que las pérdidas por escurrimiento suponen pérdidas mayores del nutriente (Morón, 1992).

En cuanto a las pérdidas de fósforo del fertilizante agregado, Whitehead (2000) menciona que los factores que influyen en la magnitud de las pérdidas son la pendiente, altura y densidad de la cobertura vegetal, así como el tipo de fertilizante agregado y su forma de aplicación.

2.4.4. Retención de fósforo por los suelos

Es el fenómeno que ocurre cuando se agrega un fertilizante fosfatado soluble en agua al suelo observándose rápidamente una desaparición casi total del mismo de la solución del suelo (Hernández, 1999).

Stevenson y Cole (1999) determinan que tanto como el 90% del fósforo agregado no es consumido por las plantas sino más bien retenido bajo formas insolubles por el suelo.

Básicamente se conocen dos mecanismos de retención de fósforo en los suelos: precipitación y adsorción.

- La precipitación es un fenómeno que ocurre en la solución del suelo, estando presentes en la misma Ca^{+2} , Al^{+3} y Fe^{+3} ya que el fosfato reacciona con estos cationes resultando en compuestos que precipitan (Hernández, 1999).

- La adsorción es un proceso de retención aniónica que se da sobre la superficie de óxidos, hidróxidos y carbonatos. Esta reacción de retención de fosfato es menos reversible que la de retención de cationes ya que se tienden a formar compuestos cada vez más estables y menos reversibles (Hernández, 1999). En general es mayor a medida que aumenta el contenido de arcilla en el suelo.

El alto grado de retención en los suelos ácidos está explicado por la presencia de altos contenidos de Aluminio intercambiable, elemento que se

asocia fuertemente al fósforo en solución formando compuestos que precipitan y disminuyendo la concentración de fósforo en solución. En suelos calcáreos el alto pH y la gran actividad del Ca son los responsables de la precipitación del fósforo (Rabuffetti et al., 1983).

Con respecto al proceso de adsorción, en suelos ácidos los componentes de la fracción arcilla responsables de que ocurra el proceso son las arcillas aluminosilicatadas y los óxidos de Fe e hidróxidos de Al. Por otro lado, en suelos calcáreos la adsorción se da sobre carbonato de calcio (siendo el proceso que domina a bajas concentraciones de fósforo) y/o sobre las partículas de arcilla que tienen en general una alta saturación en Ca, por lo que el fosfato se une a ellas a través de puentes de Ca (Rabuffetti et al., 1983).

A modo de síntesis, en suelos ácidos la adsorción de fosfatos es el proceso dominante afectando la disponibilidad de los mismos para las plantas (Mengel y Kirkby, 2001). En estos suelos, el fósforo adsorbido es retenido con una energía de enlace 5 veces mayor que en suelos calcáreos (Hernández, 1999).

2.4.5. Absorción de fósforo por las plantas

Como se mencionó anteriormente, las plantas absorben el fósforo desde la solución del suelo, más precisamente los iones H_2PO_4^- y HPO_4^{2-} , dependiendo del pH del suelo que sea una u otra forma.

La velocidad de absorción está determinada en parte por la concentración en la solución del suelo cerca de la superficie radicular y en parte por la velocidad de movimiento de los iones hacia la misma (Whitehead, 2000).

La absorción por difusión es más importante que la que ocurre por flujo masal, pero por ambas vías es lenta debido a los procesos de precipitación y adsorción de fósforo que ocurren en el suelo. Debido a esta lentitud en el movimiento del fósforo, la absorción ocurre principalmente desde una zona de 2-3 mm de diámetro alrededor de las raíces activas. Por esto es que la velocidad de crecimiento de las raíces así como el número y longitud de pelos de las mismas, son factores de importancia en el proceso de absorción del nutriente (Whitehead, 2000).

Esta información concuerda con lo expuestos por Barber (1995) quien determina además que la difusión ocurre por diferencias de gradiente de concentración. Por esto al haber menor concentración de fósforo en la superficie de las raíces de las plantas que en la solución del suelo, el nutriente se mueve desde esta última hacia las raíces.

Según Hernández (1999) la temperatura, el contenido de agua en el suelo y el factor tortuosidad afectan al mecanismo de difusión. La temperatura influye sobre el coeficiente de difusión del agua aumentando su viscosidad, por lo tanto en invierno la planta es más dependiente de altas concentraciones de fósforo en la solución para satisfacer sus necesidades. El contenido de agua en el suelo afecta el camino a recorrer en el mismo hasta que el nutriente llega a la superficie radicular. El factor tortuosidad implica el contenido de agua en el suelo y el tamaño de las partículas del mismo, por lo que en un suelo de textura pesada y seco, el camino se presentará más tortuoso.

En condiciones de estrés hídrico se ve reducido el consumo de fósforo por parte de las plántulas. Sin embargo este efecto se puede ver minimizado por la capacidad del suelo de aportar el nutriente. En aquellos suelos de alta fertilidad natural y alto contenido de fósforo disponible, el consumo por parte de las plantas caerá significativamente y en términos relativos, en mayor medida que en un suelo de medio o bajo contenido de fósforo disponible. Sin embargo, en términos absolutos, la cantidad de fósforo absorbido por las plantas será mayor que en los otros casos (Fertilizer Industry Federation of Australia, 2006).

2.4.6. Fuentes de fertilizantes fosfatados

Desde hace muchos años la fuente más importante para la fabricación de fertilizantes fosfatados es la roca fosfatada o fosforita cuyo compuesto dominante es básicamente la apatita pudiendo ocurrir en distintas formas tales como fluorapatita, cloroapatita o hidroxiapatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})_2$). Los mayores depósitos se encuentran en Marruecos (50% aproximadamente) mientras que el resto se extrae de yacimientos ubicados en Estados Unidos, Rusia, Sudáfrica y China (Hernández, 1999).

Esta roca puede ser aplicada directamente al suelo como fertilizante para la nutrición de las plantas luego del proceso de tamizado y molienda o bien tratada con ácidos para la fabricación de productos utilizados como fuentes solubles de fósforo (Casanova, 2004).

2.4.6.1. Rocas fosfatadas o fosforita finamente molida

La fosforita de Gafsa (Túnez) así como la del estado de Carolina del Norte (Estados Unidos) son en la actualidad las 2 rocas fosfatadas de mayor eficiencia relativa agronómica, siendo la primera la que menores contenidos de fósforo presenta (Hernández, 1999).

El mismo autor clasifica a las fosforitas o rocas fosfatadas en dos tipos haciendo referencia a la composición química de la roca lo cual determina la factibilidad o no de utilizar estos materiales directamente como fuentes de fósforo: las fosforitas duras y las blandas. Las primeras tienen como mineral predominante a la fluorapatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$), haciendo que la roca sea muy estable térmicamente y de baja reactividad química, siendo su uso directo como fuente de fósforo no recomendado. Por otro lado, si se recomienda para la fabricación de fuentes solubles al tratarla con ácidos.

Las fosforitas blandas, en cambio, son un material generalmente menos rico en fósforo y calcio pero térmicamente menos estable y de mayor reactividad química que las duras. Esto se traduce en una mayor solubilidad del fósforo de la roca frente a los reactivos utilizados en la caracterización de los fertilizantes fosfatados así como en una mayor solubilización de la roca en el suelo (Hernández, 1999).

Existen regiones y suelos donde la utilización de las fosforitas es la mejor opción. La magnitud de su efecto en las pasturas estará determinado por factores tales como: a) aquellos inherentes a la reactividad de la roca, b) las condiciones del suelo y c) el factor planta. En cuanto a los primeros, se refiere al tipo de mineral que contiene la roca que como se mencionó anteriormente, determinará una mayor o menor reactividad y solubilización del fósforo en el suelo. Las condiciones del suelo, hacen referencia a que cuanto mayor sea la acidez y menor concentración de calcio en solución e intercambiable tenga, al

igual que de fósforo, se verá favorecida la disolución de la fosforita (Morón, 2002).

Por último, el factor planta se refiere al efecto de acidificación del suelo por parte de las leguminosas al fijar nitrógeno atmosférico por el proceso de fijación biológica (Williams, Haynes, Bolan, citados por Morón, 2002). Este proceso provoca la liberación de iones H^+ a la rizósfera con su consecuente efecto de acidificación.

A modo general, los suelos que presentan mejor comportamiento al agregado de fosforita natural son aquellos con pH menor a 5,6, CIC menor a 10 meq, baja materia orgánica y % de saturación de bases menor a 70% (Morón, 2002). En este sentido para el Uruguay, las regiones en las que la fosforita presenta mejores resultados son el Cristalino del este y el Cristalino central en ese orden.

2.4.6.2. Fuentes solubles

A estos materiales fertilizantes, se les ha aumentado la solubilidad del fósforo, a través de un tratamiento ácido o térmico (Hernández, 1999). Los ácidos más utilizados son el ácido fosfórico (H_3PO_4) y el ácido sulfúrico (H_2SO_4), y dependerá el uso de uno u otro la formación de distintos fertilizantes que se comentarán a continuación.

Al tratar la fosforita con H_2SO_4 se obtiene un producto comercial llamado "Hyperfos" el cual contiene 28% de P_2O_5 total y 14% de P_2O_5 asimilable, además de 4% de azufre (Casanova, 2004).

Un ataque total de la roca con H_2SO_4 permite obtener H_3PO_4 de uso agrícola el cual contiene 55 % de P_2O_5 y es líquido por lo que se puede aplicar directamente al suelo o bien disuelto en el agua de riego en sistemas intensivos (Hernández, 1999).

Por el contrario, un ataque menor de la roca fosfatada con H_2SO_4 , pero suficiente como para transformar el fosfato tricálcico en monocálcico permite la obtención del Superfosfato de calcio. Es una mezcla de fosfato monocálcico

($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$) y yeso (CaSO_4), la cual contiene 24 % de Ca, 12 % de S y 23 % de P_2O_5 siendo más del 90 % del mismo soluble en agua (Casanova, 2004).

Al utilizar H_3PO_4 como reactivo en el tratamiento de la fosforita, se aumenta la solubilización de esta y la concentración de fósforo en el producto final (Casanova, 2004). Así se obtienen los Superfosfatos triples que contienen 44-53 % de P_2O_5 , siendo más del 90 % soluble en agua. Es una fuente utilizada también para la elaboración de fertilizantes NPK como fuente de fósforo, teniendo la ventaja de ser más concentrado que el superfosfato común lo que implica menores costos de traslado y almacenamiento (Hernández, 1999).

Por último, el agregado de amonio a la fosforita tratada con H_3PO_4 genera diferentes Fosfatos de amonio de acuerdo a la sustitución de este en la molécula de fosfato monocálcico. Así se obtienen fosfato monoamónico (11-52-0) ó diamónico (21-42-0) siendo la formula comercial más común de este último 18-46-0 (Casanova, 2004).

En el Cuadro No. 2 se presenta para los principales fertilizante comerciales sus concentraciones de P_2O_5 total y soluble en H_2O .

Cuadro No. 2 - Solubilidad en diferentes reactivos del fósforo asimilable de los principales fertilizantes comerciales.

Fuente	% P_2O_5 total	% P_2O_5 soluble en H_2O
Fosforita blanda	28	-
Superfosfato común	23	21
Superfosfato triple	46	46
Fosfato monoamónico	52	52
Fosfato diamónico	46	46
Ácido fosfórico	76-85	76-85

Fuente: Casanova (2004)

2.4.7. Importancia del fósforo en las plantas

Entre las numerosas funciones del fósforo en las plantas, se destaca su participación en la transferencia de energía. El nucleótido ATP contiene tres enlaces fosfato, constituyendo el mecanismo fundamental en el almacenamiento de energía en la célula. La energía contenida en estos enlaces es liberada para llevar a cabo varios procesos en la célula, tales como el

transporte activo de iones y la síntesis de moléculas orgánicas (Whitehead, 2000). Además es componente de los ácidos nucleicos ADN y ARN, y de intermediarios de la respiración y fotosíntesis (Taiz y Zeiger, 2010). Por su rol en la estructura de los ácidos nucleicos, el fósforo es esencial en el proceso de división celular (Whitehead, 2000).

Otros procesos que involucran al fósforo en la planta son la estimulación del crecimiento celular, floración, fructificación y formación de semillas (Hernández, 1999).

En la producción de pasturas, el bajo nivel de fósforo en el suelo disminuye la implantación, las tasas de crecimiento, y la concentración del nutriente en el forraje, disminuyendo la calidad nutritiva del mismo. Por lo tanto la corrección de los niveles de fósforo se tornan imprescindibles para el logro de un mejoramiento productivo y persistente (Carámbula, 1996).

2.4.8. Efectos de la deficiencia de fósforo en las plantas

La concentración de fósforo en plantas que presentan deficiencias es generalmente baja, del orden de 1 a 2 mgP/gMS (o incluso menor), mientras que para plantas forrajeras o cereales sin restricciones la misma es del orden de 3 a 4 mgP/gMS durante el período vegetativo de crecimiento (Mengel y Kirkby, 2001).

Plantas que sufren deficiencia de fósforo reducen el área y la expansión de las hojas, así como experimentan reducción en el número de hojas (Freeden et al., Lynch et al., citados por Ferrés et al., 2003). El primero es uno de los síntomas que aparece más temprano y se debe a un menor aporte de agua a las hojas como resultado de una reducción de la conductancia hidráulica de las raíces (Radin, citado por Mengel y Kirkby, 2001). Por otro lado la capacidad de asimilar dióxido de carbono fotosintético de las hojas se reduce, aunque siendo este efecto menos importante que la reducción en el crecimiento vegetal. La concentración de la clorofila en las hojas en crecimiento puede incluso aumentar (Rao y Terry, citados por Mengel y Kirkby, 2001) permitiendo que se mantenga algo de actividad fotosintética.

Se observa en condiciones de deficiencia de fósforo que las raíces no se ven resentidas en su crecimiento al nivel experimentado por tallos y hojas. Esto puede observarse a través de una disminución en la relación tallo/raíz en

peso seco. Esta disminución, se correlaciona generalmente con un incremento en el flujo de carbohidratos hacia las raíces (Kamis et al., Marschner, citados por Ferrés et al., 2003).

Esta respuesta de la planta a favor del crecimiento de las raíces ante una deficiencia de fósforo en el suelo, permite un aumento de la explotación mayor del suelo en la adquisición de fosfatos y esto es mejorado por el acompañamiento de cambios morfológicos y fisiológicos que ocurren en las raíces (Mengel y Kirkby, 2001). Estos incluyen el aumento en cantidad y longitud de raíces finas, además de aumento en el número y longitud de pelos radiculares y una estimulación en la actividad de la enzima fosfatasa en la superficie de las raíces, entre otras (Anghinoni y Barber, Fohse y Jungk, Tarafdar y Jungk, citados por Mengel y Kirkby, 2001).

Hernández (1999) afirma que los síntomas de la deficiencia se observan generalmente en las hojas más viejas, las cuales adquieren un color verde oscuro. Esto ocurre debido a la movilidad que presenta el elemento en la planta, lo cual permite la translocación desde hojas viejas a las nuevas en condiciones restrictivas en el nivel del nutriente (Ozanne, citado por Whitehead, 2000).

En este sentido, Mengel y Kirkby (2001) determinan que la concentración de fósforo es mayor en plantas u órganos jóvenes que maduros. En la paja de cereales la concentración varía de 1 a 1,5 mgP/gMS mientras que en granos o semillas la misma oscila entre 4 y 5 mgP/gMS, demostrando que durante el período de formación de semillas una gran cantidad de fósforo es traslocado a estos órganos desde las hojas y tallos.

2.4.9. Requerimientos de fósforo de las leguminosas y su eficiencia de uso

El aumento en el suministro de fósforo incrementa la proporción de las leguminosas en la producción total de forrajes en una pastura mezcla con gramíneas. Esto significa que la habilidad competitiva de las leguminosas, es comparativamente menor que la de las gramíneas en condiciones restrictivas en el nivel de nutriente (Rabuffetti et al., 1983). La diferencia en la habilidad de absorber fósforo entre gramíneas y leguminosas puede ser explicada por la morfología diferencial. Por un lado, la mayoría de las gramíneas producen una densa red de raíces finas y fibrosas que ramifican completamente dentro de los estratos del suelo, capaz de explorar toda la masa del suelo y, de esta manera,

extraer suficientes cantidades de fósforo. Las leguminosas, en cambio, presentan un sistema radicular con una raíz principal o ramificaciones de menor extensión y fibrosidad, lo cual disminuye comparativamente la capacidad de exploración (Engelstad y Terman, citados por Ferrés et al., 2003). En los primeros 20 cm del suelo las gramíneas pueden producir el doble o triple de densidad de raíces que las leguminosas en siembras asociadas (Schwendiman et al., citados por Ayala Torales, 1998).

La etapa de implantación en leguminosas perennes es, a su vez, la etapa más crítica si el objetivo es obtener una pastura productiva. En fechas normales de otoño, las especies perennes registran los mayores requerimientos de fósforo debido a su lento establecimiento, escaso volumen radicular y el descenso de temperatura que ocurre al avanzar la estación. Por otro lado, se produce un descenso en la disponibilidad de fósforo por las menores temperaturas, lo que genera que el invierno sea el período en el año donde las leguminosas presentan mayores requerimientos del nutriente (Bordoli, 1998). La combinación de estos factores explican los motivos de los mayores requerimientos de fósforo en la etapa de implantación respecto a etapas en que la pastura ya está implantada, y sólo debe mantener el nivel de producción.

Además de esta diferencia en los requerimientos de fósforo entre gramíneas y leguminosas, existen marcadas diferencias entre las distintas especies de este último grupo. En el Cuadro No. 3 se presentan los requerimientos de fósforo para la instalación de diferentes especies en suelos de texturas medias y pesadas del sur y litoral del Uruguay.

