

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EFFECTO DE LA MEZCLA Y FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN LA
FERTILIDAD RESIDUAL Y PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO FORRAJERO
POSTERIOR**

por

**Sebastián BIANCHI PALERMO
Fausto FORMOSO GALLERO
Braian SILVA BALÍN**

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

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2019**

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. (MSc. Esp.) Ramiro Zanoniani

.....

Ing. Agr. (PhD.) Pablo Boggiano

.....

Ing. Agr. (MSc.) David Silveira

Fecha: 18 de octubre de 2019

Autores:

Sebastián Bianchi Palermo

.....

Fausto Formoso Gallero

.....

Braian Silva Balín

AGRADECIMIENTOS

Se quiere hacer mención en agradecimiento a las personas que colaboraron con el presente trabajo como a los Ingenieros Agrónomos Ramiro Zanoniani, Pablo Boggiano, Javier García, a los funcionarios del laboratorio de Pasturas de la Estación Experimental Mario Alberto Cassinoni, y a nuestros familiares por el apoyo para la realización del mismo.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1. <u>CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA PASTORIL EN URUGUAY</u>	3
2.1.1. <u>Distribución de las pasturas sembradas en el país</u>	3
2.1.2. <u>Utilización de las pasturas sembradas</u>	4
2.2. <u>GRAMÍNEAS</u>	4
2.2.1. <u>Gramíneas anuales invernales</u>	5
2.2.1.1. <i>Lolium multiflorum</i>	7
2.2.2. <u>Gramíneas anuales estivales</u>	10
2.2.2.1. <i>Setaria itálica</i>	11
2.3. <u>LEGUMINOSAS</u>	13
2.3.1. <u>Leguminosas anuales invernales</u>	17
2.3.1.1. <i>Trifolium vesiculosum</i>	19
2.3.1.2. <i>Trifolium resupinatum</i>	20
2.4. <u>NITRÓGENO</u>	22
2.4.1. <u>Características del nutriente nitrógeno</u>	22
2.4.2. <u>Información del nitrógeno en Uruguay</u>	22
2.4.2.1. Factores climáticos.....	23
2.4.2.2. Factores edáficos.....	23
2.4.2.3. Factor especie.....	24
2.4.3. <u>Ciclo del nitrógeno en los suelos de pasturas</u>	25
2.4.4. <u>Fuentes de nitrógeno</u>	26
2.4.4.1. Respuestas de las pasturas a la fertilización nitrogenada.....	27
2.4.4.2. Metodología de fertilización nitrogenada.....	28
2.4.4.3. Transferencia del nitrógeno de las leguminosas a las gramíneas y al sistema.....	29
2.4.4.4. Nitrógeno del fertilizante versus nitrógeno de la leguminosa.....	30
2.4.5. <u>Efectos del nitrógeno en las plantas</u>	30
2.4.6. <u>Impacto de las deficiencias del nitrógeno en las plantas</u>	32

2.5. DENSIDAD APARENTE	32
2.6. MEZCLAS FORRAJERAS DE GRAMÍNEAS Y LEGUMINOSAS.....	35
2.6.1. <u>Caracterización de las pasturas mezclas</u>	35
2.6.2. <u>Efecto de la mezcla en los niveles de nitrógeno, calidad y producción de la pastura</u>	36
2.6.3. <u>Competencia entre componentes de la mezcla y comparación entre gramíneas y leguminosas</u>	36
2.6.4. <u>Efectos de la frecuencia y la intensidad de la defoliación en la composición de la pastura</u>	38
2.7. CULTIVOS DE COBERTURA.....	38
2.7.1. <u>Importancia de los cultivos de cobertura</u>	38
2.7.2. <u>Ventajas de los cultivos de cobertura</u>	39
2.7.3. <u>Limitantes de los cultivos de cobertura</u>	41
2.7.4. <u>Especies utilizadas</u>	41
2.8. HIPÓTESIS.....	43
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	44
3.1. CONDICIONES EXPERIMENTALES.....	44
3.1.1. <u>Sitio experimental y tratamientos</u>	44
3.1.2. <u>Información climática</u>	46
3.1.3. <u>Manejo previo</u>	46
3.2. CONTENIDO DE N EN EL SUELO PREVIO A LA SIEMBRA DE MOHA.....	47
3.3. IMPLANTACIÓN.....	47
3.4. PRODUCCIÓN DE BIOMASA AÉREA TOTAL.....	48
3.5. CONTENIDO DE N EN EL SUELO POSTERIOR A LA COSECHA DE MOHA.....	48
3.6. HIPÓTESIS.....	48
3.6.1. <u>Hipótesis estadística</u>	48
3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	49
3.7.1. <u>Modelo estadístico</u>	49
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	50
4.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA.....	50
4.1.1. <u>Precipitaciones</u>	50
4.1.2. <u>Temperatura</u>	51
4.1.3. <u>Balance hídrico</u>	55
4.2. NITRÓGENO EN SUELO	57
4.2.1. <u>Nitrógeno con orina previo al cultivo de moha</u>	57
4.2.2. <u>Nitrógeno sin orina previo al cultivo de moha</u>	60
4.2.3. <u>Nitrógeno sin orina posterior al cultivo de moha</u>	63
4.3. DENSIDAD APARENTE.....	66

4.3.1. <u>Densidad aparente previo al cultivo de moha</u>	66
4.3.1.1. Densidad aparente en sitios con orina previo al cultivo de moha.....	67
4.3.1.2. Densidad aparente en sitios sin orina previo al cultivo de moha.....	69
4.3.2. <u>Densidad aparente posterior al cultivo de moha</u>	72
4.3.2.1. Densidad aparente sin orina posterior al cultivo de moha.....	73
4.4. <u>IMPLANTACIÓN</u>	76
4.5. <u>BIOMASA</u>	79
5. <u>CONCLUSIONES</u>	82
6. <u>RESUMEN</u>	83
7. <u>SUMMARY</u>	85
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	87
9. <u>ANEXOS</u>	108

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Densidades aparentes de referencia.....	33
2. Nitrógeno como nitrato (kg/ha) según pastura.....	57
3. Nitrógeno como nitrato (kg/ha) según fertilización nitrogenada.....	58
4. Nitrógeno como nitrato (kg/ha) según interacción pastura-nitrógeno.....	59
5. Nitrógeno como nitrato (kg/ha) según pastura.....	60
6. Nitrógeno como nitrato (kg/ha) según fertilización nitrogenada.....	61
7. Nitrógeno como nitrato (kg/ha) según interacción pastura-nitrógeno.....	62
8. Nitrógeno como nitrato (kg/ha) según pastura.....	63
9. Nitrógeno como nitrato (kg/ha) según fertilización nitrogenada.....	64
10. Nitrógeno como nitrato (kg/ha) según interacción pastura-nitrógeno.....	65
11. Densidad aparente inicial con orina (g/cm ³) según pastura.....	67
12. Densidad aparente inicial con orina (g/cm ³) según nitrógeno.....	68
13. Densidad aparente inicial con orina (g/cm ³) según interacción pastura-nitrógeno.....	69
14. Densidad aparente inicial sin orina (g/ cm ³) según pastura.....	70

15. Densidad aparente inicial sin orina (g/ cm ³) según nitrógeno.....	71
16. Densidad aparente inicial sin orina (g/ cm ³) según interacción pastura-nitrógeno.....	72
17. Densidad aparente final sin orina (g/ cm ³) según pastura.....	73
18. Densidad aparente final sin orina (g/ cm ³) según nitrógeno.....	74
19. Densidad aparente final sin orina (g/ cm ³) según interacción pastura-nitrógeno.....	75
20. Implantación (número de plantas/metro lineal) según pastura.....	76
21. Implantación (número de plantas/metro lineal) según nitrógeno.....	77
22. Implantación (número de plantas/metro lineal) según interacción pastura-nitrógeno.....	78
23. Biomasa (kg MS/ha) según pastura.....	79
24. Biomasa (kg MS/ha) según nitrógeno.....	80
25. Biomasa (kg MS/ha) según interacción pastura-nitrógeno.....	81

Figura No.

1. Densidad aparente (g/cm ³) en sistemas de rotación en La Estanzuela en 1979.....	34
2. Croquis del sitio experimental.....	45
3. Registro de precipitaciones mensuales del periodo octubre 2017 a marzo 2018 y de la serie histórica.....	50

4. Registro de temperaturas medias mensuales del periodo de estudio y de la serie histórica.....	52
5. Registro promedio de temperaturas medias, máximas y mínimas para el periodo de estudio comparados con la serie histórica.....	53
6. Comparación de amplitud térmica entre periodo de estudio y serie histórica.....	54
7. Balance hídrico durante el periodo de estudio.....	55

1. INTRODUCCIÓN

El clima en Uruguay permite utilizar las pasturas todo el año, prosperando especies de clima templado como de clima subtropical. El bajo potencial productivo de los pastizales nativos y los incrementos de productividad en los cultivos agrícolas luego de un periodo de pasturas, generó que se estimule un sistema de producción agrícola-ganadero, desde dicho momento se ha recurrido a la siembra de pasturas perennes y anuales en rotación con cultivos agrícolas para grano.

Algunas características que limitan la producción de las pasturas cultivadas, son el enmalezamiento prematuro, las fechas de siembras tardías, la inestabilidad de las mezclas (falta de equilibrio entre los componentes de la pasturas), el cultivo antecesor, problemas de implantación y el mal manejo del pastoreo.

La estación de invierno marca el mayor déficit de forraje en cualquier predio, por lo general el productor dispone de dos formas para compensar dicho periodo como lo son, incentivar la producción de forraje in situ o utilizando reservas forrajeras producidas en otras estaciones del año como fardos, ensilaje o suplementos a base de granos. Dadas las complicaciones que presenta el acondicionamiento y la distribución de las reservas, los productores prefieren la producción de forraje en pie, la cual es afectada notoriamente por las especies elegidas y las dosis de fertilizante nitrogenado aplicado.

Los cultivos forrajeros anuales permiten cumplir exitosamente la misión de entregar forraje en las épocas críticas de invierno y verano, cuando las pasturas perennes disminuyen su producción. Se caracterizan por ser de fácil implantación, sencillo manejo y constituyendo cosechas de alta productividad en un lapso breve de tiempo.

Con respecto a los nutrientes, el nitrógeno es el principal que limita la producción de forraje de todas las pasturas. No obstante, el fósforo es una de las principales vías para mejorar la disponibilidad de dicho elemento, a través de su efecto benéfico sobre el crecimiento de las leguminosas. Además contribuye a lograr una mayor eficiencia sobre el uso del nitrógeno aportado por ellas a las gramíneas asociadas o por el fertilizante nitrogenado a las gramíneas puras, respectivamente. Se alcanzan elevadas producciones de forraje en las gramíneas anuales si se satisfacen las necesidades de nitrógeno, existiendo tres fuentes para contribuir con su aporte para las pasturas como lo son, el reciclaje por mineralización del suelo, residuos vegetales y animales; aplicación de fertilizantes nitrogenados y asociación con leguminosas. Debido a que la cantidad de nitrógeno proveniente de la mineralización de la materia orgánica y la deposición de la atmósfera no logran satisfacer una alta producción de forraje, en la mayoría de los sistemas agrícolas intensivos, se recurre al suministro adicional de

nitrógeno. Este se puede proveer mediante adición de fertilizantes o por incorporación de leguminosas en la pradera (García, 1996).