Cuadro No. 3 - Requerimientos de fósforo en instalación de diferentes especies en suelos de texturas medias y pesadas del sur y litoral

Especie	Rango crítico Bray I (ppm en muestras de 0-15 cm de profundidad)
<i>Medicago sativa</i>	20 – 25
<i>Trifolium repens</i>	15 – 16
<i>Trifolium pratense</i>	12 – 14
<i>Lotus corniculatus</i>	10 – 12

Fuente: adaptado de Bordoli (1998)

Trifolium repens es una leguminosa de alto valor nutritivo, muy adaptada al pastoreo. Para expresar su potencial de producción tiene altos requerimientos de fertilidad de los suelos donde se implanta (García, Morón, citados por Ferrés et al., 2003). Los mayores requerimientos respecto a *Trifolium pratense* y *Lotus corniculatus* se deberían a mayores requerimientos internos del nutriente o a una menor eficiencia interna en el uso del mismo (Bordoli, 1998).

Trifolium pratense es también una especie con alto valor nutritivo, especialmente en estado vegetativo (Carámbula, 1996). Como fue presentado, es una especie exigente en el contenido de fósforo en el suelo, aunque con niveles algo menores a los exigidos por *Trifolium repens* (Bordoli, 1998).

Dentro de las especies más adaptadas a condiciones de baja disponibilidad de fósforo se encuentra el *Lotus corniculatus*, especie que además se adapta a suelos con bajo pH y niveles extremos de humedad. Estas características le confieren a la especie un rol preponderante en lo que refiere a mejoramientos de pasturas en zonas de ganadería extensiva (Carámbula, 1996).

Según Davis, citado por Ferrés et al. (2003), las concentraciones críticas de fósforo en planta para *Trifolium repens*, *Trifolium pratense*, y *Lotus corniculatus* son de 0,34, 0,28 y 0,23% respectivamente. Esta información es consistente con las diferencias en los niveles críticos de fósforo en suelo presentados anteriormente, y explican por qué el *Lotus corniculatus* presenta un mejor desempeño productivo en condiciones restrictivas de este nutriente.

En Nueva Zelanda, Hart et al. (1981) afirman que *Trifolium repens* y *pratense* presentan mayores producciones de forraje que *Lotus corniculatus*, requiriendo mayores niveles de fósforo para expresar ese crecimiento. En condiciones de baja disponibilidad de fósforo la situación se revierte y *Lotus corniculatus* obtiene mayores rendimientos.

Los niveles exigidos por las leguminosas para mantenimiento (según sugieren los mismos ensayos que arrojaron los resultados del Cuadro No. 3) serían del orden de 2-3 ppm menos que los niveles para implantación. Lograr estos niveles de suficiencia de fósforo en el suelo para mantener la productividad de las leguminosas sólo es posible a través de refertilizaciones anuales (Bordoli, 1998).

2.4.10. Influencia de la fertilización fosfatada en la producción de forraje

La magnitud de la respuesta en producción de forraje a la fertilización fosfatada depende del tipo de suelo, historia de fertilización y la regularidad con que la pastura es cortada o pastoreada. En suelos con pH entre 5,0 y 7,5, deficientes en fósforo, la fertilización fosfatada produce una respuesta económicamente aceptable en cuanto a la producción de forraje. Por otro lado, en suelos ácidos la respuesta es menor debido a que el nutriente rápidamente se convierte a formas insolubles, no disponibles para las plantas (Whitehead, 2000).

La aplicación regular de fertilizante durante una serie de años tiende a incrementar la disponibilidad de fósforo para las plantas, por lo que en pasturas con alta historia de fertilización la respuesta en producción de forraje tiende a ser de mayor magnitud (Whitehead, 2000).

La respuesta a la fertilización fosfatada interacciona con los niveles de otros nutrientes, tales como nitrógeno y azufre. Sinclair et al. (1996) encontraron en una pastura compuesta por *Lolium multiflorum* y *Trifolium repens* una interacción positiva entre el agregado de fósforo y el agregado de azufre. El agregado de 80 kg P/ha sin agregado de azufre arrojó una producción 8350 kg MS/ha/año, y con el agregado de 30 kg S/ha la pastura produjo 14130 kg MS/ha/año.

2.4.11. Respuesta a la fertilización fosfatada en mejoramientos extensivos

Existe una gran cantidad de ensayos cuantificando la respuesta de los mejoramientos extensivos al agregado de fósforo en nuestro país.

En el Cuadro No. 4 se presenta la descripción de algunos de los experimentos revisados, y en el Cuadro No. 5 los resultados de los mismos.

Cuadro No. 4 – Descripción de los experimentos revisados

Exp.	Descripción
1	Dos tratamientos de fertilización inicial, se presenta las producciones promedio de primer año para cuatro densidades de siembra.
2	Cuatro tratamientos de fertilización inicial, se presenta la producción de primer año.
3	Cuatro tratamientos de fertilización inicial, se presenta la producción promedio de primera año de dos fuentes diferentes (Fosforita natural y Superfosfato).
4	Dos tratamientos de fertilización inicial, se presenta la producción de la fracción <i>Trifolium repens</i> promedio de dos fuentes (Superfosfato e Hiperfosfato), en el primer y segundo año.
5	Dos tratamientos de fertilización inicial, se presenta la producción de primer año para dos años de siembra.

Cuadro No. 5 – Resultados de los experimentos revisados.

Exp.	Especie	Región	Fertilización fosfatada	Producción de forraje		Autor/es
			kg P ₂ O ₅ / ha	kg MS/ha/año		
1	TB	Cristalino	60	3124		Risso, citado por Risso et al. (2001)
			120	4884		
2	TB + Lc	Lomadas del Este	0	1954		Ferrés et al. (2003)
			45	4249		
			90	5243		
			135	5426		
3	TB + Lc	Cristalino	0	1727		Risso et al. (2001)
			40	2282		
			80	2830		
			160	3570		
4	TB + Lc	Lomadas del Este	88 220	<u>1^{er} año</u>	<u>2^{do} año</u>	Bermúdez et al. (2008)
				486	185	
				1112	1096	
5	TB + Lc	Basalto	40 80	<u>1994</u>	<u>1995</u>	Bemhaja (1998)
				2700	4400	
				2700	4500	

TB: *Trifolium repens*, Lc: *Lotus corniculatus*

Como puede apreciarse en el Cuadro No. 5, la información obtenida en el país es consistente en cuanto al incremento de la producción de forraje con niveles crecientes de fósforo. Esta respuesta es esperable dados los bajos niveles de fósforo disponible para las plantas que presentan los suelos de nuestro país.

2.5. MANEJO DEL PASTOREO

2.5.1 Defoliación y parámetros que la afectan

La defoliación es la remoción de parte de la biomasa aérea. Este acto genera un disturbio al crecimiento de la pastura. La defoliación se cuantifica a

través de la frecuencia, la intensidad y el momento. Se entiende por frecuencia al intervalo de tiempo, la intensidad como la proporción de biomasa que es removida o la presión del pastoreo, y al momento como la fase de desarrollo en que se encuentran las especies (o la estación del año) (Escuder, 1997b).

Según Carámbula (2004) el manejo del pastoreo debe dirigirse de forma de generar las condiciones ideales para un máximo crecimiento de las pasturas y un mínimo impacto sobre los recursos naturales, favoreciendo a la vez la producción animal.

Algunas de las ventajas del pastoreo son el aumento de la cantidad de luz en los estratos inferiores, la mejora en la cantidad de luz rojo/rojo lejano, el efecto sobre el número de hojas y la relación raíz/parte aérea. También existe un efecto benéfico de la defoliación sobre el establecimiento de plantas al aumentar la intensidad lumínica (Curll et al., citados por Silveira, 2005).

Las pasturas son cosechadas varias veces por año por corte o pastoreo, lo que implica perder casi la totalidad de la superficie foliar interceptora de luz. Consecuentemente, la producción depende estrechamente del rebrote y de los factores que lo afectan (Davies, 1988).

Las especies de leguminosas tienen distintos requerimientos de manejo en función de su fisiología, hábito de crecimiento, entre otros aspectos. Por consiguiente, la forma (intensidad, frecuencia, época del año) en que son defoliadas tiene efectos muy importantes en su producción posterior (García, 1992).

El pastoreo incide directamente sobre la morfogénesis de las especies integrantes de las comunidades vegetales. Esta incidencia va a depender básicamente de la especie animal y de la densidad de carga que soporta la pastura (Azanza et al., 2004).

Altas presiones de pastoreo tienden a una defoliación uniforme del pastoreo, mientras que la subutilización conduce a una defoliación por pastoreo desigual (Toledo y Derrick, 1990).

A través del método de pastoreo se determina la ubicación espacial y temporal de los animales en los diferentes potreros de un establecimiento (Escuder, 1997b).

Generalmente se diferencian dos métodos de pastoreos: continuo e intermitente. En el continuo un número fijo de animales permanece en un área especificada por un prolongado período de tiempo existiendo dos variables, carga fija y carga variable (Gregorini et al., 2007).

El pastoreo intermitente envuelve una secuencia regular o un arreglo más o menos formalizado de defoliaciones y descansos sobre un cierto número de parcelas, siendo el rotativo la forma más común de pastoreo intermitente. En este tipo de manejo por tanto un ciclo está constituido por un período de pastoreo y un período de descanso. La frecuencia y la intensidad de defoliación dependerían directamente y solamente de la carga animal instantánea y la duración del período de pastoreo (Gregorini et al., 2007). Las múltiples combinaciones posibles de períodos de pastoreo y descanso hacen que el pastoreo intermitente no pueda ser definido con facilidad. La suma de ambos períodos determina la duración del ciclo de pastoreo, que es el tiempo que transcurre entre las fechas de comienzo de pastoreos sucesivos (Escuder, 1997b).

Cabe considerar el pastoreo diferido, que resulta de dejar empastar un potrero y luego utilizarlo por un período relativamente largo (2-3 meses), aprovechando el forraje acumulado conjuntamente con el que se produce durante el período de utilización (Escuder, 1997b).

El entendimiento y conocimiento de las interacciones entre animales y pasturas son determinantes para la maximización de la producción animal en sistemas pastoriles, existiendo un efecto de los animales sobre la composición, el rebrote y la persistencia de las pasturas, y, un efecto de las características y estructura del forraje sobre el comportamiento, consumo, y producción animal (Montossi et al., 1996).

2.5.1.1. Carga animal

La carga animal ha sido definida como el número de animales de una categoría específica por unidad de área total. La carga animal instantánea se refiere al número de animales por unidad de área que realmente está siendo usada para pastoreo en un punto en el tiempo. En este sentido, Wheeler (1962), Escuder et al. (1987) afirman que la asignación a la pastura de un número adecuado de animales es el factor principal o de mayor peso relativo en la

producción vegetal, por sus efectos directos y por la interacción que generalmente se observa con otras estrategias de manejo.

La asignación diaria de forraje es la cantidad de forraje disponible por unidad animal. Normalmente se expresa como kilos de forraje (en base seca) disponibles por kilo o por cada 100 kilos de peso vivo del ganado, y se determina incluyendo el tamaño del potrero, número de los animales y tamaño de los animales. El productor controla la presión o intensidad de pastoreo a través de la regulación del número y tipo de animales por hectárea (Escuder, 1997b).

La asignación diaria de forraje, en lugar de la producción por sí sola, es un indicador más útil de la influencia de la disponibilidad de forraje sobre el consumo. De acuerdo al NRC, citado por Lyons et al. (2001) no se espera que se incremente el consumo cuando se tiene una asignación de forraje arriba de 20 kg por cada 100 kg de peso vivo. De 20 kg a 4 kg de asignación diaria de forraje se espera una disminución del consumo en un 15%, mientras que por debajo de los 4 kg la disminución en el consumo resulta excesiva.

Por lo tanto la carga óptima puede ser definida como la que maximiza la cosecha de energía y la eficiencia de conversión del forraje producido por una pastura, en forma sustentable en el tiempo (Escuder, 1997b).

2.5.1.2. Intensidad

Con referencia al rendimiento de cada pastoreo o corte (intensidad de cosecha), este está dado por la altura del rastrojo al retirar los animales o después de efectuado un corte y no solo afecta el rendimiento de cada defoliación, sino que condiciona el rebrote y por lo tanto la producción total. En este sentido la mayor intensidad tiene una influencia positiva en la cantidad de forraje cosechado pero negativa en la producción de forraje subsiguiente (Carámbula, 1996).

Langer, citado por Agustoni et al. (2008) plantea que las pasturas manejadas con muy altos o muy bajos remanentes presentaran problemas de producción y supervivencia, lo que indica que siempre se debe evitar la disponibilidad de masas extremas de forraje.

Según Carámbula (1996), una mayor intensidad de defoliación tiene una influencia positiva en la cantidad de forraje cosechado, pero negativa en la producción de forraje posterior.

Cada especie posee una altura mínima a la cual puede dejarse el rastrojo sin que el crecimiento posterior sea afectado desfavorablemente. Así, las especies postradas admiten alturas menores de defoliación que las especies erectas, aunque estas últimas pueden adaptar parcialmente su crecimiento hacia arquitecturas mas postradas como respuesta a un manejo intenso (Carámbula, 1996).

En base a lo anteriormente dicho, Carámbula (2004) señala que pastoreos o cortes poco frecuentes y severos (intensos) proporcionan rendimientos mayores de forraje de menor calidad, mientras que pastoreos o cortes repetidos y aliviados promueven rendimientos menores pero de mayor calidad.

2.5.1.3. Frecuencia

Hace referencia al número de pastoreos o cortes que se hacen a una pastura. Cuanto mayor es el número de ellos, menor es el tiempo de crecimiento entre dos aprovechamientos sucesivos y por lo tanto más baja la producción de forraje de cada uno de ellos (Jacques y Edmond, Chamblee et al., Paterson y Hagam, Parsons y Davis, Pritsch, citados por Carámbula, 1977).

La frecuencia óptima depende de cada especie en particular o de la composición de la pastura y de la época del año en que se realice. Quien determina la frecuencia óptima entre pastoreos es la velocidad en que la pastura alcanza el volumen adecuado de forraje. El índice de área foliar óptimo es aquel que en que el canopeo intercepta el 95% de la radiación incidente, y varía con el hábito de crecimiento de cada especie. Así, en pasturas con índice de área foliar óptimo bajo, como aquellas dominadas por leguminosas postradas, es posible realizar aprovechamientos más intensos con defoliaciones más frecuentes que en pasturas dominadas por gramíneas erectas, dado que el índice de área foliar óptimo sería para las leguminosas entre 3 y 5, y para dichas gramíneas entre 9 y 10 (Carámbula, 1996).

2.5.2. Proceso de defoliación: factores y consecuencias en el campo natural

La producción de forraje de los mejoramientos extensivos depende en primer término del potencial genético de las especies utilizadas y de las condiciones climáticas y edáficas imperantes. No obstante el manejo impuesto a la pastura es determinante en el proceso de producción de materia seca (Ayala y Carámbula, 1996b).

La capacidad de respuesta que tienen las especies vegetales va a depender de la frecuencia y número de veces que es pastoreada, la altura o intensidad de pastoreo, el tipo de animal (lanar o vacuno) y la carga (Millot, 1994).

Otro fenómeno a través del cual se ven afectadas las plantas es el pisoteo. En general las plantas erectas con meristemas de crecimiento aéreo ubicados en las partes altas de la planta son más afectadas negativamente que plantas que se desarrollen en meristemas cercanos al suelo y/o coronas. Igualmente, plantas con estolones o rizomas tienden a ser menos afectadas. Por otro lado plantas con tallos flexibles y menos frágiles podrán soportar mejor el efecto del animal caminando sobre la pastura (Toledo y Derrick, 1990).

2.5.2.1. Carga en campo natural y mejoramientos extensivos

Si la dotación excede la capacidad de carga, generalmente se produce un cambio en la composición de una comunidad vegetal a otra que es menos productiva o de menor valor para la alimentación que está asociado a un cambio en los tipos vegetativos. Esto ocurre porque el pastoreo selectivo coloca en desventaja para competir a aquellas plantas más utilizadas. En este sentido los ovinos tienen una mayor capacidad de degradación de las pasturas naturales que los vacunos (Berretta et al., 2001).

Es necesaria una carga instantánea elevada, para que los animales consuman las especies introducidas, así como las nativas, limitando el desperdicio o endurecimiento del forraje y evitando el consumo del rebrote. También es necesario evitar el sobrepastoreo para permitir un rebrote importante de la pastura mejorada, antes de un nuevo período de utilización (Berretta et al., 2001).

La dotación ejerce un efecto determinante sobre el grado de selección animal, la disponibilidad y la composición de la oferta forrajera. En

mejoramientos se observan digestibilidades 9 % superiores para cargas bajas (1.07 UG/ha) respecto a cargas altas (1.22 UG/ha). Los mayores grados de utilización determinan en el largo plazo que la oferta para la situación de alta dotación presente una menor proporción de leguminosas, incidiendo por ende en la calidad de la oferta (Ayala et al., 1996a).

La carga afecta la calidad del forraje. En el corto plazo la calidad aumenta con la intensidad de pastoreo al disminuir la cantidad de forraje, mientras que en el largo plazo dependerá de si se produce o no un reemplazo de las especies sembradas y de la calidad de las mismas (Escuder, 1997b).

Con el manejo de la carga se afectan indirectamente los niveles de proteína, determinándose una tendencia a valores más altos para cargas más bajas como consecuencia de la modificación en la composición botánica de la pastura al incrementarse el peso relativo de las leguminosas. La proteína es el componente del valor nutritivo más sensible a las variaciones de carga (Ayala et al., 1996a).

Otra consideración que puede realizarse es sobre la disponibilidad de agua. Pastoreos con alta carga pueden aumentar el estrés hídrico por debilitamiento del sistema radicular, excesivo escurrimiento y evaporación de humedad (Berretta et al., 2001).

2.5.2.2. Selección

En pasturas templadas, evidencias experimentales muestran que los animales seleccionan preferentemente leguminosas respecto a gramíneas (Briseño y Wildman, Boostman et al., Armstrong et al., citados por Montossi et al., 1996). El material muerto puede ser rechazado por los animales debido a su baja preferencia y su baja accesibilidad en la base de la pastura (Poppi et al., Vallentine, citados por Montossi et al., 1996), mientras que lo contrario ocurre con el material vivo o verde.

La selección durante el proceso de pastoreo se ve afectada por el estado de las plantas, siendo preferidas aquellas con abundante cantidad de hojas jóvenes (Frame, citado por Ayala et al., 1996a).

En campo natural o mejoramientos extensivos los procesos de selección son muy importantes teniendo considerables consecuencias sobre la productividad animal y la evolución de los mejoramientos. La selectividad

animal de los diferentes componentes existentes dentro de una pastura está ligada a la disponibilidad y accesibilidad de los mismos durante el proceso de pastoreo. En campo natural o mejoramientos extensivos, los mecanismos de selección posiblemente jueguen un importante rol en la productividad animal y en la producción y persistencia de la pasturas (Montossi et al., 1996).

De esta manera al minimizar la selectividad animal se maximiza la utilización de la pastura, la cual está limitada por la distribución de la biomasa aérea en altura (70% del forraje en los primeros 5cm contra el suelo) (Saldanha, 2005).

La distribución vertical de los componentes de la pastura influye en el valor nutritivo de la dieta cosechada por los animales, ya que los componentes nutritivos más importantes (hojas verdes) se distribuyen en los estratos más altos de la pastura (Montossi et al., 1994).

En lo que respecta al tipo animal, los ovinos seleccionan dietas de mayor valor nutritivo que los vacunos. Los corderos tienden a seleccionar dietas con mayor proporción de leguminosas que ovinos adultos. Estas diferencias se explican por la habilidad y el método de cosecha, la forma de la cabeza, el tamaño y forma de la boca, el peso y la demanda de nutrientes de cada animal (Hughes, citado por Montossi et al., 1996).

2.5.2.3. Método de pastoreo y evolución del tapiz

Observando al sistema, se sostiene que la presencia de rumiantes determina un “equilibrio” en la vegetación, consecuencia de los efectos que genera el pastoreo por medio del consumo de biomasa y otros aspectos asociados a la defoliación, tales como tipo de bocado, selectividad, pisoteo y excretas. Las especies que dominarán serán aquellas mejor adaptadas a estas condiciones (Millot, 1994).

Existe un efecto del método de pastoreo que se mantiene en el tiempo. Pastoreos rotativos (incluso con carga y relación L/V alta) presentan un mayor rebrote que pastoreos continuos de igual carga, ya que como es de esperar los descansos favorecen la recomposición de tejido fotosintético. En contrapartida, con descansos prolongados y cargas instantáneas insuficientes se puede dar lugar a una maduración del forraje que ocasione pérdidas del valor nutritivo y disminución de la palatabilidad (Berretta et al., 2001). Esto es respaldado por

Risso et al., citados por Berretta et al. (2001) quienes sostienen que los períodos de reposo no deben ser muy prolongados, ya que de lo contrario se producen pérdidas de forraje y un desarrollo no deseado de las especies menos apetecidas. Los autores sostienen que el manejo del pastoreo debe ser muy ajustado con observaciones constantes del estado de desarrollo de la pastura para determinar los momentos más adecuados para ingresar o retirar los animales de la pastura.

Por otra parte los descansos que permitan florecer y semillar las especies invernales favorecen el incremento de su frecuencia, dado que de no semillar su persistencia dependerá entonces de los mecanismos de reproducción vegetativa (Berretta et al., 2001). Bajo manejos con descansos, uno de los cambios más importantes que se observan a nivel de vegetación es el incremento de especies de ciclo invernal (C3) (Berretta y Levratto, Bemhaja y Beretta, citados por Berretta et al., 2001).

Lo mismo sucede para algunas de las especies que se introducen en mejoramientos extensivos, para cuyo mantenimiento es importante que florezcan y semillen, de manera de asegurar su regeneración en el otoño, pasando el verano parte como plantas y parte como semillas (Berretta et al., 2001).

Esto también fue defendido por Ayala y Carámbula (1996b) quienes sostienen que el mejor comportamiento de los mejoramientos extensivos se logra cuando el manejo de pastoreo contempla a lo largo del año descansos tácticos adecuados, permitiendo la semillazón primaveral (reserva elevada de semillas en suelo) y regeneración otoñal (reclutamiento de nuevas plántulas). El manejo de los procesos de semillazón y resiembra con adecuados descansos de la pastura (en torno de los 60 días/año) han posibilitado al tercer año obtener niveles de producción animal cercanos a los obtenidos en el segundo año, sin un mayor deterioro del mejoramiento.

Cuando las especies invernales tienen escasa presencia la acumulación de forraje debe hacerse durante períodos cortos, dado que la extensión de los mismos disminuye rápidamente la calidad de forraje. Con bajos crecimientos (otoño) y pérdidas de calidad (descanso extendido) el forraje acumulado no es adecuado para cubrir las necesidades de los animales (Berretta et al., 2001).

En contrapartida un manejo intenso y frecuente durante todo el año promueve cambios en la estructura de la vegetación, reduciendo el nivel de leguminosas y entramándose los estratos inferiores. Esto conduce a porcentajes relativos menores de utilización como consecuencia de una menor accesibilidad de los animales a una parte importante del forraje (Ayala y Carámbula, 1996b).

En lo que respecta al hábito de crecimiento, períodos aliviados favorecen a las especies erectas y estas provocan sombreado en las postradas (Millot, 1994). De acuerdo a la morfología (Nabinger, citado por Fernández y Foglino, 2009) afirma que las especies cespitosas de porte alto se adaptan mejor al pastoreo rotativo, mientras que las de porte bajo, postradas o estoloníferas, pueden ser más adaptadas para el pastoreo continuo.

En un manejo continuo que no cuenta con períodos de reposo se favorecen las especies postradas ya que no dependen de sustancias de reserva para rebrotar sino del área foliar remanente, no existiendo competencia por luz. Berretta et al. (2001) encontraron que a medida que se prolonga el pastoreo de una pastura con cargas altas y continuas por largo períodos, hay un incremento de especies estoloníferas. Esto provoca una reducción en la producción de forraje y una modificación en la estacionalidad del tapiz, ya que la gran mayoría de las especies estoloníferas son estivales.

El sub pastoreo lleva al endurecimiento, mientras que con el sobrepastoreo aumentan las malezas enanas y las malezas de campo sucio. *Baccharis coridifolia* incrementa su frecuencia en pasturas que son sobrepastoreadas, ya que el resto de las especies son poco competitivas frente a esta maleza que por su toxicidad no es consumida (Berretta et al., 2001).

El pastoreo continuo, selectivo o con baja carga sobre suelos y pasturas de buen potencial productivo impone al tapiz una doble estructura: un estrato bajo sobrepastoreado y un estrato alto improductivo formado por maciegas de pastos endurecidos junto a malezas mayores subarborescentes (Millot, 1994).

Según el grado de severidad del pastoreo pueden pasar a ser prevalentes especies que han desarrollado estrategias o mecanismos para defenderse del mismo, tales como espinas, toxicidad, poca palatabilidad, estacionalidad, hábitos tolerantes al sobrepastoreo y a los estreses climáticos que el mismo provoca (Millot, 1994).

Los cambios en la composición botánica y la velocidad con que se dan van a depender de ciertos factores que interaccionan en este proceso, tales como limitantes edáficas o climáticas, fertilidad de suelo, nivel de degradación, frecuencia de especies, y banco de semillas. La velocidad sucesional estaría asociada al tipo de suelo y pastura (Millot, 1994).

2.5.2.4. Persistencia

Persistencia puede definirse como el “mantenimiento de un stand de plantas suficiente para cumplir con los requerimientos y expectativas del sistema de producción” (Marten et al., 1989).

Dos formas mediante las cuales las leguminosas pueden persistir: por permanencia de la planta original o por resiembra e instalación de nuevas plantas (García, 1992). Estas tienen generalmente un menor rango de adaptación y menor elasticidad a estreses ambientales y del pastoreo que las gramíneas y requieren, por lo tanto, mejor manejo para persistir y permanecer productivas (Buxton, citado por García, 1992).

La persistencia de las leguminosas se puede afectar directa o indirectamente al promover o debilitar los efectos competitivos de las gramíneas asociadas. Generalmente la persistencia de las leguminosas es más pobre cuanto más vigoroso y denso es el crecimiento de la gramínea acompañante (García, 1992). En este sentido el crecimiento de *Trifolium repens* puede ser afectado cuando crece en competencia con gramíneas a través de la reducción en la producción de materia seca o la reducción en el tamaño de planta (Turkington, Rowe y Brink, Annicchiarico y Piano, Turkington et al., Merhrhoff y Turkington, citados por Olmos, 2004b).

Los resultados generales indican que las diferencias que originan distintos manejos de defoliación de la pastura son mucho más importantes en términos de producción que de persistencia. En otras palabras con mal manejo las pasturas producen y duran menos mientras que con buen manejo pueden producir más del doble de forraje y también persisten más pero esa mayor persistencia no es del doble de lo que duran normalmente (García, 1992).

2.5.3. Dinámica de leguminosas bajo pastoreo

Bryan et al., Heitschmidt, citados por Fernández y Nava (2008), definieron que existe un efecto directo entre la frecuencia e intensidad de

pastoreo sobre la composición botánica de la pastura, al tener efectos sobre la morfología de las especies.

Se debe tener en cuenta que controlando las épocas y grado de severidad de los manejos de pastoreo, así como los períodos de descanso, es posible lograr cambios notables en la composición florística y en la distribución estacional de forraje de una pastura (Carámbula, 2004).

De esta manera, Carámbula (2004) agrega que manejos muy aliviados durante todo el año tienden a eliminar las leguminosas y conducen a la degradación de la pastura. Mientras que manejos aliviados en invierno favorecen la dominancia por parte de las leguminosas, manejos aliviados durante la primavera promueven el mejor balance hacia las gramíneas.

Para obtener un adecuado balance entre gramínea y leguminosas es necesario aplicar distintas prácticas de manejo de fertilización y pastoreo. De esta forma se puede decir que el nitrógeno y el fósforo son los dos nutrientes que afectan en forma más generalizada dicho equilibrio (Carámbula, 2004).

Por un lado el nitrógeno en la pastura favorece el desarrollo de las gramíneas y de esta manera se genera una competencia por luz en donde la población de leguminosas se ve disminuida. A esto se le suma el aporte de nitrógeno por parte de los nódulos en descomposición y raíces muertas de las mismas. Además, frente a un aumento en la cantidad de nitrógeno en el suelo, la tasa de fijación de nitrógeno de los rizobios de las leguminosas se ve significativamente disminuida (Carámbula, 2004).

En el caso del fósforo, el autor señala que si bien las gramíneas presentan una buena respuesta al mismo, esta se hace aún mayor frente a la presencia de nitrógeno. De todas maneras el componente leguminosa en la pastura es el que mejor responde al fósforo gracias a que disponen de nitrógeno a través del proceso de simbiosis (Carámbula, 2004).

2.5.3.1. Dinámica de *Trifolium repens* en condiciones de pastoreo

La disponibilidad de agua y las prácticas de manejo como la frecuencia de laboreo y el pastoreo, junto con las aplicaciones anuales de fósforo ayudan a interpretar las diferencias entre las poblaciones (Olmos, 2004a). El sistema de pastoreo o el régimen de corte pueden afectar la población de plantas y su performance en una pastura en condiciones de campo. El manejo de la pastura

puede producir variaciones en el contenido de *Trifolium repens* a través del año (Yarrow y Penning, 1994).

Los métodos de pastoreo rotativo o de menor frecuencia de corte, mejoran la performance de *Trifolium repens* incrementando el peso de los estolones, el alargamiento de los estolones, la sobrevivencia de plantas, la ramificación, el área foliar de la planta, el largo de los estolones, el número de ápices en los, el tamaño de la planta, la sobrevivencia de los estolones, la proporción de la especie en la pastura, el volumen de la materia seca, el largo del pecíolo, el diámetro del estolón y el porcentaje de hojas cosechadas (Brink y Pederson, Brink y Rowe, Brock et al., Chapman, Fulkerson, Gooding, Hay, Wilman y Asiegbu, citados por Olmos, 2004a). En una pastura bajo pastoreo se reportó un menor contenido de *Trifolium repens* cuando se comparó con el corte mecánico de la misma (Parsons et al., citados por Olmos, 2004a).

Una mejor performance de *Trifolium repens* ha sido reportada en condiciones de campo cuando se aplicaron sistemas de defoliación relativamente laxos (Gardner et al., Hay, Chapman, William y Asiegbu, citados por Olmos, 2004b) o con vacunos en lugar del pastoreo con lanares (Briseño de la Hoz y Wilman, Chapman, Harris, citados por Olmos, 2004b). Esta tendencia generalmente se expresa por la presencia de plantas más altas en la pastura las cuales están más accesibles para el ganado (Parsons et al., Brink, citados por Olmos, 2004b).

2.6. PRODUCCIÓN ANIMAL EN MEJORAMIENTOS EXTENSIVOS

2.6.1 Consumo y carga animal en pastoreo

Raymond, citado por Agustoni et al. (2008), define que el producto animal generado a partir de la pastura depende de la calidad y cantidad de del forraje producido, así como de la forma o eficiencia de utilización del mismo, el que a su vez se encuentra influenciado por la proporción de la oferta que es consumida y por su digestibilidad.

Cuando se pretende maximizar la producción animal en sistemas pastoriles la variable más importante a considerar es el consumo de la pastura por parte de los mismos. Waldo (1986) señala que la productividad de un animal consumiendo una determinada dieta, depende en más de un 70% de la

cantidad de alimento que pueda consumir y en menor proporción de la eficiencia con que digiera y metabolice los nutrientes consumidos.

Bianchi, citado por Ayala et al. (1996a) encontró que la capacidad de consumo de forraje con niveles de digestibilidad por debajo de 65% está regulada por la capacidad física del retículo-rumen, mientras que por encima de ese valor depende del consumo de energía, a través de mecanismos fisiológicos (que actuarían en invierno y primavera bajo situaciones de disponibilidad no limitante).

En términos generales, el consumo de forraje por un animal, medido en términos de Materia Seca (MS), depende de la cantidad de forraje disponible por animal (kg MS/animal/día), disponibilidad forrajera (kg MS/ha), digestibilidad de la MS, peso vivo, edad, nivel de producción y medio ambiente, los cuales interactúan entre sí (Rovira, 1996).

Es posible incrementar el consumo individual disminuyendo la dotación, pero esto aparejará una disminución en la producción por hectárea. En el otro extremo, la máxima utilización del forraje por unidad de área se puede lograr a través de una mayor dotación, pero el consumo por animal se verá seriamente disminuido, que incluso puede no llegar a llenar las simples necesidades de mantenimiento, produciéndose entonces severas pérdidas de peso (Rovira, 1996).

Al aumentar la carga, la ganancia individual disminuye a causa de una menor selectividad del forraje y menor disponibilidad de MS por animal. Sin embargo la producción por hectárea aumenta y la máxima productividad por hectárea se logra con ganancias de peso individuales menores a las que se logran a bajas cargas (Greenhalg et al., citados por Agustoni et al., 2008).

El consumo y selectividad bajo pastoreo tiene una importancia fundamental en determinar la productividad animal y la eficiencia global de los sistemas pastoriles (Hodgson, Poppi et al., citados por Montossi et al., 1996).

La intensidad de pastoreo está directamente relacionada con la ganancia de peso vivo por animal y por hectárea. Presiones que permitan una alta disponibilidad de forraje por animal y posibilidad también de realizar pastoreo selectivo, lograrán una mejora en el comportamiento individual comparado a presiones altas, que son las que maximizan la producción por hectárea (Mott,

1960). Chacon et al., Jamieson y Hodgson, Dougherty et al., Greenhalgh et al., citados por Agustoni et al. (2008) respaldan la existencia de una relación positiva entre la disponibilidad de forraje y el consumo del animal en pastoreo. Jamieson y Hodgson (1979) también encontraron una relación positiva entre ganancia diaria de peso vivo y disponibilidad de forraje.

2.6.2. Producción sobre Basalto y Cristalino

Para los suelos del Basalto considerando el tipo de cobertura más frecuentemente utilizado, con base en la mezcla de *Trifolium repens* y *Lotus corniculatus* y con fertilizaciones de 60 kg/ha de P₂O₅ para la siembra y 40 kg/ha de P₂O₅ en refertilizaciones; para el promedio de tres años cargas altas y medias (2,3 y 1,9 novillos/ha), se registraron ganancias individuales de 0,54 kg/día con elevados producciones de peso vivo/ha, mientras que con baja carga (1,4 nov/ha) se obtuvieron ganancias individuales próximas a 0,6 kg/día permitiendo que casi la totalidad de novillos alcanzara peso de faena al final del ciclo aunque con menor producción por hectárea (Berretta et al., 2001).

También en campos de basalto, en mejoramientos con *Lotus corniculatus* y *Trifolium repens* con cargas de 2,28, 1,95 y 1,38 novillos/ha se obtuvieron ganancias diarias de 0,446, 0,457 y 0,572 kg respectivamente, siendo la producción de 206, 179 y 161 kg de peso vivo/ha (Bemhaja, 1996a).

En la U. E. Glencoe una evaluación de campos naturales y mejorados para engorde de terneros de destete de distintos tipos raciales, que se venden a los 30 meses. Con una dotación de 1,2 UG/ha que no es fija todo el año y generalmente priorizando la utilización del mejoramiento para los terneros; en promedio de 4 años, la ganancia individual de novillos fue superior a 0,44kg/día (Berretta et al., 2001).