La residualidad del nitrógeno en los suelos posterior a los verdes de invierno, se puede manifestar en los cultivos sucesores, dentro de los sistemas agrícolas ganaderos intensivos se pueden incluir cultivos cerealeros o cultivos forrajeros anuales de verano, estos últimos permiten aprovechar al máximo las condiciones estivales, logrando en esta época cantidades importantes de forraje tanto para pastoreo como para ensilar, en áreas pequeñas y en periodos cortos de tiempo, pudiendo destacarse algunas especies como *Sorghum spp* y *Setaria itálica* (Sawchik, 2001).

Es de destacar que no existe abundante información en Uruguay sobre la residualidad de las pasturas expresadas en cultivos siguientes. En este marco se planteó como objetivo del siguiente trabajo evaluar el efecto de la mezcla y la fertilización nitrogenada en la fertilidad residual y productividad del cultivo forrajero posterior, en el lapso transcurrido entre octubre del 2017 y marzo de 2018. Las pasturas invernales utilizadas fueron *Lolium multiflorum* cv LE 284 y pasturas mezclas compuestas por *Lolium multiflorum* cv LE 284 en un 70% y 30% de leguminosas anuales (24% *Trifolium resupinatum* cv Maral y 6% *Trifolium vesiculosum* cv Fertilizeta). Dichas pasturas se sometieron a distintos niveles de nitrógeno (0 y 64 kg/ha). La pastura estival utilizada fue *Setaria itálica*.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA PASTORIL EN URUGUAY

La implementación de las pasturas está sujeto básicamente a su facilidad para ser utilizadas y los bajos recursos económicos para ser empleadas, representan la principal fuente de alimento para el rodeo vacuno y la majada ovina, constituyendo la base de sustentación de la ganadería del país (Castagnara et al., 2011).

Según Carámbula (2002) el problema forrajero de la región se puede definir por condiciones climáticas erráticas como los factores agua y temperatura; escasa presencia de especies invernales las cuales han sido reducidas por efecto del pastoreo; baja fertilidad de los suelos con niveles reducidos de fósforo y alto poder de fijación del mismo, lo que condiciona la presencia de leguminosas. Está limitada existencia de dichas especies nativas repercute en una escasa fijación de nitrógeno estableciendo un bajo aporte de este nutriente al sistema. El nitrógeno que es el factor básico y dominante que controla la producción de forraje, puede ser logrado mediante el uso de leguminosas asociadas y la clave está en seleccionar las especies apropiadas para cada suelo con el objetivo de aproximarnos al potencial de producción de forraje de la región.

2.1.1. Distribución de las pasturas sembradas en el país

En cuanto a la distribución de las pasturas sembradas en el país, las praderas perennes fueron y siguen siendo la principal vía de utilización por parte de los productores, las praderas han sufrido un aumento en los últimos años, registrándose 970,6 miles de hectáreas en el 2009, mientras que en el 2016 el área llegó a 1141,4 miles de hectáreas, representando un crecimiento del 17,5%. Durante el mismo periodo el campo mejorado decreció en su superficie un 16% abarcando 643,4 miles de hectáreas. Con respecto al campo natural fertilizado, el mismo se ha mantenido prácticamente constante en cuanto al área. Cabe destacar que los cultivos forrajeros anuales manifestaron un crecimiento en los últimos tiempos, en el 2009 ocupaban un área de 474,1 miles de hectáreas, mientras que en el 2016 una superficie de 534,8 miles de hectáreas manifestando un aumento del 12,8% (MGAP. DIEA, 2018). La importancia de estos últimos se ha incrementado, dada la mayor intensificación de la ganadería uruguaya, a las altas temperaturas y deficiencias hídricas estivales que han determinado que los mismos sean muchas veces la única alternativa productiva en el otoño (Zanoniani y Noëll, 2003).

2.1.2. Utilización de las pasturas sembradas

La adecuada utilización de las pasturas es fundamental para incrementar la productividad de los sistemas de producción basados a pasto, se centra en el consumo de especies presentes y en la defoliación de láminas foliares. Para mantener la producción de hojas se recomienda una defoliación periódica con el fin de lograr una producción sostenida del forraje, supervivencia de las plantas y una calidad óptima (Schnyder et al., 1999).

2.2. GRAMÍNEAS

La familia de las gramíneas representa uno de los grupos de plantas con mayor diversidad ya que abarcan muchas especies, existiendo una amplia gama de recursos fitogenéticos, los cuales se desarrollan en convivencia con otras familias botánicas. Presentan una gran adaptación a los diferentes ambientes, ya sean cálidos y secos, húmedos, tropicales, etc., formando extensas áreas de pastizales (Gould y Shaw, citados por Dávila et al., 1993). Si bien esta familia se destaca por su diversidad de especies y versatilidad en los hábitats en los que vive, también tiene gran trascendencia en la parte económica. A lo largo de los años las gramíneas han sido un factor crucial para el desarrollo de la humanidad, ya que se dice que las grandes civilizaciones se crearon y desarrollaron de forma simultánea al descubrimiento y evolución de algunas especies de esta familia, las cuales se utilizaron con fines alimenticios. Como consecuencia les permitió domesticar algunos animales, transformándose en civilizaciones sedentarias (Harrington 1977, Gould y Shaw, citados por Dávila et al. 1993).

Son una herramienta primordial en cuanto al aspecto ecológico, por otro lado tienen diversos destinos ya que pueden ser utilizadas por el hombre para su propia dieta alimenticia, en medicina, en industrias, etc. Una de las principales ventajas que presenta dicha familia es la conservación y regeneración del suelo (Mejía-Saulés y Dávila, 1992).

Las gramíneas junto a otras plantas, juegan un rol fundamental en la formación y conservación del recurso suelo, introduciendo sus raíces en profundidad en busca de agua y nutrientes, las cuales al mismo tiempo degradan la roca, esto conlleva a que se vaya formando y estructurando el suelo, es decir mejorando las propiedades físicas (Kellogg 1948, Thorp 1948).

Por otro lado aumentan la fertilidad del suelo, al descomponerse el forraje, aportando materia orgánica y minerales. La gran proliferación de los pastos contribuye a la conservación del suelo al evitar las pérdidas por erosión y la acción del viento (Thorp 1948, Risser 1988).

La ganadería del país se basa en pastizales donde predominan las gramíneas, ya que el ganado se alimenta de alguna u otra forma del follaje de este grupo de plantas (Harrington, 1977). Son sin lugar a dudas la principal fuente de forraje para los animales ya sea como base del campo natural, de verdeos anuales o como componentes de praderas de distinta duración de vida (García, 2003).

Según Ayala y Carámbula (1994) se puede predecir el comportamiento de las gramíneas en función del uso del nitrógeno, dado que constituye una herramienta atractiva, este puede ser brindado principalmente por el agregado exógeno y/o por la incorporación de leguminosas al sistema.

Estudios realizados por Zanoniani et al. (2011) determinaron que la aplicación de nitrógeno permite incrementar los niveles de producción del forraje principalmente el componente gramínea. El mayor efecto del agregado se presenta en condiciones de alta intensidad de pastoreo, es decir con baja oferta de forraje ya que la incorporación del mismo determina un rebrote más acelerado alcanzando de forma anticipada el IAF óptimo a diferencia de situaciones con alta oferta de forraje, en esta última situación los remanentes son mayores, produciendo situaciones de sombreado que determinan una reducción en la acumulación de materia seca.

Agnusdei et al. (2001) reportaron que la tasa de crecimiento de forraje de parcelas sin fertilizar fueron menores en comparación a aquellas fertilizadas en situaciones de altas cargas. Dicha fertilización se basó en la corrección de los niveles de nitrógeno y fósforo.

Evaluaciones realizadas en la pampa deprimida sobre pastizales donde la vegetación dominante era gramíneas anuales y perennes como *Lolium multiflorum* y especies de los géneros *Bromus*, *Stipas* y *Piptochaetium* determinaron que al fertilizar con nitrógeno se generaron tasas de crecimiento de 81 kg MS/ha/día, es decir que se triplicó la tasa de crecimiento del testigo (sin fertilizar). *“La fertilización nitrogenada genero un incremento significativo en la acumulación de forraje y evidencio una alta dependencia temporal de la respuesta del crecimiento en la fertilización nitrogenada, es decir que la misma se incrementó con el transcurso del tiempo”* (Fernández Grecco, 2001).

2.2.1. Gramíneas anuales invernales

En los sistemas de producción con base pastoril constituye una gran preocupación privilegiar el aseguramiento de la estabilidad de la oferta alimenticia a lo largo del año como un requisito para alcanzar altas producciones de carne y leche (Amigone et al., 2012).

Para Zanoniani y Noëll (2003) el lento crecimiento otoñal y las bajas temperaturas del invierno, tienen como consecuencia una baja producción del campo natural, como también de las praderas convencionales en esta época del año, lo cual conlleva a utilizar otras alternativas forrajeras de mayor producción para cubrir estas carencias, como lo son los verdeos invernales. Las especies utilizadas en el país son avena, raigrás, trigo, triticale, perteneciendo a la familia de las gramíneas, anuales, produciendo altos volúmenes de forraje en pocos meses.

Los verdeos de invierno debido a su alta producción estacional sobre todo en los periodos de mayor déficit forrajero aparecen como uno de los recursos más aptos para complementarse, dentro de las cadenas forrajeras con las pasturas permanentes dándole estabilidad a la producción de forraje durante todo el año. Existe una amplia gama de opciones para la implantación de verdeos, la diversidad de comportamientos de las distintas especies y sus cultivares, permite decidir la incorporación de los más adecuados para cada situación (Amigone et al., 2008). “*Estos recursos manejados en forma adecuada cubren gran parte de los requerimientos energéticos y proteicos de los animales, permitiendo sustentar buenos desempeños productivos*” (Moreyra et al., 2014).

Las gramíneas anuales invernales forman parte importante de las rotaciones de los predios. Estos cultivos deben alcanzar una elevada producción de forraje de buena calidad para amortizar sus costos en un periodo corto de tiempo, lo que los hace caros en comparación a otras alternativas de mayor duración, por ende se debe realizar un manejo adecuado para poder cumplir los objetivos planteados (Zanoniani y Noëll 2003, Zarza et al. 2011).