Mejoramientos sobre suelos del Cristalino con base en la mezcla de *Trifolium repens* y *Lotus corniculatus* valorizan ganancias diarias mayores a los 0,63 kg que definen un excelente peso final de novillos de tres años y una producción anual de peso vivo de más de 340 kg/ha para un promedio de 5 años con refertilizaciones de 40 kg P₂O₅/ha (Risso et al., 2001).

En la región Este con pasturas mejoradas se han registrado en novillos Hereford niveles moderados de ganancias durante el período invernal con

dotaciones de 1,22 UG/ha, para posteriormente obtener altas tasas diarias mayores a 1,1 kg/animal/día en plena primavera (Ayala y Carámbula, 1996b).

A su vez, sobre coberturas de *Trifolium repens* mas *Lotus corniculatus* y *Lotus subbiflorus* cv. El Rincón sembradas en suelos de cristalino en la escuela “La Carolina” de UTU en Flores y mediante dos métodos de pastoreo (alterno y rotativo) a dos cargas diferentes (Alta=A y Baja=B), Risso et al. (2002b) señalan que novillos que ingresaban con un peso vivo de 316 kg alcanzaron, luego de un periodo de pastoreo de 285 días, el peso de 480 kg. Las cargas manejadas fueron en promedio de de 1,9 y 1,56 nov/ha para A y B. Los resultados de ganancia diaria (kg/nov/día) arrojados en primavera no presentaron diferencias significativas entre las coberturas con los diferentes métodos de pastoreo ni con las diferentes cargas. El tratamiento que mejor resultado de ganancia diaria presento fue el de *Trifolium repens* y *Lotus corniculatus* en pastoreo rotativo a carga Baja arrojando un valor de 1, 163 kg/nov/día mientras que el que peor se comporto fue el tratamiento de *Lotus subbiflorus* cv. El Rincón en pastoreo rotativo a una carga alta arrojando un valor de 1.075 kg/nov/ha (Risso et al., 2002b).

En dicha escuela también evaluaciones previas con dotaciones de 2,25 y 1,75 novillos/ha comiendo un mejoramiento de *Trifolium repens* y *Lotus corniculatus* arrojaron ganancias diarias de 0,6 kg/animal. Como consecuencia de las altas ganancias individuales y la importante capacidad de carga en todos los casos se alcanzaron elevados niveles de productividad (Risso et al., 1997).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. CONDICIONES EXPERIMENTALES GENERALES

3.1.1. Localización y período experimental

El presente trabajo se realizó en la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni de la Facultad de Agronomía, en el departamento de Paysandú, Uruguay (Latitud S 32°22'27" Longitud W 58°03'28").

El mismo se realizó en el período comprendido entre el 01/06/2011, cuando se sembró la pastura, y el 14/11/2011, cuando finalizó el segundo pastoreo.

3.1.2. Descripción del sitio experimental

Según la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay (1:1.000.000), el área experimental se ubica sobre la Unidad San Manuel, la cual se desarrolla sobre la formación geológica Fray Bentos. Los suelos dominantes de esta unidad son Brunosoles Éutricos Típicos, asociados con Brunosoles Éutricos Lúvicos y Solonetz Solodizados Melánicos (Altamirano et al., 1976).

3.1.3. Antecedentes del área experimental

En cuanto a los antecedentes del área donde se llevó a cabo el experimento, en el otoño anterior se había realizado una intersembrado de Avena, Raigrás y Trébol Rojo sin herbicida (con un muy bajo nivel de implantación), sobre una pradera vieja con alto grado de enmalezamiento.

A la siembra se realizó análisis de suelo para determinar el nivel de fósforo. El análisis Bray I arrojó un valor de 5,2 ppm de P.

3.1.4. Información climatológica

Uruguay se ubica en una región de clima templado-subtropical, con un régimen de precipitaciones isohigro, siendo el promedio de precipitación mensual para la zona de 101 mm (URUGUAY. MDN. DNM, 1996). La temperatura media anual es de 17,9°C, mientras que la temperatura máxima media corresponde a 31,5°C en el mes de enero, y la mínima media a 6,9°C en el mes de junio, para la misma serie histórica.

3.1.5. Descripción del experimento y tratamientos

Se instaló el experimento en el otoño de 2011 con el fin de evaluar la respuesta de *Trifolium repens* y *Trifolium pratense* a diferentes niveles de fertilización fosfatada.

La siembra en cobertura se realizó el día 01/06/2011 con una sembradora pendular. Las densidades de siembra utilizadas fueron: 1,32 kg/ha de *Trifolium repens* y 5 kg/ha de *Trifolium pratense*. Se estimó una disponibilidad inicial del tapiz vegetal de 500 kg/ha.

Los tratamientos consistieron en dos dosis de fósforo: 34,5 y 69 kg P₂O₅/ha. La fuente utilizada fue superfosfato triple (0-46/46-0), aplicado al voleo al momento de la siembra.

Los tratamientos fueron pastoreados con novillos y vaquillonas de la raza Holando durante 89 días (18/8/2011 al 14/11/2011). Los animales ingresaron a pastorear con un peso promedio inicial de 379 kg, y fueron retirados con un peso promedio final de 524 kg. No hubo repetición espacial de animales.

Las dotaciones utilizadas fueron de 2,0 y 2,5 animales/ha para los tratamientos de 34,5 y 69,0 kg P₂O₅ agregado respectivamente.

3.1.6. Diseño experimental

El diseño experimental fue de bloques completos al azar. El área experimental abarcó 4 hectáreas y fue dividida en cuatro bloques, dando lugar a 8 parcelas de 0,5 hectáreas cada una.

3.2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Las mediciones realizadas tuvieron el fin de determinar la respuesta diferencial de los tratamientos en producción de materia seca, composición botánica de la pastura y producción animal.

3.2.1. Variables determinadas

3.2.1.1. Disponibilidad y remanente de materia seca

Se utilizó el método de doble muestreo (Haydock y Shaw, 1975) para medir la disponibilidad y el remanente de forraje en cada parcela. Estas mediciones se llevaron a cabo antes y después de cada uno de los pastoreos realizados. En el Anexo 9.1 se presenta un ejemplo de la regresión lineal ajustada para estas determinaciones.

3.2.1.2. Materia seca desaparecida y porcentaje de desaparición

Corresponde a la materia seca desaparecida durante el pastoreo. Es la diferencia entre el disponible ajustado por el crecimiento durante los días de pastoreo y el remanente de materia seca.

El porcentaje de desaparición es la cantidad de forraje desaparecido respecto a la existente inicialmente.

3.2.1.3. Producción de forraje

Se determina como la diferencia entre la disponibilidad de forraje al iniciar un pastoreo y el remanente de forraje del pastoreo anterior, y en base a este resultado se le suma la estimación del crecimiento en el período del pastoreo.

3.2.1.4. Composición botánica

Es la proporción por apreciación visual de cada una de las fracciones (gramíneas, leguminosas, malezas y restos secos) que componen el forraje disponible. También se registró el porcentaje de suelo descubierto en forma independiente de las fracciones anteriores.

3.2.1.5. Producción de peso vivo por hectárea

Es la diferencia entre el total de peso vivo final y el total de peso vivo inicial, dividido entre la cantidad de hectáreas de pastoreo.

3.2.1.6. Ganancia media diaria

Se calcula dividiendo la producción de peso vivo total (peso vivo final menos peso vivo inicial) entre los días de duración del período de pastoreo por animal.

3.2.1.7. Oferta de forraje

Se define como a cantidad de forraje ofrecido en kg de materia seca por cada 100 kg de peso vivo animal por día. Se estimó en base a la cantidad de forraje disponible y al peso vivo de los animales al momento de ingresar a pastorear.

3.3. HIPÓTESIS

3.3.1. Hipótesis biológicas

- * El agregado de fósforo aumenta la producción de forraje.
- * El agregado de fósforo afecta la composición botánica de la pastura.
- * El agregado de fósforo aumenta la producción de peso vivo por hectárea.

3.3.2. Hipótesis estadísticas

Ho: $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$

Ha: al menos un efecto del tratamiento es diferente de cero

Ho: $\beta = 0$

Ha: al menos un efecto del bloque es diferente de cero.

3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados experimentales fueron analizados estadísticamente, realizándose el Análisis de la Varianza de medias de tratamientos y las comparaciones fueron utilizando el test LSD Fisher.

3.4.1. Modelo estadístico

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

Dónde:

- Y_{ij} corresponde a la variable de interés
- μ es la media general
- T_i es el efecto del i ésimo tratamiento (dosis de fósforo) $i= 34,5, 69$
- β es el efecto del j ésimo bloque $j= 1, 2$
- ϵ_{ij} es el error experimental

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DATOS METEOROLÓGICOS

En la Figura No. 1 se presentan los registros de precipitaciones acumuladas mensuales correspondientes al periodo abril 2011 – noviembre 2011 y su comparación con los valores promedios de la serie histórica del periodo 1961-1990 para la localidad de Paysandú (presentados en Anexo 9.2).

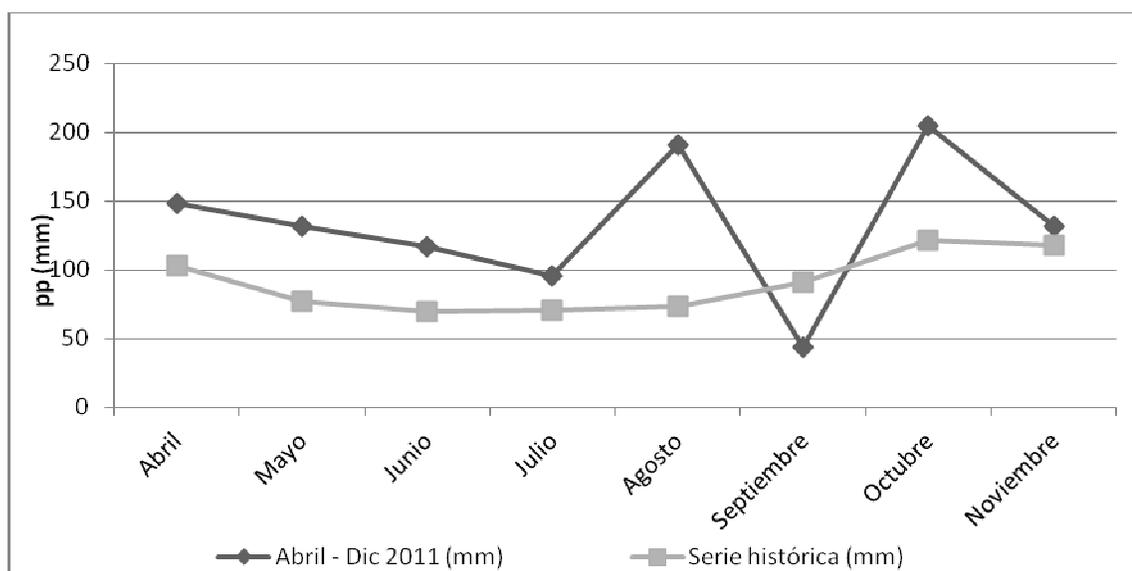


Figura No. 1: Registro de precipitaciones

Las precipitaciones acumuladas mensuales para el período abril – noviembre 2011 fueron siempre superiores con respecto a los datos históricos salvo para el mes de setiembre donde las mismas fueron 47 mm inferiores (44 mm vs. 91 mm).

El balance hídrico para el período entorno a la siembra arrojó un exceso hídrico, con valores de precipitaciones por encima de la evapotranspiración potencial (ver Anexo 9.3).

Sumado a esto, en el mes de agosto, se acentúa el exceso de agua en el suelo por las altas precipitaciones ocurridas lo que puede haber significado un detenimiento en el crecimiento de las plantas al presentarse condiciones de anaerobiosis temporal en el suelo.

La bibliografía consultada es consistente en afirmar que durante un periodo de anaerobiosis en el suelo, se reduce la concentración de oxígeno en el mismo y la absorción de agua y nutrientes por parte de las raíces con la consecuente disminución en el crecimiento de las plantas (Hernández, 1999).

A su vez, estas condiciones de exceso hídrico permitieron compensar el déficit ocurrido en el mes de setiembre de modo que la producción de forraje no se vea comprometida al estar el perfil del suelo recargado.

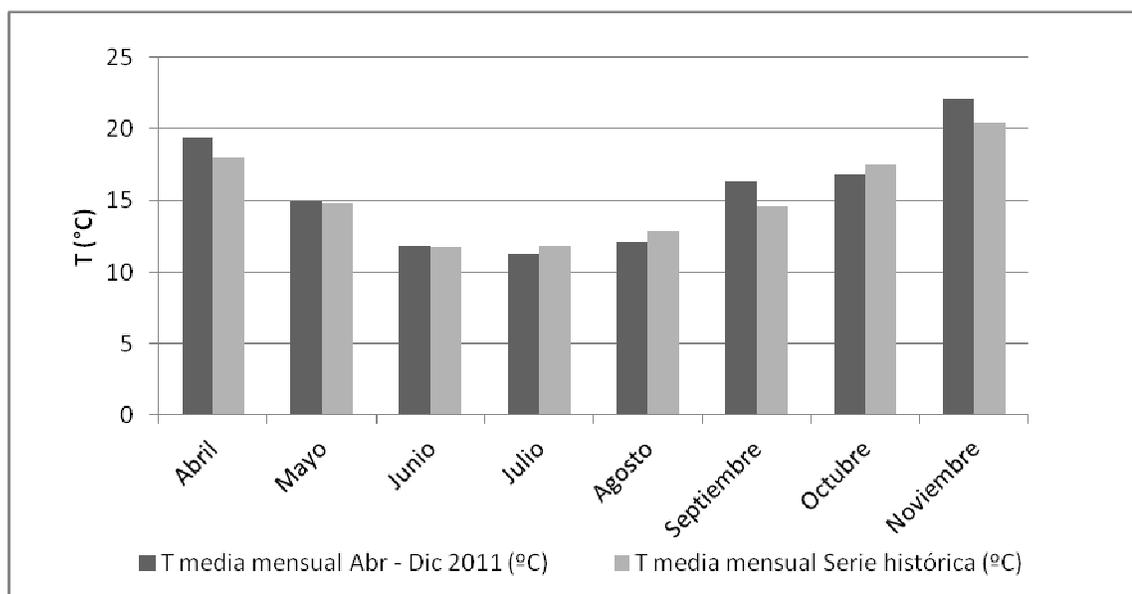


Figura No. 2: Temperaturas medias mensuales del período y medias históricas.

En lo que refiere a las temperaturas medias mensuales, desde el momento de siembra (junio) en adelante, las variaciones entre los datos del periodo experimental y la serie histórica varían a favor de uno u otro según el mes.

Por ejemplo, para los meses de julio y agosto la temperatura media fue inferior a los valores históricos (-0,5 y -0,8 °C respectivamente). También para el mes de julio lo fue la temperatura mínima media (-0,9 °C, ver Figura No. 3).

Estas condiciones de frío, sumado al exceso hídrico registrado en estos meses inmediatos a la siembra pueden haber afectado la implantación y posterior desarrollo de las plántulas. Según Carámbula (2002), las temperaturas

óptimas de crecimiento para *Trifolium repens* y *Trifolium pratense* son de 15 a 20 °C, siendo las registradas en el periodo experimental bastante menores.

Siguiendo con la evolución de la temperatura media en el periodo experimental, en el mes de setiembre, la misma fue 1,7 °C superior a la media histórica; el mismo valor se registra también para el mes de noviembre. Por el contrario, en el mes de octubre, la diferencia entre el periodo experimental y la serie histórica fue de -0,7°C.

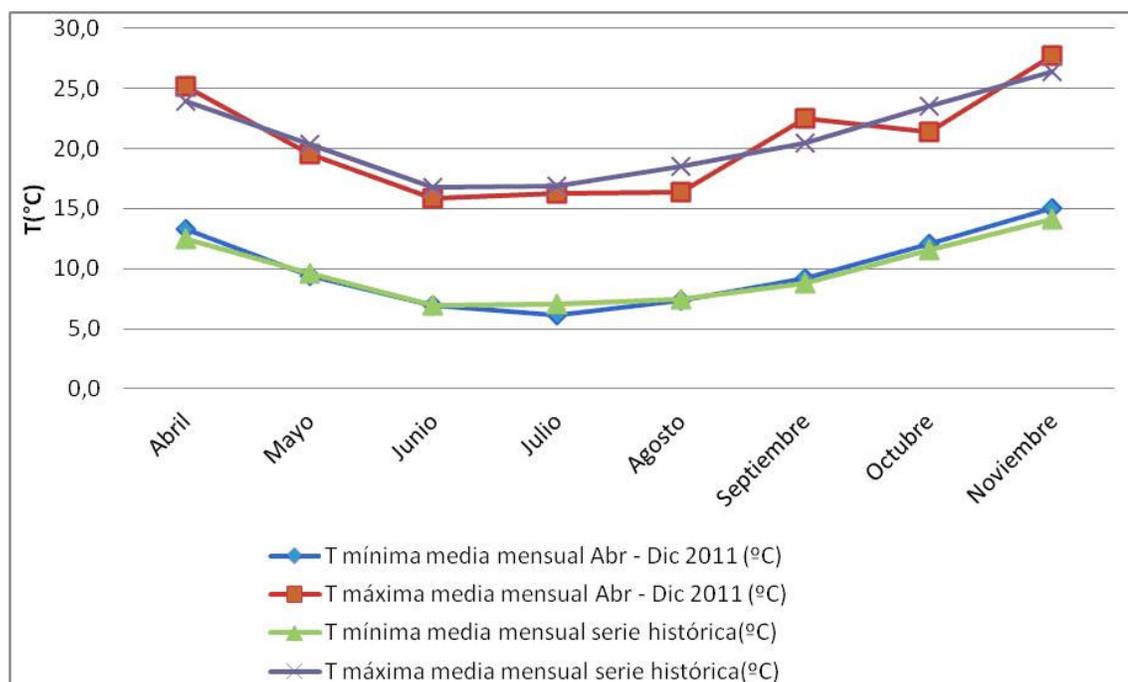


Figura No. 3: Temperaturas mínimas y máximas medias del período y medias históricas.