Se utilizan a menudo luego de la cosecha de los cultivos de verano, lo cual presenta como ventaja que cubre el suelo disminuyendo los efectos negativos de la erosión, además permite manejar el barbecho para la siembra del próximo cultivo estival. En sistemas agrícolas-ganaderos estas especies son empleadas también con el fin de aportar una alta producción forrajera en los meses invernales si se va a sembrar un cultivo de verano posterior, o aportar una producción invierno primaveral en caso de continuar con el verdeo y sembrar recién en el próximo otoño una pradera perenne. En estos sistemas que predomina como rubro principal la agricultura, pero también tiene una importancia significativa la ganadería, la implementación de estos verdeos permite controlar de forma adecuada las malezas especialmente gramilla, si hay infestación con la misma en los rastrojos de los cultivos de verano. Dentro de un esquema de producción en el que se realiza soja en el periodo estival, si bien existen cultivares RR (resistentes a glifosato) se observan frecuentemente en las chacras infestaciones de *Cynodon dactylon* lo cual se origina en muchos casos por aplicaciones de subdosis de glifosato. Otras ventajas al sistema es que posibilitan un manejo de malezas de hoja ancha más sencillo para su control, impiden el avance de enfermedades principalmente de las leguminosas disminuyendo los patógenos en el suelo (Formoso, 2010).

Se adaptan a una amplia gama de suelos sin embargo son más exigentes que los cereales en fertilidad, humedad y temperatura, resistiendo bien la acidez y excesos de agua. Son pasturas de fácil implantación, aunque tienen un vigor inicial menor que el de los cereales, aspecto que es recompensado por un ciclo más largo que el de aquellos. Producen en invierno pero su mayor entrega de forraje se da en primavera, cuando sus elevadas tasas de crecimiento provocan rápidamente un exceso en la producción de pasto, lo cual exige un manejo cuidadoso y acertado tanto por pastoreo como por la elaboración de ensilaje, henolaje y henificación. Bajo pastoreo directo, los mejores resultados se alcanzan pastoreando de forma intermitente, con aplicaciones adecuadas de nitrógeno entre pastoreos. Los verdes de invierno tienen una mayor respuesta en comparación a los cereales, presentando una eficiencia en el uso del nitrógeno superior y en la posibilidad de ser utilizados en pastoreos diferidos luego de la aplicación de dicho nutriente (Carámbula 2002, Perrachón 2009).

Haciendo énfasis en los verdes de invierno, se destacan como especies de mayor utilización la *Avena spp* y *Lolium multiflorum*. La primera hace una importante entrega de forraje en el otoño con máxima oferta en invierno y un decremento notable hacia la primavera, este comportamiento contrasta con el de *Lolium multiflorum* el cual presenta una producción más tardía, ofreciendo mayor forraje en el periodo invierno-primaveral, destacándose como una especie de comportamiento confiable y que presenta menores variaciones en sus rendimientos. La siembra conjunta de esta especie en mezcla con avena, permite elevar la producción otoñal, ofreciendo una entrega de forraje más uniforme a lo largo del año. Las mezclas de dichas especies, no solo permiten alcanzar altos rendimientos sino una mayor estabilidad en la producción, dado por su gran capacidad de adaptación al ambiente (Carámbula 1993, Zanoniani y Noël 2003, Perrachón 2009).

2.2.1.1. *Lolium multiflorum*

En los últimos tiempos ha aumentado la utilización de verdes invernales principalmente raigrás, ya sea sembrado puro o asociado, favorecidos por la utilización de tecnologías de manejo como por ejemplo, fertilizaciones, control de malezas ya sea anuales como perennes en barbechos químicos, entre otros (Carta et al., citados por Ojuez et al., 2006).

Es originaria de Europa y naturalizada en América que se ha difundido de manera espontánea, ya sea como recurso forrajero o como maleza principalmente en los cultivos de invierno y barbechos de cultivos de verano (Acciaresi y Picapietra, 2018).

Langer (1981) distingue que esta especie se destaca por su alto vigor inicial, su fácil implantación y por presentar rendimientos importantes en un lapso breve de tiempo.

Borrajo et al. (2011) establecen que tiene una buena adaptación a los suelos francos a francos-arcillosos, tolerando suelos pesados y húmedos, sin embargo presenta escasa tolerancia a la sequía. Su época de siembra es a principios de otoño y su mayor oferta de forraje se da en las estaciones de invierno y primavera. Es poco sensible a problemas de enfermedades causadas por hongos, por otro lado cabe destacar que esta especie se destaca por tener una buena resiembra natural.

Presenta variedades que se pueden diferenciar en ciclos cortos como también en ciclos largos. Los primeros son utilizados sobre todo en sistemas que priorizan producciones de forrajes más tempranas, es decir otoño e invierno, lo cual les permite la realización de un cultivo de verano posterior, ya sea para producción de grano o forraje. En cambio los raigrases de ciclo largo, son utilizados con el fin de obtener una mayor producción de forraje en forma más tardía, en primavera. Los cultivares que presentan mejores comportamientos en las condiciones ambientales de la región, obtienen los mayores potenciales de rendimientos durante el frío invernal, teniendo además una gran resistencia al pisoteo por parte de los animales. Una desventaja de esta especie, es que en caso de siembras muy tempranas, se puede ver afectadas las plántulas por altas temperaturas y déficit hídricos, pudiendo llegar a marchitarse algunas plantas (Formoso, 2010).

Carámbula (2002) señala que presentan un valor nutritivo elevado, destacándose en sus parámetros de calidad, que se encuentran en sus tejidos muy bien equilibrados aspecto que contrasta con algunos cereales de invierno. Tienen probablemente una de las más elevadas palatabilidades dentro de las plantas forrajeras, dado que la especie es bien aceptada por todos los animales en pastoreo.

García (2003) define al raigrás como una especie que presenta gran adaptación al pastoreo. La producción de forraje se maximiza con defoliaciones controladas cuando se alcanzan los 20 cm de altura pero tolera bien manejos más frecuentes. Estableciendo una comparación con la calidad de la avena, el raigrás presenta un mayor contenido de carbohidratos solubles, mejor relación carbohidratos/proteínas, mejor balance entre minerales y mayor respuesta a la fertilización nitrogenada.

Estudios realizados por Ayala y Carámbula (1994) concluyeron que el raigrás se presenta como una especie sensible a la deficiencia de nitrógeno en comparación con *Holcus* o *Bromus*.

La fertilización nitrogenada en invierno produjo incrementos en el crecimiento y la acumulación de forraje de los cultivos anuales (avena y raigrás) a fines de invierno y principios de primavera (Marino et al. 1995, 1996, Mazzanti et al. 1997). Las tasas de

crecimiento de forraje de parcelas no fertilizadas, fueron triplicadas con dosis de 100 a 150 kg de N/ha en aplicaciones invernales, y permitieron anticipar la máxima acumulación de forraje de los verdeos entre 20 y 30 días (Mazzanti et al., 1997).

Según Bemhaja (1994) las gramíneas exhiben altas respuestas frente a las fertilizaciones de nitrógeno. Un trabajo realizado por este autor con raigrás en chacras con relevante historia agrícola reflejan dichas respuestas, presentando a los 140 días post fertilizaciones producciones de 1854 kg MS/ha para el testigo sin fertilizar, mientras los testigos fertilizados aumentaron un 144, 229, 251 y 267 % para niveles de dosis de 40, 80, 120 y 160 kg de nitrógenos aplicados a los 75 días post siembra.

A partir de la fertilización nitrogenada otoñal es esperable que se incremente la producción de pasto en menor proporción que una dosis similar aplicada a fines de invierno, periodo en el cual la disponibilidad de formas asimilables de nitrógeno es extremadamente baja. Esto se debe a que en el otoño las condiciones de temperatura y humedad de los suelos son favorables para los procesos de mineralización de la materia orgánica, esto asegura relativamente una alta disponibilidad de formas asimilables del nitrógeno para el crecimiento en dicho periodo (Vázquez y Barberis 1982, Echeverría y Bergonzi 1995).

Los efectos de la incorporación del nitrógeno de la bolsa durante el otoño, determinaron incrementos significativos en las tasas de crecimiento de las pasturas fertilizadas en comparación a aquellas sin fertilizar y la respuesta aparente a la fertilización fue de 6 kg MS/kg de N aplicado como fertilizante. En dicho relevamiento se estableció que los tratamientos fertilizados y no fertilizados exhibieron similar tasa de crecimiento en primavera mostrando la ausencia de efectos residuales del nitrógeno sobre el crecimiento del forraje (Agnusdei et al., 2001).

Carámbula, citado por Perrachón (2017) establece que la respuesta a la fertilización nitrogenada en los verdeos invernales es relevante. Se puede decir que *Lolium multiflorum* es más eficiente que *Avena spp* en la utilización del nutriente, ya que produce más Kg de materia seca por Kg de N aplicado. En *Avena spp* la respuesta es de 15 a 20 kg MS/Kg de N, mientras que en *Lolium multiflorum* es de 20 a 30 kg MS/kg de N.

Por otro lado Carámbula (2002) señala que el raigrás sujeto a aplicaciones importantes de nitrógeno, de manera inteligente, distribuidas entre pastoreos directos y previo a cortes para silo o heno, es capaz de ofrecer un forraje tan rico en proteínas como cualquier leguminosa.

Estudios realizados por Amigone et al. (2008) determinaron que las especies de raigrás y triticale aparecen como las más estables en la distribución de su producción, en comparación con las demás especies utilizadas como verdeos de invierno.

2.2.2. Gramíneas anuales estivales

En algunas situaciones las rotaciones agrícolas ganaderas incluyen pasturas consociadas de leguminosas y gramíneas templadas, verdes de invierno, verdes de verano y cultivos de reserva (Ré, 2013).

“Los verdes de verano son en muchos predios un mal necesario, debido a que durante esta época del año, las praderas artificiales, excepto la alfalfa, disminuyen su producción y deben recibir un pastoreo controlado. Esta situación genera en veranos normales una deficiencia de forraje importante. Teniendo en cuenta esta necesidad, creemos necesario que estos cultivos se deben realizar de la mejor forma posible, para que dejen el mayor rédito económico al sistema. Los materiales de mayor difusión en nuestro país son sorgo forrajero, sudangrass, moha y maíz, los cuales pueden ser utilizados en forma directa por los animales o ser diferidos en forma de reserva como silo o fardos” (Perrachón, 2010).

Durante el verano el campo natural presenta una predominancia de especies de baja calidad. Los verdes de verano son frecuentemente utilizados en diferentes sistemas productivos, como un complemento forrajero de alta oferta en los meses estivales. En forma general, el rápido desarrollo de estas pasturas determina dificultades en su utilización, debido a esto una estrategia a tener en cuenta, podría ser la de realizar más de una fecha de siembra como forma de manejar con mayor eficiencia el forraje producido, dichas pasturas permiten el manejo de altas cargas en áreas reducidas, aunque la performance a alcanzar es limitada. Estudios realizados observaron que los animales preferían más al sudangrass respecto a la moha, aspecto que se acentuaba más llegando a la madurez. Además el primero posibilita el manejo de una carga superior (76 %) a la manejada sobre moha (Ayala y Bermúdez 2005, Ayala et al. 2014).

El uso de distintas variedades de sudangrass y sorgo forrajero para pastoreo de los animales se ha generalizado en distintas regiones ganaderas del Uruguay durante el periodo estival. Estos materiales se caracterizan por tener una elevada producción de forraje por superficie (8000 a 15000 kg MS/ha) que permiten sostener una alta carga animal (4 a 6 animales/ha) durante los meses de verano. Sin embargo las ganancias diarias de peso que se pueden alcanzar son moderadas debido a desbalances nutricionales (Rovira y Echeverría, 2013).

Según Carámbula (2002) la producción otoñal de las gramíneas anuales estivales es escasa, expuesta a variaciones importantes de acuerdo con las condiciones climáticas que presenta dicha estación. La ocurrencia de otoños secos y fríos limita seriamente su rendimiento, no obstante, se debe destacar que normalmente mientras *Setaria itálica* y los *Sorghum spp* presentan mayor precocidad que el *Sorghum sudanense* y el *Pennisetum americanum*, estos últimos extienden su producción entrando al otoño, comportándose como más tardíos.

A partir de condiciones ambientales favorables durante el otoño, así como también la utilización de materiales de ciclo largo, se generan altas producciones de forraje en dicha estación. Sin embargo deriva en siembras tardías de verdeos de invierno y/o pasturas perennes, quedando el suelo descubierto sin plantas que puedan capitalizar las buenas condiciones climáticas de este periodo. Siguiendo con este hilo el retraso de la fecha de siembra para después de abril provoca el no empleo de la rotación planificada, pastoreos de sorgos en el otoño, espera hasta que comiencen las lluvias para empezar a preparar la cama de siembra y periodos cortos de barbecho, determinan una disminución de por lo menos 3000 kg MS/ha en el periodo otoño- invernal, lo que provoca una menor productividad anual, una disminución en área efectiva de pastoreo y una sobrecarga del resto de las pasturas con la consiguiente pérdida de productividad y persistencia (Zanoniani, 2010).

Una alternativa para poder paliar la problemática de la no ejecución de la rotación planificada es la utilización de alguna otra especie de ciclo más corto como puede ser *Setaria itálica*, esta es la especie que presenta mayor precocidad dentro de los verdeos de verano, logrando producciones aproximadas de 6 toneladas/ha de forraje en un lapso entre 90-120 días (Perrachón, 2010).

Terra et al. (2000) determinaron que las características del verdeo estival, lo postula como una alternativa interesante en situaciones de suelos de capacidad de uso limitada (riesgo de erosión y degradación, alto riesgo de sequía) en una perspectiva de intensificación de la producción sobre sistemas que incluya rotaciones cultivos-pasturas en siembra directa.

2.2.2.1. *Setaria itálica*

En el verano se presentan condiciones desfavorables que pueden disminuir las ganancias de peso de los animales sobre pasturas de crecimiento estival. Dada tal situación existen cultivos alternativos denominados verdeos de verano, entre los que se destacan la moha por su rápido crecimiento inicial y su habilidad para adaptarse rápidamente a las condiciones (Dekker, 2003).

Este cultivo es originario del viejo mundo (China) desde varios siglos incluso previo a la era cristiana, por lo que se considera uno de los cereales más antiguos (Ho, citado por Prasada et al. 1987, Wang et al. 1995). El grano tiene poca trascendencia como alimento para consumo humano en relación a otros como el trigo, arroz, maíz, y sorgo (De Wet et al., 1979).

“Es una especie estival de ciclo corto que ingreso al país en la década de los 80 y se utiliza en los sistemas intensivos de producción de leche o engorde de vacunos

con la finalidad de pastoreo, conservación en forma de heno y/o producción de semilla". Generalmente no ha sido muy utilizado para consumo en pie debido principalmente a su escasa capacidad de rebrote y al poco anclaje de las plantas, debido a un sistema radicular muy superficial que la hacen muy susceptible al arrancado durante el pastoreo. Por otro lado reportan que el cultivo de moha tiene una importante *"adaptación a un amplio periodo de siembra, lo que la hace especialmente útil como cultivo de segunda, luego de los cultivos de invierno, su corto periodo de crecimiento y excelente rastrojo, la hace muy apropiada para la siembra previa a los cultivos tempranos de especies anuales como avena y la instalación de praderas cultivadas. Su elevada velocidad de crecimiento le dan a la especie una gran capacidad de competencia que la hace ideal para complementar la aplicación de herbicidas para combatir Cynodon dactylon en praderas viejas previo a la etapa agrícola de la rotación"* (Vaz Martins e Ibáñez, 2004). Sin embargo si se realizan cortes en etapas tempranas se favorece de forma significativa el avance de malezas (gramíneas y hojas anchas) al disminuir la competencia del cultivo (Devoto y González, 1999).

Se caracteriza por ser precoz, de buena producción de materia seca, alta palatabilidad y óptimo valor nutritivo, además tiene aceptable resistencia a la sequía, a altas temperaturas (Florio et al., 2009) y presenta bajos requerimientos de agua (Vaz Martins e Ibáñez, 2004).

Sus mejores producciones se dan en suelos francos, con drenaje adecuado, presentando problemas en suelos arcillosos respecto a la germinación debido al rápido secado de la superficie de estos durante el verano y al encostramiento. Por otro lado, la salinidad también afecta en forma significativa al cultivo (Cangiano, citado por Devoto y González, 1999).

La época de siembra se ubica entre los meses de noviembre y diciembre, pero hay autores que sostienen que la misma puede extenderse hasta el mes de enero (Florio et al., 2009). Dekker (2003) menciona que *"el tiempo a emergencia es el principal factor determinante de la pérdida de rendimiento y la competitividad que tendrá el cultivo frente a las malezas. La germinación depende de la disponibilidad de agua en el suelo y la cantidad de oxígeno disuelto en el mismo que llega al interior de la semilla"*. El almacenaje de agua en el suelo es de gran importancia en el momento de la implantación ya que el agua disponible en esta etapa tiene una correlación importante con la producción de la moha (Felter et al., 2006). Por sus características físicas la semilla resulta de muy baja energía germinativa, por lo que suele deprimirse la implantación (Martínez Peck, citado por Florio et al., 2009).

Los forrajes conservados son una herramienta para intensificar la producción ganadera, ya que permiten incrementar la carga en el periodo invernal, como también mejorar la calidad de la dieta. Además constituyen un recurso estratégico ante situaciones de variables climáticas indeseadas (sequías o inundaciones) o problemas de mercado, como caída de los precios por exceso de oferta o intervención de los mismos.

En referencia a la utilización como heno, se ha determinado que el mejor momento para henificar es al inicio del panojamiento, dado que combina una buena producción de forraje, adecuada relación hoja/tallo, valores óptimos de proteína bruta y digestibilidad de la materia seca (Devoto y González, 1999).

Si bien se mencionó anteriormente que este verdeo estival presenta cierto grado de rusticidad y bajas exigencias nutricionales, como toda gramínea presenta una alta respuesta al agregado de nitrógeno, dependiendo de la variedad, momento del ciclo, la capacidad de aporte y manejo del suelo, grado de enmalezamiento, y condiciones ambientales. Aunque no sean claros los niveles críticos de nitrato en suelo recomendados para este cultivo, igualmente se recomienda la determinación del nivel de este nutriente previo a la siembra y durante las primeras etapas del cultivo (Terra et al., 2000).

Mendelevich et al. (1997) expresan que la implementación de fertilizaciones nitrogenadas hasta dosis de 69 kg/ha de N, permite mejorar la producción y calidad (principalmente proteína cruda) de este recurso forrajero. Sin embargo la respuesta depende de las características del ambiente.

2.3. LEGUMINOSAS

La pastura es la base de la producción agropecuaria en el Uruguay. Constituyen ecosistemas complejos y dinámicos, donde coexisten en permanente interacción las plantas y el suelo, los microorganismos benéficos y los patógenos, el animal y el ambiente. Las leguminosas forrajeras son un componente fundamental de las pasturas, siendo utilizados en los sistemas ganaderos extensivos, intensivos y en sistemas lecheros (Rebuffo et al., 2006).

La familia de las leguminosas abarca unas 17000 especies lo cual es un número significativo, demostrando la gran importancia de la misma tanto para consumo humano o animal. Algunas plantas se pueden consumir antes de llegar al estado de maduración, es decir leguminosas para verdes, aprovechándose no solo el grano tierno sino también la parte tierna de las vainas y el follaje. Pero también otras se secan, se separa el grano de la vaina (se desgranar) y se guardan para obtener una adecuada conservación evitando la humedad (Albisu y Fernández, 2008).

Carámbula (2002), Sánchez, citado por Rojas Hernández et al. (2005) describen que una alternativa para mejorar la calidad de las praderas, es la incorporación de leguminosas persistentes y compatibles con gramíneas. La forma de utilizar las leguminosas en función de mejorar la alimentación animal puede ser en asociación con

gramíneas, en monocultivos o mezclas simples, dependerá del programa de manejo y la disponibilidad del terreno en las unidades de producción.

Estas especies constituyen un componente fundamental de las pasturas, por su capacidad de aportar nitrógeno al sistema y su alto valor nutritivo. Es un forraje de excelente calidad alimenticia en términos proteicos y minerales, menores niveles de fibra que gramíneas y una relación carbohidratos solubles/insolubles mayor. Poseen una alta digestibilidad y promueven un consumo voluntario superior. Sujeto a esto se establecen como elementos imprescindibles en la producción de forraje, tal es así que elegir la leguminosa apropiada para cada circunstancia es asegurarse el éxito de la pastura (Carámbula, 2002).

Lascano y Ávila (1991) mencionan que la selección adecuada de especies dentro de la familia leguminosa, para suelos ácidos en asociación con gramíneas permite aumentar entre 20 y 30% la producción de leche y carne de animales bajo pastoreo.

El contenido de proteínas de las leguminosas es generalmente mayor que el de las gramíneas, por lo que permiten mejorar el valor nutritivo de la dieta animal. Además las leguminosas incrementan la fertilidad del suelo debido a su capacidad de fijar nitrógeno, facilitando de esta manera su disponibilidad a las gramíneas acompañantes (Castillo Gallegos 2005, Ovalle et al. 2005a, Rojas Hernández et al. 2005).

Torres y del Pino, citados por Sawchik (2001) realizaron ensayos con trébol rojo con el fin de investigar cómo afecta la fijación de nitrógeno de esta especie a los cultivos estivales e invernales posteriores. El nitrógeno que se concentró en la biomasa aérea fue aproximadamente 60 a 150 kg/ha. Los cultivos estivales fueron los que más se favorecieron, viéndose acelerado el proceso de mineralización por las mayores temperaturas, coincidiendo en mayor proporción la demanda de este nutriente por los cultivos con la oferta del suelo. Por el contrario los cultivos invernales presentaron menores eficiencias en la utilización del N fijado por el trébol rojo, pasando gran parte de este al N orgánico del suelo.