4.2. COMPOSICIÓN BOTÁNICA

En la Figura No. 4 se presenta la composición botánica promedio en el período experimental para los dos tratamientos.

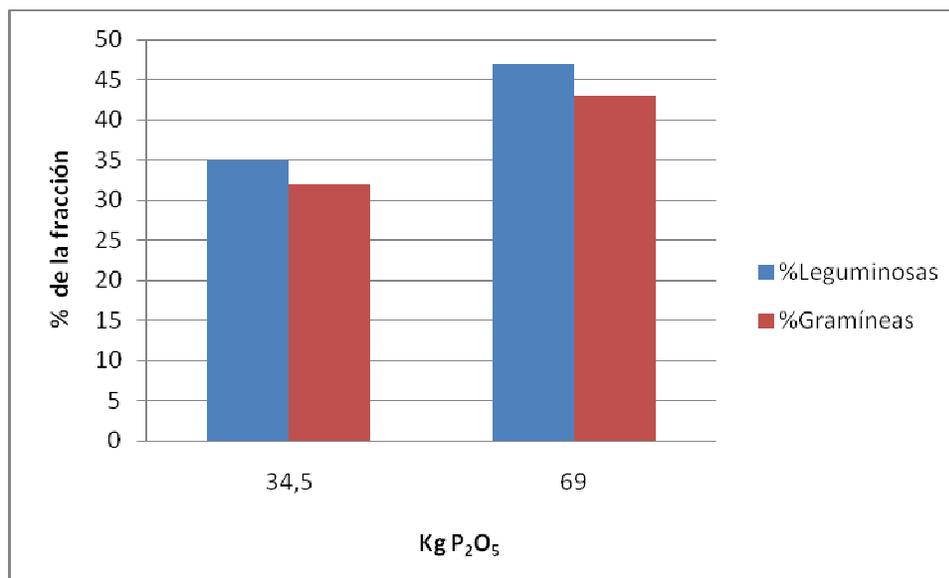


Figura No. 4: Composición botánica (%).

Analizando los datos, se puede afirmar que hay diferencias significativas en la composición botánica entre los dos tratamientos (el análisis estadístico se presenta en el Anexo 9.4). Los componentes leguminosa y gramínea son los dominantes en los dos tratamientos representando el 67 % y el 90 % del total para el tratamiento de baja y alta dosis de fertilización, respectivamente.

Al aumentar al doble la fertilización fosfatada se observó un incremento del 12% en la fracción leguminosa y del 11% en la fracción gramínea. Esto concuerda con Hernández (1999) en cuanto a que *Trifolium repens* presenta mayor respuesta al fósforo frente a otras especies por sus mayores requerimientos.

Considerando que se partió de un nivel inicial en suelo de 5 ppm de fósforo (a la siembra) y que con los distintos tratamientos de fertilización se alcanzaron valores en torno al nivel crítico, se obtuvo un incremento en el porcentaje de esta fracción.

Al duplicar la dosis de fósforo el componente gramínea presentó un valor superior al reportado por Bemhaja (1998), quién obtuvo un 31% en un mejoramiento sobre Basalto con *Trifolium repens*, *Trifolium pratense* y *Lotus corniculatus*.

En lo que al componente leguminosa se refiere cabe destacar que en este experimento la especie dominante fue *Trifolium repens* siendo el aporte de *Trifolium pratense* prácticamente despreciable. El banco de semillas presente en el suelo de *Trifolium repens*, debido a la historia de la chacra, combinado con el efecto negativo que causa el exceso hídrico sobre la implantación de *Trifolium pratense*, pueden explicar la neta dominancia de la primer especie en la mezcla.

El alto valor que toma la fracción leguminosa en el experimento (35-47%) difiere con lo reportado por Bemhaja (1998) quien establece que la contribución conjunta de *Trifolium repens* y *Lotus corniculatus* en el primer año fue de tan solo 14 %.

Los valores obtenidos también son superiores a lo reportado por Argelaguet e Irazoqui (1985) quienes determinaron una contribución de *Trifolium repens* (en mezcla con *Lotus corniculatus*, sembrados en cobertura sobre un Brunosol Éutrico Típico, sobre Cretácico) de 2 y 3% según la dosis de fósforo aplicada.

Sería esperable una frecuencia menor de las leguminosas tomando en cuenta el bajo vigor inicial de *Trifolium repens*, lo que hace que su contribución en la mezcla se exprese al segundo año y no en el primero (Carámbula, 1977).

En lo que refiere al aporte de la fracción leguminosas en kg de MS/ha, se aprecian diferencias significativas entre los tratamientos. La información se presenta en el Cuadro No. 6.

Cuadro No. 6: Contribución de la fracción leguminosa en kg de MS/ha en el disponible promedio

Tratamiento	Disponible Leguminosas (kg de MS/ha)
34,5	738 a
69	1450 b

Las diferencias entre los dos tratamientos significaron 712 Kg MS a favor del tratamiento con mayor dosis de fósforo, equivalente a un incremento de 96% en la disponibilidad de leguminosas.

Estos valores de composición botánica suponen una dieta balanceada en cuanto al aporte de energía y proteína cruda para un correcto desempeño animal, ya que la relación gramínea/leguminosa óptima de composición sería 60/40 (Santiñaque y Carámbula, 1981).

4.3. PRODUCCIÓN DE FORRAJE

Como puede observarse en el Cuadro No. 7, al duplicarse la dosis de fósforo la producción total de forraje en el período tuvo un incremento de 1865 kg de MS/ha, siendo esta diferencia significativa ($p \leq 0,10$).

Cuadro No. 7: Producción total de forraje

Tratamiento	Producción total (kg de MS/ha)
34,5	2414 b
69	4278 a

Esta diferencia equivale a una superioridad del 77%. De esta diferencia entre los dos tratamientos puede obtenerse que por cada kg de P_2O_5 agregado en ese rango, existió una respuesta incremental de 54 kg de MS.

Este aumento en la producción de materia seca en el primer año ante el incremento en el agregado de fósforo es coincidente con lo reportado por diversos autores, aunque con diferencias en la magnitud de la respuesta.

Argelaguet e Irazoqui (1985) encontraron en mejoramientos en cobertura sembrados en dos años consecutivos en la EEMAC, un incremento de 385 kg de MS/ha y 393 kg de MS/ha al pasar de 46 kg P_2O_5 /ha a 69 kg P_2O_5 /ha, valores equivalentes a respuestas incrementales de 17 kg de MS/kg P_2O_5 . Estos incrementos fueron dados por el aumento en el aporte de las leguminosas exclusivamente, y no por el conjunto de gramíneas y leguminosas como en este caso.

Risso et al. (2001) en una cobertura de *Trifolium repens* y *Lotus corniculatus* sobre Cristalino, encontraron un aumento de 548 kg de MS/ha al aumentar la dosis de P_2O_5 /ha de 40 a 80 kg, siendo la respuesta incremental de 14 kg de MS/kg P_2O_5 .

Ferrés et al. (2003) en experimentos realizados en INIA Treinta y Tres en coberturas de *Trifolium repens* y *Lotus corniculatus*, encontraron un incremento de 994 kg de MS/ha al aumentar la dosis de P_2O_5 /ha de 45 a 90 kg. Este valor equivale a una respuesta incremental de 22 kg de MS/kg P_2O_5 en este rango. También en este caso el aumento fue explicado por el incremento en la fracción leguminosas, y una leve disminución en el componente gramíneas.

Bemhaja (1998) obtuvo resultados contrastantes a los mencionados en coberturas en Basalto, no encontrando diferencias en producción de forraje en el primer año al aumentar la dosis de fósforo de 40 a 80 kg P_2O_5 /ha.

Como ya se mencionó tanto el aumento de la fracción leguminosa como de la fracción gramínea explica esta superioridad total en producción de MS del tratamiento de alta dosis de fósforo frente al de baja.

En cuanto a la magnitud de la respuesta a la fertilización fosfatada, esta puede ser considerada como muy alta en comparación con los datos presentados anteriormente de ensayos realizados en el país en mejoramientos extensivos.

Sin embargo, valores más elevados en la respuesta productiva de leguminosas al agregado fósforo son reportados por algunos autores en nuestro país y Argentina, en pasturas sembradas.

Por ejemplo, Morón (2000) halló en *Medicago sativa* respuestas mínimas de 47 kg de MS/kg P_2O_5 (160 kg P_2O_5 /ha) a máximas de 70 kg de MS/kg P_2O_5 (40 y 80 kg P_2O_5 /ha).

En la provincia de Entre Ríos (Argentina) Quinteros et al. (1995) encontraron - en ensayos realizados entre 1987 y 1993 - respuestas aún más elevadas en la producción de primer año de pasturas mezcla de leguminosas y gramíneas. Estos autores encontraron respuestas de 124, 134, 72 y 27 kg de MS/ kg P_2O_5 , al pasar de 0 a 8, 8 a 16, 16 a 32, y 32 a 48 kg P_2O_5 /ha, respectivamente. Debe destacarse que estos datos provienen de una región con mayores potenciales productivos, y además en pasturas sembradas, por lo que se mencionan a modo de referencia.

4.4. CANTIDAD Y ALTURA DEL FORRAJE DISPONIBLE

En el Cuadro No. 8 se presentan los resultados de disponibilidad de forraje durante el período, en términos de cantidad y de altura.

Cuadro No. 8: Cantidad y altura del forraje disponible promedio

Tratamiento	Disponible promedio (kg de MS/ha)	Altura Disponible promedio (cm)
34,5	2090 a	10 a
69	3053 a	15 b

No existieron diferencias significativas entre los dos tratamientos de fertilización en cuanto a la disponibilidad de forraje en el período experimental. El tratamiento con el mayor nivel de fertilización presentó una disponibilidad de forraje superior en 963 kg MS/ha, lo cual corresponde a una superioridad del 46%. La ausencia de diferencias estadísticamente significativas puede estar dada por el alto coeficiente de variación (30%) que presentó esta variable.

Risso et al. (2002a) en mejoramientos con *Trifolium repens* y *Lotus corniculatus* sobre Cristalino con fertilización inicial de 60 kg P₂O₅/ha, obtuvo disponibilidades de forraje cercanas a los 2000 kg de MS/ha en el año de la siembra.

En cuanto a la altura del forraje disponible, esta tuvo diferencias significativas. La diferencia a favor del tratamiento de alta dosis de fósforo significaría una ventaja desde el punto de vista del acceso al alimento, y desde la concepción de eficiencia en el uso de la misma ya que no permite la acumulación de material senescente. Por el contrario la altura del disponible para el tratamiento de baja dosis de fertilización podría considerarse inferior a la adecuada en este sentido, pudiendo comprometer la productividad de la pastura.

4.5. CANTIDAD Y ALTURA DEL FORRAJE REMANENTE

No existieron diferencias significativas entre los tratamientos respecto al remanente de forraje dejado una vez retirado los animales, siendo estos resultados presentados en el Cuadro No. 9.

Cuadro No. 9: Cantidad y altura del forraje remanente

Tratamiento	Remanente (kg MS/ha)	Altura Remanente (cm)
34,5	1236 a	8 a
69	1279 a	9 a

El valor promedio de ambos tratamientos de 1258 kg MS/ha coincide con lo obtenido por Risso et al. (2002a), quienes exponen resultados de diferentes investigaciones en mejoramientos extensivos en la región del Cristalino central con *Trifolium repens* y *Lotus corniculatus* (bajo distintas cargas y manejos de pastoreo), dónde consistentemente el forraje remanente fue superior a los 1000 kg MS/ha sin excepción de condiciones favorables o desfavorables, con fertilizaciones de 60 kg P₂O₅/ha.

En lo que respecta a las alturas del forraje remanente estos valores también coinciden con lo obtenido por Risso et al. (2002a) quienes obtuvieron alturas entre 7,5 y 9,4cm para distintos años (según relación Lanar/Vacuno alta y baja) para un mejoramiento de *Trifolium repens* y *Lotus corniculatus*.

Estos valores de forraje remanente permitirían un adecuado rebrote de la pastura, y por ende serían favorables para el comportamiento animal, lo cual se verá reflejado en el disponible al siguiente pastoreo (Poppi et al., Risso, citados por Risso et al., 2002a).

4.6. UTILIZACIÓN DEL FORRAJE

Los valores de porcentaje de utilización surgen del cociente entre el forraje desaparecido y el forraje disponible al inicio del pastoreo. Se encontraron diferencias significativas en el porcentaje de utilización entre los dos tratamientos. Los valores promedio de ambos tratamientos se sitúan en el entorno de 50% coincidiendo de esta manera con González y Rodríguez (2006).

Cuadro No. 10: Utilización (%) del forraje

Tratamiento	% Utilización
34,5	40 b
69	58 a

Los valores son superiores a los reportados por Saldanha (2005) quien expresó que aún bajo condiciones experimentales de altas cargas instantáneas (80 UG/ha) no fue posible consumir más de la mitad del forraje disponible (valores de utilización entre 39,2% y 43,9%); adjudicando estos resultados a la distribución vertical de la biomasa aérea de las pasturas (concentrada en los estratos inferiores), que se maximiza en pasturas naturales. Ayala et al. (2001) concuerda con lo antes dicho, encontraron que los niveles de utilización del forraje producido en mejoramientos de campo son relativamente bajos, con valores que van de 35% a 42%.

4.7. PRODUCCIÓN ANIMAL

En lo que refiere a la producción animal, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos a $p=0,15$ para las tres pesadas que se realizaron durante los meses de setiembre, octubre y noviembre.

La Figura No. 5 presenta la evolución del peso vivo promedio por animal para cada uno de los tratamientos a lo largo del periodo de pastoreo.

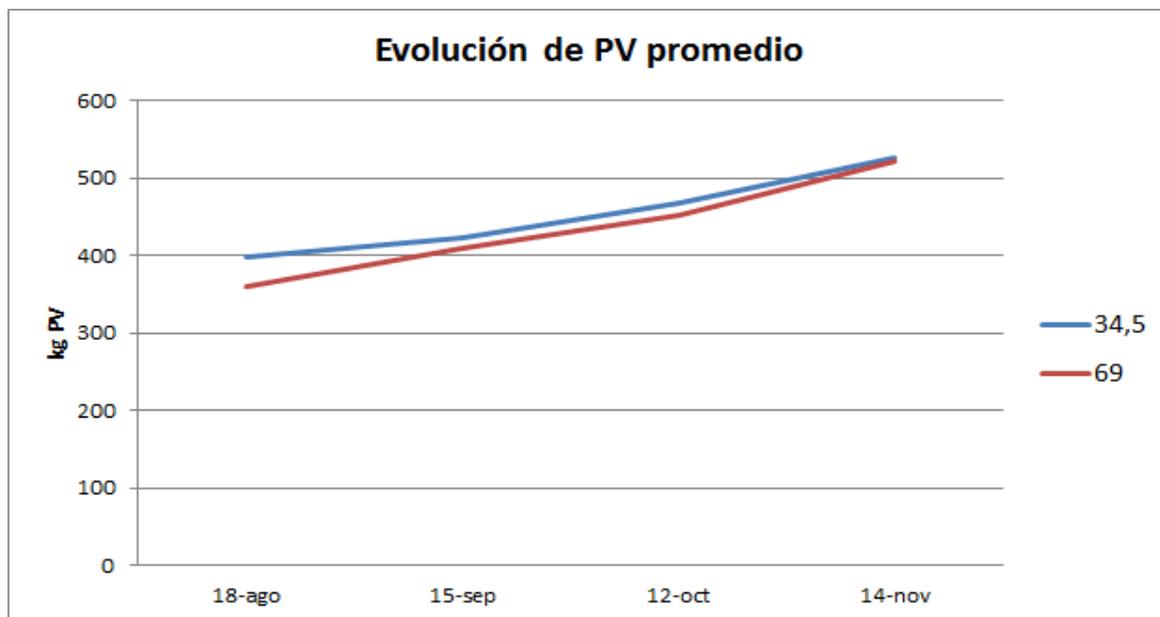


Figura No. 5: Evolución del peso vivo promedio

En base a estos datos se calculó el aumento de peso vivo por hectárea para cada tratamiento, tomando en cuenta que el tratamiento de menor dosis de fósforo agregado se pastoreó con 2 novillos por hectárea, y el de mayor dosis con 2,5 novillos por hectárea. De esta manera se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p=0,15$) entre ambos.

Cuadro No. 11: Producción animal total

Tratamiento	Producción animal total (kg/ha)
34,5	258 b
69	408 a

Si bien no es abundante la bibliografía que reporte información acerca de producción animal en mejoramientos extensivos, el trabajo realizado por Risso et al. (1997) sirve como referencia para comparar resultados. En el mismo, con novillos de raza británica pastoreando una cobertura de *Trifolium repens* se obtuvieron valores de producción de peso vivo cercanos a los 350 kg/ha/año. Es importante destacar que entre ambos ensayos la raza de los animales utilizados no es la misma (Británicos vs Holando) lo cual determina mejores resultados productivos al utilizar animales de esta última raza siempre y cuando los recursos no sean limitantes.

Bavera (2000) determina que en experiencias comparando con razas británicas se encontró que el Holando es más eficiente para el aumento de peso, lo cual se puede deber a la mayor eficiencia de conversión.

Otro aspecto a destacar es que en este experimento el período de pastoreo comprendió básicamente los meses de primavera escapando al invierno, aspecto que difiere con el ensayo antes mencionado. Esto determina que los animales tengan menores requerimientos energéticos para mantenimiento por las condiciones ambientales más favorables aumentando la eficiencia productiva (Rovira, 1996).