Se destacan por algunas cualidades como mejorar la calidad forrajera y las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo. Su capacidad de fijar nitrógeno en simbiosis con *Rhizobium* es la base para el manejo efectivo de este nutriente en el ambiente, teniendo un impacto muy positivo en la economía del país. Basta detallar el ahorro en fertilizantes nitrogenados, principalmente urea, a partir de una estimación promedio de 230 kg N/ha/año, fijado biológicamente por las leguminosas forrajeras. Dichas ventajas se desarrollan solo si el componente leguminosa se mantiene productivo en el tapiz durante el periodo de tiempo deseado (Altier, 2010).

Los establecimientos agropecuarios buscan en muchos casos a través de las pasturas lograr una adecuada sustentabilidad, para esto se basan en la incorporación de leguminosas, de manera de fijar nitrógeno a la rotación, y obtener una buena

rentabilidad, lo cual se lograra si los rendimientos de la pastura son altos. Son muchos los factores que deben alinearse para obtener máximos rendimientos, en los cuales algunos no son controlables como el clima, mientras otros si son controlables por el hombre a través del manejo. Entre las opciones que el productor puede decidir para aproximarse al potencial productivo de cada especie, se destacan la elección del cultivar a sembrar, para que el factor genético no limite la producción en condiciones óptimas (Labandera 2000, Rebuffo 2000).

Los principales factores que conducen a la rentabilidad de estas especies son el potencial de rendimiento, la persistencia, si presenta dormancia invernal o no, resistencia a enfermedades y calidad de forraje. Por otro lado la baja población o ausencia de rizobios específicos es una limitante para el establecimiento de leguminosas (Howieson, citado por Ovalle, 2003). En los últimos años se ha trabajado y se logró mejorar en muchos de estos aspectos, a través del mejoramiento genético obteniéndose nuevas variedades de leguminosas, las cuales tienen mayores potenciales de rendimientos, mejores resistencias a enfermedades y calidad de forraje (Rebuffo et al., 2010). Las especies que son más sembradas dentro de esta familia en el país (*Medicago sativa*, *Trifolium pratense*, *Trifolium repens* y *Lotus corniculatus*) presentan una elevada producción en el segundo año de vida, con una disminución en los años posteriores, lo cual compromete la persistencia de las mismas (Díaz Lago et al., 1996).

Implementar nuevas especies y variedades de leguminosas en las pasturas sembradas tiene como aspecto positivo mejorar la estabilidad de la producción en el tiempo y espacio, con el consiguiente mejoramiento y desarrollo ganadero de la zona. García et al. (1994), determinaron que por cada tonelada de materia seca de leguminosa se fijan alrededor de 30 kg/N/ha. Se ha observado que en praderas de trébol subterráneo en condiciones de adecuada humedad en Australia con precipitaciones mayores a 700 mm, puede llegar a rangos entre 121 y 284 kg de N fijados/ha/año, considerando el nitrógeno contenido en la biomasa total, es decir, aérea y subterránea (White et al., 2000). La cantidad de N que aporte la leguminosa dependerá de muchas variables como la biomasa total producida, contenido de nitrógeno en planta, capacidad de fijar nitrógeno del aire y de las condiciones del ambiente (Sullivan, 2003).

Según Wilson y Hargrove (1986) la incorporación del rastrojo de leguminosas en el perfil del suelo mediante laboreo convencional presenta mayores tasas de descomposición en comparación con siembra directa. En un ensayo obtuvieron que la proporción de N concentrada en el rastrojo a las 4 y 16 semanas fuera de 40 y 31 % con laboreo convencional, mientras que en siembra directa aumentaba de forma notoria obteniéndose valores de 63 y 36 %.

Trabajos elaborados por Wagger (1989) se basaron en la comparación de la liberación de N de rastrojos de *Trifolium incarnatum* en dos etapas fenológicas, entorno a floración y en llenado de grano. En este último estadio la concentración de N total en planta era mayor, pero la liberación fue más lenta, por una mayor proporción de pared

celular. Ranells y Wagger (1992) afirman que la incorporación de N al suelo proveniente de esta leguminosa es aproximadamente de 50 a 70 kg de N/ha en floración, siendo la mejor opción para el próximo cultivo.

Carámbula (2002) manifiesta que la forma de corregir las deficiencias nitrogenadas es estimulando a las leguminosas mediante la fertilización con P. No obstante, en estos casos no se sabe si el nivel alcanzado será suficiente para lograr la mejor curva de respuesta al nitrógeno, por parte de la pastura. Mientras tanto, el nitrógeno de la bolsa debería usarse en gramíneas para complementar estratégicamente al nitrógeno simbiótico de las pasturas mixtas de gramíneas y leguminosas, pero no para suplantarlos.

Esta familia presenta una amplia gama de aspectos negativos, como inferior capacidad de competencia por nutrientes como P, N, K y S; menor capacidad para competir por luz ya sean las especies con porte rastrero o erecto; mayores riesgos de plagas y enfermedades que gramíneas; meteorismo; para mantener poblaciones adecuadas que brinden forraje de manera interesante dentro de los sistemas productivos necesitan mayores resiembras naturales (Carámbula, 2002).

Blanco (1991) dice que la adaptación a las condiciones ambientales es transcendental determinando en qué grado se desarrolla la persistencia de las especies y variedades sembradas, por lo cual se debe tener en cuenta este factor ambiental previo a la selección de la pastura, buscando maximizar la producción y utilización de forraje.

Las plantas destinadas para producción de forraje logran desarrollar la persistencia mediante dos mecanismos diferentes, es decir en forma vegetativa o por semilla. El rebrote se da a partir de la corona, de estolones, o si se han formado semillas viables, dando origen a nuevas poblaciones, por lo cual es de gran importancia conocer la dinámica de las poblaciones de especies leguminosas para poder lograr un manejo adecuado, de manera de permitir un rebrote y recuperación de manera óptima, lo cual llevara a un aumento en la sobrevivencia de plantas madres y nuevas (Argel, citado por Rojas Hernández et al., 2005).

Hay una gran diversidad de factores que afectan la producción y persistencia de las pasturas, destacándose con mayor grado de importancia los problemas de enfermedades de raíz y corona, las sequías estivales, la interacción de ambos problemas y los manejos inapropiados del pastoreo (Chao et al., 1994).

Existe una amplia gama de trabajos realizados en diversos ambientes y años, con el fin de entender cómo afecta el manejo del pastoreo sobre la producción forrajera y la persistencia. Se llegó a la conclusión de que los manejos pocos frecuentes e intensos llevan a mejorar estos dos aspectos, en comparación con los tratamientos en los cuales la defoliación se manejaba de forma frecuente e intensa (Gardner et al. 1968, Formoso 1995).

En conclusión, se puede decir que esta familia botánica es una vía adecuada para combatir el cambio climático y se justifica en base a la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero, suelos con mayores fertilidad en sus perfiles, mejorando también la estructura, calidad de aguas, manteniendo la diversidad varietal de cultivos, disminuyendo el lavado de nutrientes en profundidad y se comportan mejor frente a ataques de plagas y enfermedades, además de las ventajas anteriormente mencionadas esta la capacidad de incorporar nitrógeno atmosférico al suelo y ser una fuente principal de proteína para los animales (Häusling, 2010).

2.3.1. Leguminosas anuales invernales

La utilización de las leguminosas en los predios agropecuarios son un camino para satisfacer las necesidades productivas de los productores y cumplir los objetivos propuestos, ya que estas repercuten en forma satisfactoria sobre algunos aspectos del sistema como reducir costos mediante una disminución en el uso de fertilizantes, provoca un efecto positivo sobre la calidad del producto (leche o carne) y disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero. El aporte será positivo siempre y cuando otros aspectos como el uso del agua del suelo por la leguminosa no limite la producción del próximo cultivo (Sawchik, 2001).

La creación de nuevos cultivares es un objetivo al cual se le da mucha importancia a nivel mundial, por lo que en los últimos tiempos han surgido en el mercado muchas leguminosas que fueron seleccionadas por diversas características como profundidad del sistema radicular, estación de crecimiento, tolerancia a plagas y enfermedades, asociación simbiótica adaptada a suelos ácidos (Loi et al., 2008), entre algunas de las principales especies investigadas se destacan los tréboles anuales como el trébol persa, migueliano, vesiculoso y serradella francesa (Lloveras, 1987).

La utilización de verdeos anuales (raigrás), debería ser ampliada con la asociación de tréboles anuales, a los efectos de aumentar su producción e incrementar su calidad. Asimismo de producir un forraje rico en proteínas, las leguminosas anuales suministran nitrógeno al suelo, no solo para el desarrollo de ellas, sino también para incrementar el nivel de dicho nutriente en el mismo, a los efectos de su posterior utilización por las gramíneas siguientes con el respectivo ahorro energético (Crespo Espejo et al., citados por Carámbula, 2002).

Dentro de los tréboles anuales se destacan *Trifolium alexandrinum*, *Trifolium subterraneum*, *Trifolium vesiculosum*, *Trifolium resupinatum* entre otros, poseen raíces superficiales lo que permite que sean aptos para ser sembrados en suelos poco profundos (Carámbula, 2002).

Estos tréboles además de ser fuentes de proteínas, se pueden destinar tanto para ensilaje (Botana et al., 2016) como para pastoreo directo por los animales (Veiga et al., 2016). Un trabajo elaborado por Salcedo et al. (2016) en el cual observaron incrementos en la concentración de ácidos grasos en la leche de vacas pastoreando triticale asociado a tréboles en comparación a triticale puro.

Trabajos a nivel experimental se han realizado en Galicia (España) con diferentes leguminosas anuales invernales sembradas en forma pura, las cuales exhibieron alta producción y calidad (Pereira-Crespo et al. 2012, Valladares et al. 2012). Se llegó a la conclusión de que estas especies en mezclas con raigrás italiano e híbrido pueden lograr pasturas interesantes para producir en sistemas lecheros, en los cuales se incluyen dentro de la rotación al maíz como cultivo estival para producir ensilados de buena calidad nutricional. Para sembrar mezclas vigorosas y productivas, es necesario tener un arduo conocimiento agronómico de las mismas para obtener una proporción equilibrada de cada especie, que no limite la producción ni la persistencia de la pastura, y así poder introducirlas en forma eficiente en los predios lecheros (Pereira-Crespo et al., 2016).

La pobre fertilidad de los suelos y en particular las bajas concentraciones de fósforo, son una de las principales limitantes que presentan los establecimientos agropecuarios ganaderos y lecheros. Por este motivo, en Australia se ha impulsado el desarrollo de la especie *Ornithopus compressus* como una opción forrajera (Ovalle et al., 2003).

Esta última especie se debe sembrar en otoño, ya sea en línea o al voleo, con una densidad de siembra de unos 30 Kg de semilla/ha aproximadamente, acompañado de 60 Kg/ha de P. Uno de los cultivares más conocidos en Uruguay es INIA La Encantada, presentando adaptaciones a suelos arenosos, ácidos, con presencia de aluminio intercambiable. Cabe mencionar que tiene una alta producción de semillas duras, aporta forraje desde el mes de junio hasta la primavera. Se estudió la pastura durante este lapso de tiempo con lanares pastoreando, observándose que dicha especie soporta una carga de 3 UG/ha, al realizarse un balance forrajero se concluyó que *Ornithopus* presenta un forraje de alta calidad en un periodo en el cual ocurren deficiencias de pasto (Olmos, citado por Bemhaja, 2001).

En trabajos con leguminosas anuales en secano se obtuvieron tasas de fijación de nitrógeno entre 15 y 20 kg N/tonelada MS producida (Ovalle et al., 2006).

En los últimos tiempos en el continente europeo ha avanzado una tendencia a la utilización de leguminosas forrajeras, en consecuencia de una mayor demanda por parte de la sociedad en tener una agricultura sustentable ecológicamente, por lo cual se debió modificar y adaptar los modelos de producción animal a dichas demandas, obteniéndose alimentos de calidad, seguros y a precios accesibles (Carámbula, 2002).

2.3.1.1. *Trifolium vesiculosum*

En cuanto al *Trifolium vesiculosum*, es una especie perteneciente a la familia botánica de las leguminosas, la cual presenta un hábito de vida anual, teniendo como origen la región mediterránea (Italia, Grecia y Sur de Rusia, Duke, 1981).

Es una especie invernal de porte erecto, presentando hojas trifoliadas de gran tamaño, flores blancas con coloraciones purpuras con forma cónica u oblonga, las plantas con edad avanzada exhiben hojas grandes con forma similar a una flecha con un largo de 50 mm aproximado, mostrando una mancha blanca en forma de “V”, sus ramas crecen en forma de roseta, el tallo es hueco, la producción de semillas es fácil, de bajo costo y de tamaño dos veces mayor que la de trébol blanco. Se destaca por un importante aporte de forraje en la zona Sur del estado de Río Grande del Sur y Norte de Uruguay. Presenta adaptación a suelos arcillosos pero no tolera suelos mal drenados y se considera tolerante a la sequía. Es susceptible a infecciones por virus y tienen riesgo de producir meteorismo en los animales rumiantes, como algunas desventajas a destacar (Carámbula 2002, Ovalle et al. 2005b, Ovalle et al. 2010, Vázquez-Penas Suárez 2012).

Posee un sistema radicular profundo, lo cual es bueno para su desarrollo, permitiéndole explorar mayor superficie de suelo que otras especies, extrayendo recursos como nutrientes y agua en forma más adecuada a sus requerimientos, con lo que se extiende el periodo de crecimiento y permanece verde por más tiempo que las pasturas anuales y otras especies de leguminosas. Se comporta mejor en suelos de textura gruesa, es decir arenosos bien drenados con buena fertilidad, aunque se adapta a un amplio rango de suelos, no resiste periodos prolongados de anegamientos. En cuanto a pH, prefiere que sea ácido a neutro, en áreas con más de 600 mm de precipitaciones (Oram, citado por Bustos 2002, Oram, citado por Ovalle 2003, Ewing, citado por Ovalle et al. 2005b).

Tiene un crecimiento lento posterior a su siembra estableciendo una producción de forraje tardía durante el primer año, a partir de sus buenas resiembras naturales produce forraje en forma más precoz, lo que permite ofrecer una mayor producción invernal como resultado de una germinación más temprana, un proceso rápido de nodulación y una población mayor de semillas, todo lo cual favorece un crecimiento anticipado en otoño, además la resiembra natural resulta positiva debido a la elevada producción de semillas duras (Carámbula, 2002).

Admite una densidad de siembra de 6 a 8 kg de semilla/ha, detectándose adecuadas germinaciones aun a temperaturas bajas, aconsejándose que su siembra sea en mezcla con gramíneas tales como avena o raigrás, manejando la misma de tal forma que cuando los tallos alcanzan entre 15-20 cm de altura el trébol puede ser pastoreado, pero cuando estos miden 10 cm se recomienda retirar el ganado, dado que no acepta pastoreos

severos, también puede sembrarse asociado con algún cereal, en esta opción el cultivo tendría que ser destinado a heno o semilla (Carámbula, 2002).

Tiene un alto potencial de fijación de nitrógeno, con referencia a los requerimientos en fósforo, se trata de una especie que responde muy bien a niveles crecientes de este nutriente. Se caracteriza por una óptima calidad nutritiva y poco o ningún problema de meteorismo debido al tenor de taninos en sus hojas (Carámbula, 2002).

Esta especie ha sido estudiada en los últimos años en Chile, más precisamente en áreas con altas precipitaciones en la zona mediterránea, se investigaron las principales características agronómicas de esta forrajera y su posible incorporación a sistemas productivos en la pre cordillera andina de la zona de clima mediterráneo húmedo del país. Hallaron un elevado porcentaje de semillas duras (98,8%) y sistemas radiculares importantes llegando a tener 1,5 m de profundidad. Las productividades logradas tanto en biomasa de MS y semillas es elevada, siendo entre 3,9-8,8 toneladas MS/ha para el primer año, sobrepasando a las producciones del *Trifolium subterraneum*, cv Mount Barker y al *Trifolium incarnatum*. Por otro lado, la producción en el segundo año puede ser inferior a estas otras especies, como consecuencia del alto porcentaje de semillas duras lo cual afecta en forma negativa la emergencia de plántulas para ese año (Ovalle et al., 2010).

2.3.1.2. *Trifolium resupinatum*

En cuanto al *Trifolium resupinatum*, es una especie dentro de la familia de las leguminosas que se destaca por presentar un hábito de vida anual, con origen en la región mediterránea (Turquía, Afganistán, Portugal, Grecia, Irán e Irak), de gran importancia para producción de heno en regiones con inviernos fríos (Açikgöz, citado por Ate y Servet 2004, INIA 2012).

Posee dos variedades principales de enorme importancia como lo son Majus (siendo una de las más productivas) y Resupinatum. Son plantas con raíces robustas y ramificadas, tallos postrados a erectos y huecos que pueden alcanzar los 90 cm de altura aproximado, hojas grandes trifoliadas, anchas en el caso de la variedad Majus y estrechas en Resupinatum. En etapas fenológicas avanzadas producen flores de coloración purpuras a blanquecinas. Toleran de buena forma las bajas temperatura invernales y las heladas intensas, manteniéndose verde aunque se desarrollan más lentamente, mientras en primavera brindan una alta producción siendo una opción muy recomendable para sistemas lecheros en esta estación del año (INIA 2012, Vázquez-Penas Suárez 2012).

Trifolium resupinatum se puede comenzar a sembrar a partir de marzo hasta el mes de agosto aproximado, si el objetivo es producir forraje se debe sembrar temprano a inicios de otoño, más precisamente en marzo, para estimular las producciones invernales y primaverales. Con siembras tempranas se han alcanzado producciones de biomasa en torno a 7-8 ton MS/ha/año, llegando a 10 ton MS/ha/año en años buenos con inviernos no tan fríos y primaveras con humedad adecuada. Se recomiendan entre 6 y 8 kg/ha en caso de siembras puras y 4 a 6 kg/ha para mezclas con otras especies. Rendimientos de forrajes menores se determinan por siembras tardías, sin embargo se las puede utilizar en sistemas en los cuales interesa principalmente la producción de semillas (INIA, 2012).

Este trébol invernal muestra una amplia capacidad de adaptación a los métodos de siembra, obteniendo una buena implantación en siembras al voleo como también en líneas, esta última puede tener un mayor rendimiento. Respecto a la forma en que se destina la producción, la variedad Majus se la emplea en general para la obtención de forraje, realizándose los primeros cortes en la primavera, ya que tiene buena capacidad de rebrote, lo que permite realizar 2 o 3 cortes posteriores, siempre y cuando la especie se encuentre en un ambiente favorable ya sea climática y edáficamente. Mientras la variedad Resupinatum se la destina más para pastoreo directo por los animales, siendo favorable un manejo diferido para permitir una buena semillazón con la consiguiente resiembra natural (UPNA, s.f.). Un aspecto negativo es que presenta pocas semillas duras, lo cual ante eventos de precipitaciones reiteradas se produce pre germinado en las inflorescencias. Una buena idea es sembrarla en combinación con alguna gramínea anual como raigrás y avena teniendo un ciclo más largo y de mejor calidad, aunque también se puede implementarla con gramíneas, leguminosas bianuales y perennes, de manera que el trébol aporte una alta biomasa forrajera el primer año, mientras las otras especies lo hagan en años posteriores (INIA, 2012).

Se reportan comportamientos favorables en suelos arcillosos, pesados y húmedos con pH entre 5 a 8, aunque se adapta a una amplia gama de suelos. La respuesta al fósforo es alta teniendo su mayor potencial con niveles de 14 ppm (Bray I) en el suelo, también se destacan por resistir periodos prolongados de inundación. Existen variedades de maduración temprana como tardías (Oram, citado por Ovalle 2003, Lacy et al., citados por Ovalle et al. 2005a, INIA 2012). El forraje es altamente nutritivo, teniendo una elevada digestibilidad y altos porcentajes de proteína bruta (16-28%) (INIA, 2012). Por otro lado, no posee sustancias estrógenos lo cual es positivo, debido a que producen inconvenientes afectando la fertilidad de ovejas (Stockdale, 1993). Este trébol produce una gran cantidad de semillas de pequeño tamaño, abarcando 1.720.000 unidades por kg, la variedad Resupinatum presenta mayor porcentaje de semillas duras siendo más adecuada para la resiembra anual, mientras Majus no (Ovalle et al. 2003, Vázquez-Penas Suárez 2012).

Los aspectos negativos de esta leguminosa es que es muy susceptible a deficiencias de fósforo y a algunos herbicidas los cuales son usados frecuentemente en

esta familia, el crecimiento inicial a partir de la semilla es lento, si bien es una especie muy palatable puede provocar meteorismo en rumiantes, sin embargo es una nueva opción para utilizarse a nivel predial ya sea como coberturas en las rotaciones agrícolas, como pastura pura o en mezclas, con la consecuente fijación de nitrógeno al suelo (UPNA s.f., Lacy et al., citados por Ovalle et al. 2005a, INIA 2012, Vázquez-Penas Suárez 2012).

2.4. NITRÓGENO

2.4.1. Características del nutriente nitrógeno

Según Baethgen (1994), el nitrógeno es el nutriente principal que limita en el mundo, afectando la productividad de los sistemas agrícolas como también de los agrícola-ganaderos y ganaderos.