Por su parte, Ayala y Carámbula (1996b) destacan altas producciones de peso vivo (550kg/ha/año) sobre mejoramientos en cobertura de segundo año de *Trifolium repens* y *Lotus corniculatus* bajo niveles de fósforo no limitantes.

Uno de los motivos que puede explicar las diferencias estadísticamente significativas encontradas entre tratamientos es el mejor desempeño individual que mostraron tener los animales del tratamiento de 69 kg P₂O₅.

En el Cuadro No. 12 se presentan los valores para ganancia individual según tratamiento las cuáles también presentan diferencias estadísticamente significativas entre los mismos (p=0,10).

Cuadro No. 12: Ganancia individual

Tratamiento	Ganancia individual (kg/animal/día)
34,5	1,44 b
69	1,93 a

Estas diferencias a favor del tratamiento de 69 kg P₂O₅ agregado se pueden explicar por la mayor oferta de forraje con que se manejaron los animales (7% vs 5,4%). Esto implica que los animales son capaces de seleccionar dietas de mayor calidad nutricional (de mayor contenido de proteína cruda y menor nivel de FDN) logrando mejores resultados productivos (Hodgson, 1981).

También se puede asumir un mayor consumo total por parte de los animales del tratamiento de mayor dosis respecto al de menor dosis a partir de la diferencia encontrada en la cantidad de forraje desaparecido, ya que este se obtiene de la diferencia entre el disponible y el remanente. Más aún, tomando en cuenta la buena calidad del forraje ofrecido, que como fuera mencionado anteriormente está compuesto por una adecuada relación gramínea/leguminosa.

En el Cuadro No. 13 se reportan los valores de forraje desaparecido para los dos tratamientos.

Cuadro No. 13: Forraje desaparecido total

Tratamiento	Desaparecido total (kg MS/ha)
34,5	1709 b
69	3547 a

Por lo tanto, las diferencias en ganancia individual entre tratamientos podrían estar explicadas por un aumento en la calidad de la dieta debido a la mayor capacidad de selección, así como por un aumento en el consumo.

Tomando en cuenta que la raza de los animales en pastoreo es Holando, es difícil encontrar valores de ganancia individual sobre mejoramientos en cobertura con animales de esta raza. Sin embargo, pastoreando una pradera de primer año con *Agropyro elongatum*, *Lolium perenne*, *Trifolium repens* y *Lotus corniculatus*, con novillos Holando, Fernández y Foglino (2009) reportaron ganancias individuales de 2 kg/animal/día. Similares valores presentan Agustoni et al. (2008) para novillos de esta raza en una pradera de segundo año de *Lolium perenne*, *Trifolium repens* y *Lotus corniculatus* (1,8 kg/animal/día).

Todos los trabajos mencionados concuerdan en que la oferta de forraje óptima para obtener los mejores resultados tanto de producción animal como vegetal en pasturas sembradas, es en torno al 6% del peso vivo.

En el Cuadro No. 14 se presentan los valores de oferta de forraje promedio con que se manejaron los animales para ambos tratamientos:

Cuadro No. 14: Oferta de forraje

Tratamiento	OF (% PV)
34,5	5,4
69	7,2

Analizando los datos, se considera adecuado el valor de oferta de forraje para los dos tratamientos (en cuanto a producción animal y la producción de la pastura). Estos no comprometerían la producción de forraje y su utilización (bajo forraje senescente y sombreado a los estratos inferiores).

A modo de síntesis se puede afirmar que el tratamiento con mayor fertilización fosfatada presenta mayor producción de peso vivo/ha, mayor producción por animal, resultando (por las cargas utilizadas) un manejo de pastoreo más “aliviado” con asignación de forraje del 7,2 %.

Según Mott (1960) una menor carga animal por superficie permite una mayor producción individual a expensas de menores producciones por hectárea. En el experimento, la mayor carga utilizada en el tratamiento de mayor dosis de fósforo no compensó la mayor producción de forraje de este, resultando en mayores ganancias diarias por animal y en una mayor producción por hectárea.

Por ello se entiende que el tratamiento de alta dosis de fósforo agregado hubiera soportado una mayor carga animal manejando los animales a una menor oferta de forraje, en detrimento de la performance individual, pero aumentando aún más la producción animal por unidad de superficie.

En base a esto, se entiende que llevando los animales del tratamiento de mayor dosis de fósforo a una oferta de forraje equivalente a la resultada en el tratamiento de menor dosis, y suponiendo que los animales presentarían las mismas ganancias de peso que las obtenidas en este tratamiento, se podría aumentar la carga en un 18%. Este aumento de carga, permitiría lograr producciones de 482 kg de PV/ha, manteniendo buenas ganancias individuales.

5. CONCLUSIONES

Existió respuesta al agregado de una mayor dosis de fósforo en producción de materia seca, encontrándose una respuesta incremental entre tratamientos de 54 kg de MS/kg de P_2O_5 agregado.

El aumento en la producción total de materia seca fue explicado por un aumento en la producción de leguminosas y de gramíneas.

En cuanto a la producción animal, el tratamiento de alta dosis de fertilización presentó mayor producción por superficie y mayores producciones individuales. Esto se logró, incluso con mayores ofertas de forraje, por lo que se entiende que hubiera soportado una mayor carga animal aumentando la producción por superficie, lográndose igualmente altas tasas de ganancia individuales.

5.1. CONSIDERACIONES FINALES

Para la variables Disponible promedio (kg MS/ha) el alto coeficiente de variación determinó la ausencia de significancia entre tratamientos por lo que se entiende que habiendo hecho un muestreo diferencial por tipo de suelo se hubiera reducido esa variabilidad.

El bajo nivel de fósforo inicial en el suelo sumado a las dosis de fertilizante agregado permitió ubicar los niveles de fósforo disponible en el suelo en valores cercanos al nivel crítico que presentan las gramíneas y las leguminosas lo cual estaría explicando su respuesta tanto en kg de MS/ha como en cobertura.

El alto valor de respuesta encontrado (54kg de MS / kg de P_2O_5 agregado) se puede explicar por el bajo valor de fósforo inicial en el suelo y por considerar que en este experimento se manejaron dosis de fertilización menores a los de otros trabajos nacionales. En estos rangos, es donde existen las mayores respuestas en producción de materia seca (valores de pendiente mayores en el modelo cuadrático de respuesta al agregado de fósforo).

La relación entre gramíneas y leguminosas de 50/50 (aproximada) para los dos tratamientos puede considerarse como favorable para la producción animal, tratándose de un mejoramiento en cobertura.

En ambos tratamientos se lograron altas ganancias diarias (1,4 y 1,9 kg/animal/día) y altas producciones por superficie (258 y 408 kg/ha).

6. RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es evaluar la producción de materia seca, composición botánica, y producción animal de un mejoramiento de campo natural de primer año con *Trifolium repens* y *Trifolium pratense*, en función de dos niveles de fertilización fosfatada. El experimento fue realizado en el potrero 32a de la Estación Experimental Dr. Mario Alberto Cassinoni de la Facultad de Agronomía en el departamento de Paysandú (Latitud S 32°22'27" Longitud W 58°03'28"). La siembra del mejoramiento fue realizada en cobertura (1 de junio de 2011), conjuntamente con la aplicación de fertilizante fosfatado (Superfosfato). El diseño experimental fue de bloques completos al azar, consistiendo los tratamientos en dos niveles de fertilización fosfatada (34,5 y 69 kg P₂O₅/ha). Se realizaron cuatro bloques, dando lugar a ocho parcelas de 0,5 hectárea cada una. Las precipitaciones ocurridas desde la siembra fueron superiores al promedio histórico en los meses de junio, julio, agosto, octubre y noviembre, mientras que en setiembre se ubicaron por debajo del mismo. Las temperaturas ocurridas fueron acordes al promedio histórico de la zona. La pastura fue pastoreada con animales Holando de 379 kg de peso vivo promedio, en el período comprendido desde el 18 de agosto al 14 de noviembre (dos pastoreos de 22 días de duración promedio). La implantación de *Trifolium pratense* no tuvo éxito, siendo despreciable su aporte en la pastura. *Trifolium repens* tuvo una alta implantación en general, aportando un 38% del forraje al inicio del primer pastoreo (promedio de los dos tratamientos). La composición botánica de la pastura presentó diferencias significativas entre tratamientos en términos porcentuales para los componentes gramíneas y leguminosas. En términos de cantidades de forraje, el tratamiento de mayor nivel de fertilización tuvo mayor disponibilidad de leguminosas. La producción total de forraje presentó diferencias significativas, siendo el tratamiento de mayor nivel de fertilización superior en 77% al tratamiento de menor nivel. Esta misma respuesta se encontró en cuanto a la disponibilidad de forraje en el período. El remanente post-pastoreo no tuvo diferencias entre tratamientos al igual que el porcentaje de utilización del forraje. La producción de peso vivo presentó diferencias significativas a favor del tratamiento de mayor dosis de fósforo, tanto en términos de producción por hectárea como en el desempeño individual de los animales.

Palabras clave: Fertilización fosfatada; Mejoramientos en cobertura; Producción de forraje; Composición botánica; Producción animal; *Trifolium repens*; *Trifolium pratense*.

7. SUMMARY

The purpose of this work is to evaluate dry-matter production, botanical composition and animal production of a first-year improved pasture with *Trifolium repens* and *Trifolium pratense*, in accordance with two levels of phosphorus fertilization. The experiment was carried out at “Estación Esperimental Dr. Mario Alberto Cassinoni” of the Faculty of Agronomy, Paysandú, Uruguay (32°22'27” south latitude, 32°22'27” west longitude). Improvement was done by overseeding (June 1, 2011), and by applying a phosphorus fertilizer (Superphosphate). A Randomize Complete Block Design experimental design was used. The treatments consisted of two levels of phosphorus fertilization (34.5 and 69 kg P₂O₅/ha). Four blocks were done, resulting in eight plots of 0.5 hectare each. Precipitations after sowing were higher than the historical average in the months of June, July, August, October and November, while in September they were lower. Temperatures were similar to the historical average in the region. Pasture was grazed with Holstein livestock, of 379 kg average initial live weight, during the period from August 18 to November 14 (two grazings lasting an average of 22 days). The establishment of *Trifolium pratense* was not successful, being insignificant its contribution to the pasture. *Trifolium repens* had a successful establishment, contributing 38% of forage at the beginning of the first grazing (average of both treatments). Regarding percentages, botanical composition of pasture did show significant differences between treatments for grass and legumes. Regarding the amount of forage, the treatment with the higher level of fertilization obtained a higher availability of legumes. Total production of forage showed important differences, being the treatment with the higher level of fertilization 77% higher. The same result was found with regard to the availability of forage during the said period. Both the post-grazing residual and the percentage of forage use showed no differences between treatments. Live weight production showed important differences in favor of the treatment with the higher dose of phosphorus, in terms of production per hectare, as well as in the individual performance of livestock.

Keywords: Phosphorus fertilization; Overseeding; Forage production; Botanical composition; Animal production; *Trifolium repens*; *Trifolium pratense*.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. AGUSTONI, F.; BUSSI, C.; SHIMABUKURO, M. 2008. Efecto de la asignación de forraje sobre la productividad de una pastura de segundo año. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 99 p.
2. ALTAMIRANO, A.; DA SILVA, H.; DURÁN, A.; ECHEVARRÍA, A.; PANARIO, D.; PUENTES, R. 1976. Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay: Clasificación de Suelos del Uruguay. Ministerio de Agricultura y Pesca, Dirección de Suelos y Fertilizantes, Montevideo. s.p.
3. ARGELAGUET, R.; IRAZOQUI, A. 1985. Fertilización fosfatada en la implantación y producción de leguminosas en pasturas naturales. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 186 p.
4. ARIAS, R.; PAPERAN, J. 2001. Evolución de la implantación en siembras en cobertura de cultivares de Trébol Blanco y Lotus *spp.*, en un suelo profundo de basalto bajo pastoreo controlado. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 70 p.
5. AUSTRALIA. DEPARTMENT OF HEALTH AND AGEING, OFFICE OF THE GENE TECHNOLOGY REGULATOR. 2004. The biology and ecology of white clover (*Trifolium repens L.*) in Australia. Canberra. 23 p.
6. AYALA, W.; BERMÚDEZ, RAÚL.; CARÁMBULA, M. 1996a. Manejo y utilización de mejoramientos extensivos. In: Jornada Anual de Producción Animal (1996, Treinta y Tres). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 69-88 (Actividades de Difusión no. 110).
7. _____; CARÁMBULA, M. 1996b. Mejoramientos extensivos en la región este: manejo y utilización. In: Risso, D. F.; Berretta, E. J.; Morón, A. eds. Producción y manejo de pasturas. Montevideo, INIA. pp. 177-182 (Serie Técnica no. 80).
8. _____; BERMÚDEZ, R.; CARÁMBULA, M.; RISSO, D.; TERRA, J. 2001. Tecnologías para la mejora de la producción de forraje en suelos de lomadas del Este. In: Risso, D.F.; Berretta, E.J. eds.

Tecnologías forrajeras para sistemas ganaderos del Uruguay.
Montevideo, INIA. pp. 69–108 (Boletín de Divulgación no. 76).

9. _____; BEMHAJA, M.; COTRO, B.; DOCANATO, J.; GARCÍA, J.; OLMOS, F.; REAL, D.; REBUFFO, M.; REYNO, R.; ROSSI, C.; SILVA, J. 2010. Forrajeras; catálogo de cultivares 2010. Montevideo, INIA. 134 p.
10. AYALA TORALES, A. T.; DEREGIBUS, V.A.; MOAURO, P. R. 1998. Phosphorus absorption capacity of *Lotus corniculatus* and *Festuca arundinacea* during sward establishment. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 41 (3): 307-312.
11. AZANZA, A.; PANISSA, R.; RODRÍGUEZ d'AVILA, H. 2004. Evaluación de la fertilización nitrogenada de campo natural bajo pastoreo de vacunos en el período primaveral. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 91 p.
12. BARBER, S. A. 1995. Soil nutrient bioavailability; a mechanistic approach. New York, John Wiley and Sons. 414 p.
13. BAVERA, G. A. 2000. Clasificación de las razas bovinas. (en línea). In: Curso de Producción de Carne (2000, Río Cuarto). Textos. Río Cuarto, UNRC. FAV. 4 p. Consultado 29 mar. 2012. Disponible en http://www.produccionbovina.com/informacion_tecnica/razas_bovinas/03-clasificacion_de_las_razas_bovinas.pdf.
14. BEMHAJA, M. 1996a. Producción de pasturas en Basalto. In: Risso, D. F.; Berretta, E. J.; Morón, A. eds. Producción y manejo de pasturas. Montevideo, INIA. pp. 231-240 (Serie Técnica no. 80).
15. _____; OLMOS, F. 1996b. Producción de pasturas en suelos arenosos. In: Risso, D.F.; Berretta, E. J.; Morón, A. eds. Producción y manejo de pasturas. Montevideo, INIA. pp. 221-229 (Serie Técnica no. 80).
16. _____. 1998. Mejoramiento de campo; manejo de leguminosas. In: Seminario de Actualización en Tecnologías para Basalto (1998, Tacuarembó). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 63–72 (Serie Técnica no. 102).

17. _____. 2001. Tecnologías para la mejora de la producción de forraje en suelos arenosos. In: Risso, D. F.; Berretta, E. J. eds. Tecnologías forrajeras para sistemas ganaderos del Uruguay. Montevideo, INIA. pp. 109-122 (Boletín de Divulgación no. 76).
18. BERMÚDEZ, R.; AYALA, M. 2005. Producción de forraje de un campo natural de la zona de lomadas del Este. In: Seminario de Actualización Técnica en Manejo de Campo Natural (2005, Montevideo). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 33-39 (Serie Técnica no. 151).
19. _____.; AYALA, M.; MORÓN, A.; MÁS, C. 2008. Residualidad del fósforo en mejoramientos de Trébol blanco y Lotus sobre un suelo de colinas. In: Seminario de Actualización Técnica (2008, Treinta y Tres). Fertilización fosfatada de pasturas en la región Este. Montevideo, INIA. pp. 63-69 (Serie Técnica no. 172).
20. BERRETTA, E. 1996. Campo natural; valor nutritivo y manejo. In: Risso, D. F.; Berretta, E. J.; Morón, A. eds. Producción y manejo de pasturas. Montevideo, INIA. pp. 113-128 (Serie Técnica no. 80).
21. _____.; RISSO, D. F.; BEMHAJA, M. 2001. Tecnologías para la mejora de la producción de forraje en suelos de Basalto. In: Risso, D. F.; Berretta, E. J. eds. Tecnologías forrajeras para sistemas ganaderos del Uruguay. Montevideo, INIA. pp. 1-34 (Boletín de Divulgación no. 76).
22. BORDOLI, J. M. 1998. Fertilización de pasturas de leguminosas y mezclas de gramíneas y leguminosas. In: Jornada de Fertilización en Cultivos y Pasturas (1998, Concepción del Uruguay). Resúmenes de exposiciones. Concepción del Uruguay, INTA. 9 p.
23. CARÁMBULA, M. 1977. Producción y manejo de pasturas sembradas. Montevideo, Hemisferio Sur. 464 p.
24. _____.; AYALA, W.; CARRIQUIRY, E.; BERMÚDEZ, R. 1994. Siembra de mejoramientos en cobertura. Montevideo, INIA. 25 p. (Boletín de Divulgación no. 46).