2.4.2. Información del nitrógeno en Uruguay

Para las condiciones del país, la utilización de nitrógeno se debe considerar como una herramienta de manejo para modificar la distribución de forraje a lo largo del año y cubrir los periodos críticos de déficit forrajero. El uso de este elemento permite lograr altos rendimientos de materia seca en determinados momentos, destacándose el periodo otoño-invierno donde los resultados muestran que los kg/MS producidos por los kg/N aplicados pueden ser altos (Carámbula, 2002). Por otro lado, promueven un crecimiento más temprano permitiendo de esta manera pastoreos anticipados (Van Burg, 1960), prolongan los periodos de crecimiento (Cowling, 1961), incrementan el volumen de forraje para ser conservado (Bartlett y McKenzie, 1982), establecen una distribución más ajustada de forraje con los requerimientos de los animales (Carter y Scholl 1962, Cowling y Lockyer 1965, Kaltofen et al. 1966, Wolton y Brockman 1970).

La respuesta al nutriente es afectada por dos variables climáticas como temperatura y humedad. Su absorción está directamente relacionada con la actividad de la planta y las limitantes impuestas al crecimiento o desarrollo, ya sea por baja temperatura como por deficiencia hídrica, que impiden una utilización eficiente de este elemento (Carámbula, 2002).

2.4.2.1. Factores climáticos

Según Carámbula (2002) en esta región, la ocurrencia de lluvias es errática, lo que va a derivar en una imprevisibilidad en el empleo del nitrógeno. Una distribución uniforme de lluvia o el desarrollo de riegos oportunos pueden ser una alternativa óptima para favorecer el uso de este nutriente. Sin embargo, excesos hídricos producen pérdidas de nitrógeno por lavado, así como también condiciones de ausencia de oxígeno que retrasan el crecimiento y la actividad radicular, lo cual genera desperdicios de este nutriente y un menor crecimiento de la planta.

En condiciones de sequía, el nitrógeno aportado por las leguminosas se considera más eficiente en relación al brindado por el fertilizante, dado que se imposibilita la llegada a las raíces en esta última opción (Mulder 1952, Cowling 1962). Carámbula (2002) determina que la utilización del nutriente fijado por la leguminosa es menos dependiente de las condiciones ambientales que el agregado en forma de fertilizante.

Baker (1960) analizando los efectos conjuntos de temperatura y humedad, detectó que en un otoño seco y frío la respuesta era de 5,4 kg MS/ kg N, mientras en un otoño húmedo y caluroso alcanzaba a 10 kg. En primavera las variaciones fueron superiores, registrándose 4 kg de MS/ kg de N cuando la estación se presentaba seca y fría y 12,7 kg cuando era húmeda y calurosa.

2.4.2.2. Factores edáficos

La respuesta frente a la fertilización nitrogenada en suelos con altos niveles de nitrógeno es menor que en suelos pobres de este nutriente, ya que la eficacia de dicho tratamiento depende fundamentalmente de la movilización del elemento en los mismos (Carámbula, 2002).

En una estrategia de lograr óptimos resultados con la aplicación de fertilizantes nitrogenados, es necesario tener en cuenta que la disponibilidad de otros nutrientes no sea limitante. Cobra enorme importancia corregir las deficiencias de fósforo, dada la carencia del mismo en la mayoría de los suelos del Uruguay, especialmente en las áreas de ganadería extensiva. El empleo de fertilizantes binarios NP puede ser una alternativa satisfactoria en dichas situaciones (Carámbula, 2002).

Según Morón (1994) el nitrógeno total en el horizonte superficial de los suelos del país consta de un porcentaje de 0,1-0,3 %, siendo la textura un aspecto que lo afecta. Este predomina en forma orgánica, es decir que no está disponible para las plantas, el

resto se encuentra de forma inorgánica como nitrógeno amoniacal y nitrógeno nítrico disponible para las mismas. El proceso que transforma el nitrógeno orgánico en inorgánico es la mineralización, la cual es realizada por la biomasa microbiana. El nitrógeno inorgánico liberado anualmente a partir de la materia orgánica del suelo se mide por la cantidad de nitrógeno presente en el forraje cosechado en un suelo que no ha recibido fertilización nitrogenada, y varía en un rango de 80 y 100 kg/ha, tanto en pasturas templadas (Richards 1977, Van Der Meer, citado por Carámbula 2002), como en pasturas tropicales (Vicente-Chandler et al. 1959, Henzell 1963). Morrison, citado por Carámbula (2002), expresa que la cantidad de nitrógeno mineralizado depende de varios factores como el tipo de suelo, la edad de la pastura y si la pastura es pastoreada o no.

El rendimiento de una pastura está condicionado por el nitrógeno total del suelo, el cual incluye la concentración de este en la descomposición de la materia orgánica del suelo, el nitrógeno incorporado mediante el fertilizante aplicado y el devuelto por las excreciones animales (Richards, 1977).

Carámbula (2002) recomienda al momento de fertilizar con nitrógeno una pastura constituida por una o más gramíneas, que se debe tener en cuenta la fertilidad del suelo y el manejo del pastoreo utilizado.

2.4.2.3. Factor especie

No todas las especies responden de forma similar a la fertilización nitrogenada, se destaca que las especies anuales responden de forma superior a las perennes, a su vez dentro de cada grupo el comportamiento puede ser diferente. Se constató una mayor respuesta por parte del raigrás frente a la avena y dentro de las especies perennes (Chiara, 1975).

Ayala y Carámbula (1994) observaron el comportamiento contrastante entre *Lolium multiflorum* y *Holcus*, frente a la aplicación de distintas dosis de nitrógeno. El raigrás se presentó como una especie sensible a la deficiencia de nitrógeno, mientras que *Holcus* se mostró tolerante a la baja disponibilidad de este nutriente.

Lemaire y Salette (1984) concluyeron que a dosis no limitantes de este elemento, las diferencias entre genotipos (especies y cultivares) son mínimas; a dosis relativamente bajas pueden generarse diferencias significativas entre ellos.

Aplicar nitrógeno sobre las gramíneas en la época otoño-invernal es valioso, permite aumentar el crecimiento primaveral al estimular un macollaje superior durante el invierno, lo que permite una mayor capacidad productiva en dicha estación. Además se

favorece el crecimiento y desarrollo de los sistemas radiculares lo cual será importante para hacer frente al déficit hídrico estival (Carámbula, 2002).

2.4.3. Ciclo del nitrógeno en los suelos de pasturas

Los suelos bajo pasturas se diferencian de aquellos destinados a cultivos en cuanto a su gran masa de microorganismos estimulados por un gran volumen de sustancias orgánicas, aportadas fundamentalmente por las partes subterráneas de las plantas en forma de tejidos descompuestos y exudados, proporcionando el sustrato adecuado para el desarrollo de los mismos (Simpson y Stobbs, 1981). Estos microorganismos transforman el nitrógeno orgánico (no disponible) en amonio (NH_4 disponible), proceso denominado mineralización, el cual permite que este nutriente sea utilizado por otras especies de la microflora del suelo y por las plantas. Por ende al ser sintetizado en forma de proteínas, proceso que se conoce como inmovilización, vuelve a su estado de orgánico, no disponible (Carámbula, 2002).

Una fracción de este elemento se encuentra en forma de amonio y mediante un proceso de oxidación llamado nitrificación realizado por bacterias específicas, pasa al estado de nitrato. En los suelos de pasturas, el nitrato se encuentra generalmente en bajas concentraciones, como consecuencia de la utilización elevada que se produce en términos del amonio por parte de la microflora y las plantas, antes que ocurra la nitrificación y en segundo término por la rapidez en que son utilizados por dichos demandantes. En dichas condiciones existe una importante masa radicular, la cual a partir de la respiración de las raíces pueden disminuir las concentraciones locales de oxígeno a una magnitud tal que algunas bacterias particulares pueden reducir, por el proceso de desnitrificación, los nitratos en forma de gases (N_2 , N_2O , Carámbula, 2002).

Sujeto al procedimiento de fijación, las leguminosas a través del proceso de simbiosis, pueden tomar el nitrógeno libre de la atmósfera y emplearlo no solo para su crecimiento, sino acumularlo en sus tejidos como proteínas de alto valor nutricional (Carámbula, 2002).

La interrupción del crecimiento activo de una pastura puede promover cambios abruptos, esta situación puede realizarse luego de arar, aplicar herbicidas o posterior a la ocurrencia de una sequía y en todas las ocasiones es posible que se registren acumulaciones tanto de amonio como de nitratos (Simpson, 1962).

Keeney y Gregg, citados por Carámbula (2002) establecen que son cinco los procesos involucrados en el ciclo del nitrógeno en los suelos de pasturas. La mineralización consiste en la conversión de las formas orgánicas del nitrógeno en

formas inorgánicas por parte de los microbios. La inmovilización se basa en la asimilación de las formas inorgánicas de nitrógeno a formas orgánicas por parte de las plantas y de los microorganismos. La nitrificación hace referencia a la oxidación del amonio en nitritos y nitratos por parte de los microbios. La desnitrificación se trata de la reducción bacteriana de los nitritos y nitratos en óxido nitroso y nitrógeno elemental. La fijación se establece en la reducción del nitrógeno elemental, en amonio y nitrógeno orgánico por microorganismos libres y rizobios asociados a las plantas.

2.4.4. Fuentes de nitrógeno

En relación al reciclaje por mineralización del suelo, residuos vegetales y animales, el nitrógeno es generado a través de la actividad de las bacterias nitrificadoras sobre residuos vegetales y animales. Este nutriente es liberado desde el suelo lentamente a razón de 50 kg/N/año (Walker et al. 1954, Green y Cowling 1961), igualmente, se produce nitrógeno a través del reciclaje de las deyecciones de los animales. Ninguno de estos procesos logra completar la reposición del nitrógeno que es extraído por las plantas, por lo que se ve imposibilitado de promover altos niveles de productividad del forraje. Dado que el reciclaje por mineralización no es una forma eficiente de disponibilidad de nitrógeno, se debe recurrir al uso de fertilizantes nitrogenados o de leguminosas, con la necesidad de cubrir las deficiencias (Carámbula, 2002).

Los rumiantes presentan ineficiencia para utilizar el nitrógeno ofrecido en las pasturas, esto se observa ya que más del 70% del nutriente consumido retorna al suelo, principalmente en la orina, un 76% cuando los animales están lactando y un 78% en la de los animales en engorde (Acosta 1994, Morón 1994). La orina consta de una concentración elevada de nitrógeno, además de ser depositados de forma irregular en el forraje, presentan distintas vías de pérdidas como por volatilización en forma de amoníaco, desnitrificación y lixiviación (Carámbula, 2002). Es cierto que el nitrógeno presente en la orina es recuperado en parte por la pastura, pero también no se han obtenido registros de que sea retenido en el suelo, lo que tiende a pensar no sólo que aun en aquellas pasturas bien manejadas puede constatar un balance negativo del nitrógeno, sino que debido a ello se tendría que considerar la alternativa de efectuar aplicaciones de este nutriente (Ball y Keeney, 1983).