25. _____. 1996. Pasturas naturales mejoradas. Montevideo, Hemisferio Sur. 524 p.
26. _____.; TERRA, J. 2000. Otro paso adelante en los mejoramientos de campo; la incorporación de gramíneas invernales. In: Jornada Anual de Producción Animal (2000, Treinta y Tres). Resultados experimentales. Montevideo, INIA. pp. 5-16 (Actividades de Difusión no. 225).
27. _____. 2002a. Pasturas y forrajes; potenciales y alternativas para producir forraje. Montevideo, Hemisferio Sur. t.1, 357 p.
28. _____. 2002b. Pasturas y forrajes; insumos, implantación y manejo de pasturas. Montevideo, Hemisferio Sur. t.2 , 371 p.
29. _____. 2004. Pasturas y forrajes; manejo, persistencia y renovación de pasturas. Montevideo, Hemisferio Sur. t.3, 524 p.
30. _____. 2008. Fertilización fosfatada, un insumo determinante del éxito en los suelos con restricciones de la región Este. In: Seminario de Actualización Técnica (2008, Treinta y Tres). Fertilización fosfata de pasturas en la región Este. Montevideo, INIA. pp. 37–47 (Serie Técnica no. 172).
31. CARLSON, G. E.; GIBSON, P. B.; BALTENSBERGER, D. D. 1985. White clover and other perennial clovers. In: Heath, M. E.; Barnes, R. F.; Metcalfe, D. S. eds. Forages; the science of grassland agriculture. 4th. ed. Ames, USA, Iowa State University Press. pp. 118-127.
32. CASANOVA, O. 2004. Fertilizantes fosfatados. In: Seminario de Actualización Técnica (2004, Treinta y Tres). Fertilización fosfatada de pasturas en las región Este; edición preliminar. Montevideo, INIA. pp. 1-6 (Actividades de Difusión no. 356).
33. COLL, J. 1994. Factores ecológicos que afectan la nodulación de leguminosas forrajeras en mejoramientos extensivos. In: Carámbula, M.; Vaz Martins, D.; Indarte, E. eds. Pasturas y producción animal en áreas de ganadería extensiva. Montevideo, INIA. pp. 115 - 128 (Serie Técnica no. 13).

34. DAVIES, A. 1988. The regrowth of grass swards. In: Jones, M. B.; Lazenby, A. eds. The grass crop. London, Chapman and Hall. pp. 85-127.
35. DÍAZ, J.E.; GARCÍA, J.A.; REBUFFO, M. 1996. Crecimiento de leguminosas en La Estanzuela. Montevideo, INIA. 12 p. (Serie Técnica no. 71).
36. ESCUDER, C.J.; MIQUEL, M.C.; CANGIANO, C.; SEVILLA, G. 1987. Efecto de la carga animal y el grupo genético sobre la productividad de vacunos en pastoreo. In: Reunión sobre Producción y Utilización de Pasturas para Engorde y Producción de Leche (1ª, 1987, Colonia). Trabajos presentados. Montevideo, IICA. pp. 145-156 (PROCISUR. Diálogo no. 19).
37. _____. 1997a. Manejo de la defoliación, efecto de la carga y método de pastoreo. In: Cangiano, C. ed. Producción animal en pastoreo. Buenos Aires, INTA Balcarce. pp 65-83.
38. _____. 1997b. Morfología de gramíneas y leguminosas forrajeras, implicancias en el manejo. In: Cangiano, C. ed. Producción animal en pastoreo. Buenos Aires, INTA Balcarce. pp. 5- 14.
39. FERNÁNDEZ, J.; FOGLINO, F. 2009. Efecto del período de ocupación de pastoreo en la productividad de una pastura de primer año de Raigrás perenne, T. blanco, Lotus corniculatus y Agropiro. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 68 p.
40. FERNÁNDEZ, M.; NAVA, M. P. 2008. Efecto de la asignación de forraje y suplementación sobre la estructura y composición botánica de una pastura mezcla. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 99 p.
41. FERRÉS, S.; QUEHEILLE, P.; RIET, I. 2003. Fertilización fosfatada en mejoramientos de campo en la región Este. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 151 p.
42. FERTILIZER INDUSTRY FEDERATION OF AUSTRALIA. 2006. Australian soil fertility manual. Collingwood, CSIRO Publishing. 176 p.

43. FORMOSO, F. 1996. Bases morfológicas y fisiológicas del manejo de pasturas. In: Risso, D.F.; Berretta, E.J.; Morón, A. eds. Producción y manejo de pasturas. Montevideo, INIA. pp. 1-19 (Serie Técnica no. 80).
44. GARCÍA, J. A. 1992. Persistencia de leguminosas. Investigaciones Agronómicas. 2(1): 143-156.
45. _____.; LABANDERA, C.; PASTORINI, D.; CURBELO, S. 1994. Fijación de nitrógeno por leguminosas en La Estanzuela. In: Morón, A.; Risso, D.F. eds. Nitrógeno en pasturas. Montevideo, INIA. pp. 8-13 (Serie Técnica no. 51).
46. _____. 1996. Variedades de Trébol Blanco. Montevideo, INIA. 15 p. (Serie Técnica no. 70).
47. GONZÁLEZ, F.; RODRÍGUEZ, M. 2006. Efecto de la dosis de fósforo e intensidad de pastoreo sobre la producción de un mejoramiento de campo natural con *Trifolium repens* L. y *Lotus glaber* Mill. en la unidad de suelos Río Tacuarembó. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 100 p.
48. GONZÁLEZ, J.; PIPPOLO, D. 1999. Implantación de gramíneas y leguminosas sobre una ladera de Basalto profundo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 123 p.
49. GREGORINI, P.; AGNELLI, L.; MASINO, C. 2007. Producción animal en pastoreo; definiciones que clarifican significados y facilitan la comprensión y utilización de términos usados comúnmente. (en línea). La Plata, Argentina, Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 5 p. Consultado 3 mar. 2012. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pastoreo_sistemas/61-produccion_en_pastoreo.pdf
50. GUTIÉRREZ, N.; PÉREZ, J. P.; REYNO, R. 2003. Comportamiento de líneas experimentales y cultivares de Trébol blanco en

mejoramientos de campo en la región basáltica del Uruguay. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 106 p.

51. HART, A. L.; HALLIGAN, G.; HASLEMORE, R. M. 1981. Analysis of the response of pasture legumes to phosphorus in a controlled environment. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 24 (2): 197-201.
52. HAY, M. J. M.; DUNLOP, J. 1982. Phosphate absorption by White clover stolons in pasture. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 25 (2): 211–216.
53. HAYDOCK, K. P.; SHAW, N. H. 1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 15 (76): 663-700.
54. HERNÁNDEZ, J. 1999. Fósforo. Montevideo, Facultad de Agronomía. 89 p.
55. HODGSON, J. 1981. Variations in the surface characteristics of the sward and the short-term rate of herbage intake by calves and lambs. *Grass and Forage Science*. 36(1): 49-57.
56. JAMIESON, W. S.; HODGSON, J. 1979. The effect of daily herbage allowance and sward characteristics upon the ingestive behavior and herbage intake of calves under strip-grazing management. *Grass and Forage Science*. 34(4): 261-271.
57. JASO, D.; OLAONDO, M. 1986. Implantación convencional y en cobertura de *Lotus* en pasturas naturales bajo fertilización fosfatada. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 95 p.
58. LYONS, R.K.; MACHEN, R.; FORBES, T.D.A. 2001. Entendiendo el consumo de forraje de los animales en pastizales. College Station, Texas A & M University System. 6 p.
59. MAGID, J.; TIESSEN, H.; CONDRON, L.M. 1996. Dynamics of organic phosphorus in soils under natural and agricultural ecosystems. In:

Piccolo, A. ed. Humic substances in terrestrial ecosystems. Amsterdam, Elsevier Science. pp. 429-466.

60. MARTEN, G.C.; BARNES, R.F.; BROUGHAM, R.; CLEMENTS, R.J. 1989. Persistence of forage legumes. Madison, American Society of Agronomy. 572 p.
61. MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. 2001. Principles of plant nutrition. Dordrecht, Kluwer. 849 p.
62. MILLOT, J. C.; METHOL, R.; RISSO, D. 1987. Relevamiento de pasturas naturales y mejoramientos extensivos áreas ganaderas del Uruguay. Montevideo, FUCREA. 199 p.
63. _____. 1994. Manejo del pastoreo y su incidencia sobre la composición botánica y productividad del campo natural. In: Carámbula, M.; Vaz Martins, D.; Indarte, E. eds. Pasturas y producción animal en áreas de ganadería extensiva. Montevideo, INIA. pp. 68-70 (Serie Técnica no. 13).
64. MONTOSI, F.M.; RISSO, D.; BERRETTA, E.J.; LEVRATTO, J.; RODRÍGUEZ, J.P. 1994. Uso estratégico de avenas en la recría. In: Pasturas y producción animal en Basalto (1994, Tacuarembó). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 23-31 (Actividades de Difusión no. 37).
65. _____.; RISSO, D. F.; FIGURINA, G. 1996. Consideraciones sobre utilización de pasturas. In: Risso, D.F.; Berretta, E. J.; Morón, A. eds. Producción y manejo de pasturas. Montevideo, INIA. pp. 93-106 (Serie Técnica no. 80).
66. MORÓN, A. 1992. El fósforo en el sistema suelo- planta. Investigaciones Agronómicas. 1(1): 45-60.
67. _____. 1994. Fósforo; disponibilidad y dinámica en el suelo. In: Morón, A.; Martino, D.; Restaino, E. eds. Manejo y fertilidad de suelos. Montevideo, INIA. pp. 27-31 (Serie Técnica no. 42).
68. _____. 1996. El fósforo en los sistemas productivos: dinámica y disponibilidad en el suelo (I). In: Risso, D.F.; Berretta, E.J. eds.

Tecnologías forrajeras para sistemas ganaderos del Uruguay.
Montevideo, INIA. pp. 37-44 (Serie Técnica no. 76).

69. _____. 2000. Alfalfa: fertilidad de suelos y estado nutricional en sistemas agropecuarios de Uruguay. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 8: 1-6.
70. _____. 2002. Posibles usos de fosforitas para mejoramientos de pasturas en zonas ganaderas tradicionales en Uruguay. *In*: Risso, D. F.; Montossi, F. eds. *Mejoramientos de campo en la región de Cristalino*. Montevideo, INIA. pp. 111-133 (Serie Técnica no. 129).
71. MOTT, G. O. 1960. Grazing pressure and the measurement of pasture production. *In*: *International Grassland Congress (8th, 1960, Berkshire)*. Proceedings. Oxford, Alden. pp. 606-611.
72. OLMOS, F. 2001a. Mejoramientos de pasturas con Lotus en la región Noreste. Montevideo, INIA. 48 p. (Serie Técnica no. 124).
73. _____. 2001b. Tecnologías para la mejora de la producción de forraje en Brunosoles del Noreste. *In*: Risso, D. F.; Berretta, E. J. eds. *Tecnologías forrajeras para sistemas ganaderos del Uruguay*. Montevideo, INIA. pp. 123–148 (Boletín de Divulgación no. 76).
74. _____. 2004a. Discusión sobre la variación, adaptación y dinámica de poblaciones de trébol blanco en Uruguay. *In*: Olmos, F. ed. *Factores que afectan la persistencia y productividad de pasturas mejoradas con trébol blanco*. Montevideo, INIA. pp. 149-168 (Serie Técnica no. 145).
75. _____. 2004b. Trébol Blanco. *In*: Olmos, F. ed. *Factores que afectan la persistencia y productividad de pasturas mejoradas con trébol blanco*. Montevideo, INIA. pp. 13-52 (Serie Técnica no. 145).
76. QUINTEROS, C. E.; BOSCHETTI, N. G.; BENAVIDEZ, R. A. 1995. Fertilización fosfatada de pasturas en implantación en suelos de Entre Ríos (Argentina). *Ciencia del Suelo*. 13: 60-65.
77. RABUFFETTI, A.; ZAMALVIDE, J. P.; MALLARINO, A. 1983. Fósforo. Montevideo, Facultad de Agronomía. 106 p.

78. RAVEN, P.; EICHHORN, S.; EVERT, R. 1992. Biología de las plantas. Barcelona, Reverté. t.2, 773 p.
79. REAL, D.; RISSO, D.F.; ZARZA, M.; MÉROLA, R.; VIANA, A.; DALLA RIZZA, M.; ALTIER, N.; CUADRO, R. 2004. El Lotononis sale a la cancha. *El País Agropecuario* no. 109: 25-28.
80. REBUFFO, M.; ALTIER, N. 1996. Mejoramiento genético en trébol rojo. *In*: Risso, D. F.; Berretta, E. J.; Morón, A. eds. Producción y manejo de pasturas. Montevideo, INIA. pp. 151-154 (Serie Técnica no. 80).
81. _____; BEMHAJA, M.; RISSO, D. F. 2006. Utilization of forage legumes in pastoral systems: state of art in Uruguay. *Lotus Newsletters*. 36(1): 22-33.
82. RISSO, D.F. 1994. Siembras en el tapiz; consideraciones generales y estado actual de la información en la zona de suelos sobre cristalino. *In*: Carámbula, M.; Vaz Martins, D.; Indarte, E. eds. Pasturas y producción animal en áreas de ganadería extensiva. Montevideo, INIA. pp. 71-78 (Serie Técnica no. 13)
83. _____; BERRETTA, E.; ZARZA, A. 1997. Caracterización de mejoramientos de campo utilizados con novillos en recría/engorde. *In*: Mejoramientos de Campo en Cristalino (Flores, 1997). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 1-19 (Actividades de Difusión no. 153).
84. _____; CARÁMBULA, M. 1998a. Lotus “El Rincón”: producción y utilización de los mejoramientos. Montevideo, INIA. 34 p. (Boletín de Divulgación no. 65).
85. _____. 1998b. Mejoramientos extensivos en el Uruguay. *In*: Reunión del Grupo Técnico Regional del Cono.Sur en Mejoramiento y Utilización de los Recursos Forrajeros del Área Tropical y Subtropical: Grupo Campos (14^a, 1998, Salto). Anales. Montevideo, INIA. pp. 23–29 (Serie Técnica no. 94).
86. _____; BERRETTA, E.; ZARZA, A. 2001. Tecnologías para la mejora de la producción de forraje en suelos de Cristalino. *In*:

Risso, D.F.; Berretta, E.J. eds. Tecnologías forrajeras para sistemas ganaderos del Uruguay. Montevideo, INIA. pp. 39-67 (Boletín de Divulgación no. 76).

87. _____.; MORÓN, A.; ZARZA, A. 2002a. Fuentes y niveles de fósforo para mejoramientos de campos en suelos de la región de Cristalino, A) Mejoramiento de Trébol blanco y Lotus. In: Risso, D.F; Montossi, F. eds. Mejoramientos de campo en la región de Cristalino. Montevideo, INIA. pp. 142–165 (Serie Técnica no. 129).
88. _____.; BERRETTA, E.; ZARZA, A.; CUADRO, R. 2002b. Productividad, composición, y persistencia de dos mejoramientos de campo para engorde de novillos en la región de Cristalino. In: Risso, D.F; Montossi, F. eds. Mejoramientos de campo en la región de Cristalino. Montevideo, INIA. pp. 8 - 46 (Serie Técnica no. 129).
89. ROBINSON, R.R. 1960. Germination of hard seed of Ladino White Clover. *Agronomy Journal*. 52: 212 – 214.
90. ROSENGURTT, B. 1979. Tablas de comportamiento de las principales especies de campos naturales del Uruguay. Montevideo, Facultad de Agronomía. 87 p.
91. ROVIRA, J. 1996. Manejo nutritivo de los rodeos de cría en pastoreo. Montevideo, Hemisferio Sur. 288 p.
92. SALDANHA, S. 2005. Manejo del pastoreo en campos naturales sobre suelos medios de basalto y suelos arenosos de cretácico. In: Seminario de Actualización Técnica en Manejo de Campo Natural (2005, Montevideo). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 75-84 (Serie Técnica no. 151).
93. SANTIÑAQUE, F.; CARÁMBULA, M. 1981. Productividad y comportamiento de distintas mezclas forrajeras. *Investigaciones Agronómicas*. 2(1): 16-21.
94. SILVEIRA, D. 2005. Efecto de la fertilización fosfatada sobre la implantación, producción inicial y composición química de *Lotus*

Glaber Mill. y *Trifolium repens* L. sembradas en cobertura. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 137 p.

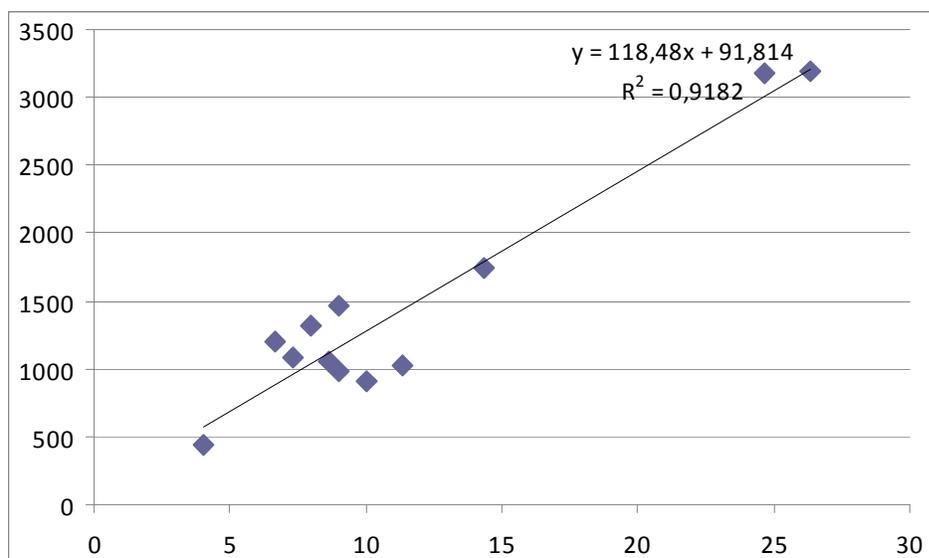
95. SINCLAIR, A.G.; SMITH, L.C.; MORRISON, J.D.; DODDS, K.G. 1996. Effects and interactions of phosphorus and sulphur on a mown white clover/ryegrass sward; 1. Herbage dry matter production and balanced nutrition. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 39: 421–433.
96. STEVENSON, F. J.; COLE, M. A. 1999. *Cycles of soil*. New York, John Wiley and Sons. 427 p.
97. TAIZ, L.; ZEIGER, E. 2010. *Plant physiology*. Sunderland, Sinauer. 782 p.
98. TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. 1966. *Soil fertility and fertilizers*. New York, Macmillan. 694 p.
99. TOLEDO, J. M.; DERRICK, T. 1990. Evaluación agronómica de forrajeras: principios y práctica. In: Pignau, J.P. ed. *Introducción, conservación y evaluación de germoplasma forrajero en el Cono.Sur*. Montevideo, IICA. pp. 327 – 336 (PROCISUR. Diálogo no. 28).
100. TURNER, B. L.; FROSSARD, E.; BALDWIN, D. S. 2005. *Organic phosphorus in the environment*. Wallingford, CABI. 399 p.
101. URI, N. 1999. *Conservation tillage in United States Agriculture; environmental, economic, and policy issues*. New York, Routledge. 130 p.
102. URUGUAY. MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL. DIRECCIÓN NACIONAL DE METEOROLOGÍA. 1996. *Normales climatológicas, período 1961-1990*. Montevideo, Uruguay. 20 p.
103. _____. MINISTERIO DE GANADERÍA AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCIÓN DE INVESTIGACIONES ESTADÍSTICAS AGROPECUARIAS. 2001. *Anuario estadístico agropecuario 2000*. Montevideo, Uruguay. 172 p.

104. _____. _____. _____. 2004. Anuario estadístico agropecuario 2003. Montevideo, Uruguay. 172 p.
105. WALDO, D. R. 1986. Effect of forage quality on intake and forage-concentrate interactions. *Journal of Dairy Science*. 69(2): 617-631.
106. WHEELER, J.L. 1962. Experimentation in grazing management. *Herbage Abstracts*. 32: 1-7.
107. WHITEHEAD, D. C. 2000. Nutrient elements in grassland; soil-plant-animal relationships. Wallingford, CABI. 369 p.
108. YARROW, N. H.; PENNING, P. O. 1994. Managing grass clover swards to produce differing clover proportions. *Grass and Forage Science*. 49: 496-501.
109. ZAMALVIDE, J. P. 1996. El fósforo en los sistemas productivos: dinámica y disponibilidad en el suelo (II). In: Risso, D. F.; Berretta, E. J. eds. *Tecnologías forrajeras para sistemas ganaderos del Uruguay*. Montevideo, INIA. pp. 45–49 (Serie Técnica no. 76).
110. ZANONIANI, R. 1998. Mejoramiento y manejo de bajos. Plan Agropecuario. Cartilla no. 13. 9 p.
111. _____.; DUCAMP, F. 2004. Leguminosas forrajeras del género Lotus en el Uruguay. *Cangüe*. no. 25: 5 – 11.

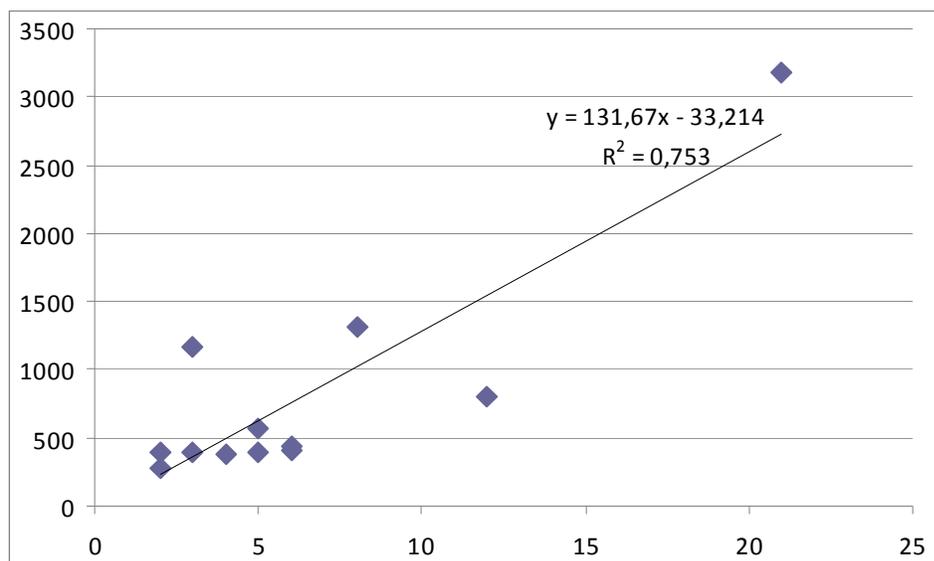
10. ANEXOS

9.1. EJEMPLO DE REGRESIÓN LINEAL

Disponible	Fecha:		26/10/2011
Bloque 1 Tratamiento 1			
Corte	Altura (cm)	Peso (g)	Disp. (kg/ha)
1	14	17,5	1750
2	7	12,05	1205
3	7	10,8	1080
4	9	9,85	985
5	10	9,15	915
6	4	4,45	445
7	9	10,55	1055
8	25	31,75	3175
9	11	10,25	1025
10	8	13,2	1320
11	9	14,65	1465
12	26	31,9	3190



Remanente	Fecha:	10/11/2011	
Bloque 1 Tratamiento 2			
Corte	Altura (cm)	Peso (g)	Rem. (kg/ha)
1	12	8	800
2	5	5,75	575
3	2	2,8	280
4	6	4,05	405
5	3	3,95	395
6	8	13,1	1310
7	3	11,65	1165
8	21	31,85	3185
9	5	4	400
10	4	3,85	385
11	2	4	400
12	6	8	800



9.2. ESTADÍSTICAS CLIMÁTICAS ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE PAYSANDÚ

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
TMED (61-90)	25	24	22	18	15	12	12	13	15	18	20	23	18
TX (61-91)	42	41	38	33	33	29	31	33	32	36	38	42	42
TN (61-92)	8	7,8	5	1,2	-4,5	-4	-4	-3	-3,4	1,8	2,2	7	-4,5
TXM (61-90)	32	30	28	24	20	17	17	19	21	24	26	30	24
TNM (61-90)	18	18	16	13	10	7	7	8	9	12	14	17	12
RR (61-90)	100	131	147	103	77	70	71	73	91	122	118	115	1218

TMED: Temperatura Media, mensual o anual (°C).

TX: Temperatura Máxima absoluta del período, mensual o anual (°C).

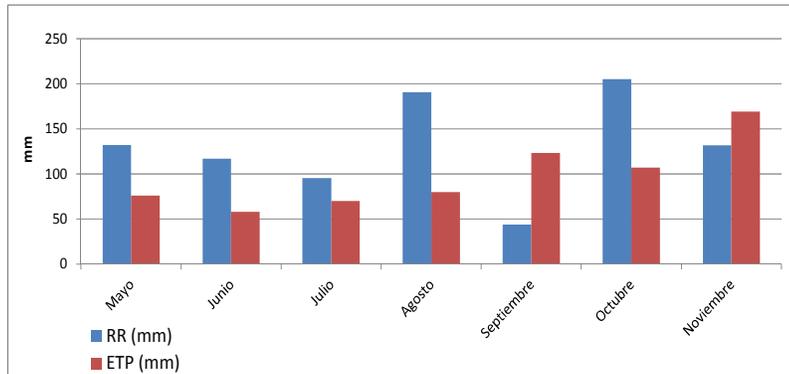
TN: Temperatura Mínima absoluta del período, mensual o anual (°C)

TXM: Temperatura Máxima Media, mensual o anual (°C).

TNM: Temperatura Mínima Media, mensual o anual (°C).

RR: Precipitación acumulado por mes, media mensual o anual (mm).

9.3. BALANCE HÍDRICO



9.4. ANÁLISIS DE LA VARIANZA

9.3.1. Composición botánica

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
GRAM %	8	0,76	0,43	15,28

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	305,50	4	76,38	2,33	0,2569
bloque	41,00	3	13,67	0,42	0,7548
trat	264,50	1	264,50	8,06	0,0657
Error	98,50	3	32,83		
Total	404,00	7			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=13,48486

Error: 32,8333 gl: 3

bloque	Medias	n	E.E.
1,00	34,00	2	4,05 A
3,00	37,00	2	4,05 A
4,00	39,50	2	4,05 A
2,00	39,50	2	4,05 A

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

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=9,53524*Error: 32,8333 gl: 3*

trat	Medias	n	E.E.
1,00	31,75	4	2,87 A
2,00	43,25	4	2,87 B

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

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DISP GRAM(Kg/Hà)	8	0,31	0,00	34,84

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	138699,50	4	34674,88	0,33	0,8439
bloque	137046,38	3	45682,13	0,43	0,7441
trat	1653,13	1	1653,13	0,02	0,9081
Error	315174,38	3	105058,13		
Total	453873,88	7			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=762,78782*Error: 105058,1250 gl: 3*

bloque	Medias	n	E.E.
3,00	708,50	2	229,19 A
4,00	960,50	2	229,19 A
1,00	1025,00	2	229,19 A
2,00	1027,50	2	229,19 A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,10)***Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=539,37244***Error: 105058,1250 gl: 3*

trat	Medias	n	E.E.
2,00	916,00	4	162,06 A
1,00	944,75	4	162,06 A

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

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
LEG%	8	0,96	0,91	5,84

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	410,50	4	102,63	18,11	0,0194

bloque	122,50	3	40,83	7,21	0,0695
trat	288,00	1	288,00	50,82	0,0057
Error	17,00	3	5,67		
Total	427,50	7			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=5,60212

Error: 5,6667 gl: 3

bloque	Medias	n	E.E.
3,00	35,50	2	1,68 A
2,00	40,00	2	1,68 A
4,00	41,00	2	1,68 A B
1,00	46,50	2	1,68 B

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

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=3,96130

Error: 5,6667 gl: 3

trat	Medias	n	E.E.
2,00	34,75	4	1,19 A
1,00	46,75	4	1,19 B

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

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DIS LEG(Kg/Hà)	8	0,79	0,50	35,79

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1700447,50	4	425111,88	2,77	0,2142
bloque	685135,00	3	228378,33	1,49	0,3756
trat	1015312,50	1	1015312,50	6,62	0,0822
Error	459940,50	3	153313,50		
Total	2160388,00	7			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=921,46560

Error: 153313,5000 gl: 3

bloque	Medias	n	E.E.
3,00	740,00	2	276,87 A
4,00	979,50	2	276,87 A
2,00	1111,00	2	276,87 A
1,00	1545,50	2	276,87 A

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

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=651,57457

Error: 153313,5000 gl: 3

trat	Medias	n	E.E.	
2,00	737,75	4	195,78	A
1,00	1450,25	4	195,78	B

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

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MALEZA%	8	0,56	0,00	22,95

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	97,50	4	24,38	0,96	0,5365
bloque	97,00	3	32,33	1,27	0,4250
trat	0,50	1	0,50	0,02	0,8975
Error	76,50	3	25,50		
Total	174,00	7			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=11,88390

Error: 25,5000 gl: 3

bloque	Medias	n	E.E.	
1,00	19,50	2	3,57	A
4,00	20,00	2	3,57	A
2,00	20,50	2	3,57	A
3,00	28,00	2	3,57	A

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

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=8,40319

Error: 25,5000 gl: 3

trat	Medias	n	E.E.	
1,00	21,75	4	2,52	A
2,00	22,25	4	2,52	A

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

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DIS MAL(Kg/Hà)	8	0,68	0,26	25,14

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	121935,50	4	30483,88	1,61	0,3625
bloque	24032,38	3	8010,79	0,42	0,7508

trat	97903,13	1	97903,13	5,17	0,1075
Error	56800,38	3	18933,46		
Total	178735,88	7			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=323,82017

Error: 18933,4583 gl: 3

bloque	Medias	n	E.E.
4,00	478,50	2	97,30 A
3,00	513,00	2	97,30 A
2,00	579,50	2	97,30 A
1,00	618,50	2	97,30 A

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

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=228,97544

Error: 18933,4583 gl: 3

trat	Medias	n	E.E.
2,00	436,75	4	68,80 A
1,00	658,00	4	68,80 A

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

9.3.2. Producción de forraje

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Produccion	8	0,77	0,46	29,65

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	9834225,50	4	2458556,38	2,50	0,2389
bloque	2874045,00	3	958015,00	0,97	0,5085
trat	6960180,50	1	6960180,50	7,07	0,0764
Error	2951804,50	3	983934,83		
Total	12786030,00	7			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=2334,38291

Error: 983934,8333 gl: 3

bloque	Medias	n	E.E.
3,00	2558,00	2	701,40 A
4,00	3016,50	2	701,40 A
2,00	3693,50	2	701,40 A
1,00	4112,00	2	701,40 A

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

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=1650,65799*Error: 983934,8333 gl: 3*

trat	Medias	n	E.E.	
2,00	2412,25	4	495,97	A
1,00	4277,75	4	495,97	B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,10$)***9.3.3. Altura y cantidad de forraje disponible**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DISPONIBLE	8	0,66	0,20	30,22

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	3452834,50	4	863208,63	1,43	0,4005
bloque	1598096,50	3	532698,83	0,88	0,5399
trat	1854738,00	1	1854738,00	3,07	0,1780
Error	1811929,00	3	603976,33		
Total	5264763,50	7			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=1828,93760*Error: 603976,3333 gl: 3*

bloque	Medias	n	E.E.	
3,00	1961,50	2	549,53	A
4,00	2418,00	2	549,53	A
2,00	2718,00	2	549,53	A
1,00	3189,50	2	549,53	A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,10$)***Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=1293,25418***Error: 603976,3333 gl: 3*

trat	Medias	n	E.E.	
2,00	2090,25	4	388,58	A
1,00	3053,25	4	388,58	A

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

Variable	N	R²	R² Aj	CV
ALT DISP	8	0,86	0,67	18,84

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	110,00	4	27,50	4,58	0,1207
bloque	60,00	3	20,00	3,33	0,1746
trat	50,00	1	50,00	8,33	0,0632
Error	18,00	3	6,00		
Total	128,00	7			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=5,76454

Error: 6,0000 gl: 3

bloque	Medias	n	E.E.
3,00	10,00	2	1,73 A
4,00	11,00	2	1,73 A
2,00	14,00	2	1,73 A B
1,00	17,00	2	1,73 B

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

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=4,07614

Error: 6,0000 gl: 3

trat	Medias	n	E.E.
2,00	10,50	4	1,22 A
1,00	15,50	4	1,22 B

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

9.3.4. Altura y cantidad del forraje remanente

Variable	N	R²	R² Aj	CV
REM Kg./HA	8	0,70	0,29	27,53

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	829349,00	4	207337,25	1,73	0,3405
bloque	825564,50	3	275188,17	2,30	0,2564
trat	3784,50	1	3784,50	0,03	0,8703
Error	359714,50	3	119904,83		
Total	1189063,50	7			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=814,90554

Error: 119904,8333 gl: 3

bloque	Medias	n	E.E.		
3,00	768,50	2	244,85	A	
4,00	1200,50	2	244,85	A	B
2,00	1429,00	2	244,85	A	B
1,00	1633,00	2	244,85		B

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

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=576,22524

Error: 119904,8333 gl: 3

trat	Medias	n	E.E.	
2,00	1236,00	4	173,14	A
1,00	1279,50	4	173,14	A

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

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ALT REM	8	0,92	0,81	14,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	51,00	4	12,75	8,50	0,0549
bloque	50,50	3	16,83	11,22	0,0387
trat	0,50	1	0,50	0,33	0,6042
Error	4,50	3	1,50		
Total	55,50	7			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=2,88227

Error: 1,5000 gl: 3

bloque	Medias	n	E.E.		
3,00	5,00	2	0,87	A	
4,00	8,00	2	0,87		B
2,00	10,50	2	0,87		B C
1,00	11,50	2	0,87		C

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

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=2,03807

Error: 1,5000 gl: 3

trat	Medias	n	E.E.	
2,00	8,50	4	0,61	A
1,00	9,00	4	0,61	A

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

9.3.5. Utilización del forraje

Variable	N	R²	R² Aj	CV
% UTIL	8	0,88	0,72	11,95

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo.	757,50			4	189,38	5,50 0,0965
bloque	162,38			3	54,13	1,57 0,3598
trat	595,13	1	595,13		17,27	0,0253
Error	103,38	3	34,46			
Total	860,88	7				

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=13,81453

Error: 34,4583 gl: 3

bloque	Medias	n	E.E.
2,00	45,00	2	4,15 A
1,00	46,00	2	4,15 A
4,00	49,00	2	4,15 A
3,00	56,50	2	4,15 A

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

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=9,76835

Error: 34,4583 gl: 3

trat	Medias	n	E.E.
2,00	40,50	4	2,94 A
1,00	57,75	4	2,94 B

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

9.3.6. Producción de carne

Variable	N	R²	R² Aj	CV
kg producidos	9	0,34	0,12	19,88

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Modelo	2680,65	2	1340,33	1,55	0,2862	
Columna1	2469,46	1	2469,46	2,86	0,1418	
C18 ago (kg)	4,90	1	4,90	0,01	0,9424	0,01
Error	5180,90	6	863,48			
Total	7861,56	8				

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=38,18542

Error: 863,4835 gl: 6

Columna1	Medias	n	
2,00	128,22	4	A
1,00	163,42	5	A

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0,10$)

Variable	N	R²	R² Aj	CV
GMD (kg/dia)	9	0,62	0,49	13,48

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Modelo	0,52	2	0,26	4,90	0,0547	
Columna1	0,48	1	0,48	9,03	0,0238	
C18 ago (kg)	9,9E-04	1	9,9E-04	0,02	0,8963	1,9E-04
Error	0,32	6	0,05			
Total	0,84	8				

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,30034

Error: 0,0534 gl: 6

Columna1	Medias	n	
2,00	1,44	4	A
1,00	1,93	5	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0,10$)