Para lograr un rendimiento importante en el forraje se requiere cantidades abundantes de nitrógeno. Según Mulder (1952), para producir 10.000 kg MS/ha se necesitan aproximadamente 300 kg/N/ha, dichas dosis deben ser aplicadas en forma eficiente y económica.

El uso de fertilizantes nitrogenados puede justificarse cuando se dan condiciones tales como una producción económica del nutriente; posibilidad de utilizar

dosis altas (arriba de 120 kg/N/ha); utilización de sistemas de manejo más eficientes a través de empotramientos apropiados, dotaciones altas y riego; rentabilidad alta por hectárea; disponibilidad de gramíneas de máxima respuesta y producción frente al nitrógeno. De igual modo, en suelos limitados por problemas de drenaje, derivando esto en excesos hídricos, las leguminosas se ven reducidas en su capacidad de brindar nitrógeno, lo cual finalmente afecta la persistencia de las pasturas, en estas situaciones es imprescindible el uso químico de este nutriente (Carámbula, 2002).

Con referencia a la asociación con leguminosas, el nitrógeno generado mediante el proceso de simbiosis es transferido a la pastura por varias vías tales como, excreción directa desde los nódulos cuando sujeto a las condiciones ambientales favorables, la tasa de fijación de nitrógeno supera a la tasa de síntesis de proteínas por parte de las leguminosas, en consecuencia el nitrógeno fijado en exceso es exudado (Walker et al., 1954); descomposición de estructuras radiculares y nódulos, ya sea cuando expiran las plantas en los cultivos anuales o por modificaciones provocadas por la relación parte aérea/subterránea debido a pastoreos o cortes. La defoliación favorece una caída en la disponibilidad de carbohidratos hacia los nódulos, provocando su muerte (Kutuzova, 1966); devolución por deyecciones (Walker et al., 1954).

Herriott y Wells (1960) expresan que la forma tradicional para aportar nitrógeno al sistema es a partir de la asociación con leguminosas. Mediante los tres mecanismos citados, el nitrógeno es cedido gradualmente y será más importante cuanto mayor es la proporción de la leguminosa en la pastura, más eficiente es el manejo que se aplica y más alta la población de animales con que se trabaja.

En Uruguay, García et al. (1994), Ernst (2004) determinaron que por cada tonelada de materia seca producida por una leguminosa, se fijan alrededor de 30 kg de N, por lo tanto las condiciones climáticas del periodo de crecimiento de la leguminosa, son terminantes del éxito.

2.4.4.1. Respuestas de las pasturas a la fertilización nitrogenada

Para Ball y Field (1982) las gramíneas sembradas puras responden al nitrógeno en términos de producción de biomasa, aunque se diferencian entre ellas en lo que refiere a su respuesta, sin embargo ninguna leguminosa adecuadamente nodulada responde generalmente al elemento en lo que refiere a producción, ni en pasturas mixtas dominadas principalmente por las leguminosas donde por lo general, la respuesta al nutriente no es significativa. A la siembra, los pastos nuevos en suelos pobres responden al nitrógeno. Implantadas las pasturas, responden siempre y en cualquier momento del año, sobre todo cuanto más importante es el estrés por el nutriente. Defoliaciones

intensas, con rastrojos cortos y pocas hojas ofrecen bajo potencial de crecimiento y respuestas limitadas al nitrógeno.

Estudios realizados por Ramage et al. (1958), Schmidt y Tenpas (1965), Cowling (1966), Reid (1966) observaron que al aumentar la dosis de nitrógeno se produce un incremento en la producción de materia seca, el mismo es cada vez menor a medida que la dosis va creciendo, hasta que por encima de 500 kg/ha de nitrógeno, los aumentos alcanzan un nivel máximo y se estabilizan. Debido a que la mayoría de estos estudios fueron efectuados bajo corte y la minoría bajo pastoreo, Richards (1977) afirma que cuando hay intervención del animal, la respuesta de la pastura a la fertilización nitrogenada es distinta, dado por el efecto favorable del retorno de nitrógeno mediante las deyecciones y el efecto desfavorable por el pisoteo sobre el suelo y las plantas.

Según Simpson y Stobbs (1981), Ball y Field (1982), Bartlett y Mckenzie (1982) para lograr una mayor eficacia en el empleo de este nutriente se deben dar algunas situaciones como poseer suelos que no sean pobres, ni ácidos, tampoco que presenten problemas de drenaje; las fertilizaciones se deben realizar en pasturas que presenten altas producciones como verdes y en praderas donde predominen la familia de las gramíneas; se debe tener en cuenta las condiciones climáticas, de manera que estas favorezcan el crecimiento y desarrollo de la pastura, manteniendo una humedad adecuada del perfil del suelo, dichas condiciones también afectaran la fertilización, por lo cual no se debe realizar muy temprano en otoño cuando el suelo aún está caliente, debiéndose esperar que ocurran eventos próximos de precipitaciones, de manera de no tener pérdidas significativas del nutriente por volatilización como amoníaco; la dosis recomendada depende de que especies están presentes, de sus estados de crecimiento y desarrollo, por lo cual cada parcela "*es un mundo*", pero generalmente se puede tomar como referencia aplicaciones entre 25-50 kg/ha de N; luego de fertilizar se debe dejar transcurrir un tiempo prudente antes de ingresar los animales a pastorear, de forma de permitir un aumento en la producción de forraje significativo, dicho periodo es entorno a un mes; se debe constatar en el campo una alta presencia de gramíneas y menor de leguminosas, en caso que estas últimas predominen en la pastura, la aplicación de nitrógeno puede afectar la fijación biológica por los rizobios; las pasturas bajo manejos de pastoreo rotativos se adecuan mejor que bajo pastoreo continuo.

2.4.4.2. Metodología de fertilización nitrogenada

En situaciones en las que se decide ejecutar fertilizaciones elevadas de nitrógeno, utilizando como fuente urea, haciendo hincapié en la metodología de aplicación, se recomienda fraccionar y no aplicar en una única dosis, de manera de aprovechar ciertas ventajas brindada por este manejo del fertilizante como una menor pérdida del nutriente por procesos de lixiviación mediante el agua contenida en el suelo,

mejor utilización del nitrógeno en la producción del forraje y reducir inconvenientes por envenenamientos de animales (Carámbula, 2002).

Bajo situaciones de pastoreo, se recomienda dosis bajas a medias y bien distribuidas, es decir fraccionarlas de una manera adecuada, logrando un forraje con una buena producción, que sea constante en el año y de alta calidad para optimizar el uso del químico. Se considera relevante respetar un periodo de tiempo entre fertilizaciones, sobre todo dentro de las épocas de crecimiento claves para la pastura, de forma que los efectos residuales de las aplicaciones previas sean reducidos (Prins et al., 1980). El impacto de la respuesta residual de la fertilización va a depender entre otras cosas, de la dosis aplicada y de la fecha en que se pastoreó el forraje post aplicación (Hunt, 1973).

2.4.4.3. Transferencia del nitrógeno de las leguminosas a las gramíneas y al sistema

Para que el proceso de fijación biológica de nitrógeno por las leguminosas sea valioso, se debe lograr una transferencia satisfactoria del nutriente hacia las gramíneas, lo cual puede ocurrir mediante dos vías. La primera es mediante el traspaso del mineral entre las raíces de plantas vecinas, es decir en forma directa entre plantas de ambas familias. Este camino presenta menores riesgos de pérdidas del nutriente por medio de procesos como lixiviación y volatilización, lo cual conlleva a decir que es seguro y eficiente. La otra vía que existe es en forma indirecta, ya que la misma consiste en el consumo de forraje de leguminosas por los animales mediante pastoreo, con la consecuente reincorporación del elemento al sistema en diversas zonas de la parcela. El aspecto negativo que tiene esta última vía, es que la redistribución es al azar, dependiendo de que los animales recorran todo el potrero para lograr una mejor uniformidad, teniendo una menor eficiencia (Carámbula, 2002).

La cantidad de nitrógeno que se obtenga de ganancias por las leguminosas y en que lapso de tiempo, depende de diversos factores, como las especies presentes en las mezclas, en que frecuencias y proporciones se encuentran, la edad de las mismas, las fertilizaciones realizadas y no menos importante, el manejo del pastoreo. Por lo cual es de máxima trascendencia tener un arduo conocimiento sobre estas especies que constituyen las principales mezclas forrajeras, y de que forma el nitrógeno vuelve al sistema, ya sea mediante la descomposición de nódulos, raíces, hojas maduras, y deyecciones, entre otras (Carámbula, 2002).

2.4.4.4. Nitrógeno del fertilizante versus nitrógeno de la leguminosa

Existe una gran complejidad para desarrollar una comparación entre el nitrógeno incorporado al sistema mediante fertilizantes y el fijado por bacterias en simbiosis con leguminosas, dado entre otros factores al diferente crecimiento estacional que producen las plantas, a los volúmenes de nitrógeno que cada uno ofrece y por las diversas actividades de manejo que cada vía requiere para maximizar la eficiencia (Simpson y Stobbs, 1981).

A modo de establecer algunas observaciones de cada metodología, el nitrógeno de la bolsa es más recomendable en sistemas productivos intensivos que presentan ambientes con alto potencial de producción; justificándose cuando el valor económico del producto animal es relativamente superior al costo del fertilizante; pudiéndose desempeñar mejor en suelos con bajas temperaturas o precipitaciones frecuentes e inesperadas; esta vía permite predecir de cierta forma las cantidades promedio de pasto a producir en periodos de escasez; ejerciendo un efecto positivo más rápido aunque su disponibilidad sea temporal, aprovechándose más con humedad adecuada en el horizonte superficial (Carámbula, 2002).

Por otro lado, haciendo énfasis en el nitrógeno proveniente de las leguminosas, se puede decir que es más recomendable en producciones extensivas con bajos potenciales productivos; utilizándose como única fuente de este mineral en aquellos potreros con variaciones importantes de humedad; desempeñándose más lentamente en suelos con bajas temperaturas o precipitaciones frecuentes e inesperadas; no se puede predecir con algún grado de precisión las producciones de pasto; actúa más lento que el nitrógeno del fertilizante, tiene una disponibilidad más continua y se aprovecha mejor en las épocas de sequía en comparación con la otra vía de nitrógeno (Carámbula, 2002).

2.4.5. Efectos del nitrógeno en las plantas

En cuanto a los nutrientes, sin dudas el fósforo y el nitrógeno son los elementos que trascienden por sobre el resto, este último actúa en las gramíneas estimulando la división celular a nivel meristemático, como también el crecimiento vegetal a través de mayores pesos, tamaños de tejidos y órganos, repercutiendo en incrementos de producciones de biomasa (Formoso, 2010).

Las raíces de las plantas toman el nitrógeno del suelo en forma de nitrato (NO_3^-) o amonio (NH_4^+) dependiendo de cada situación. En la mayoría de los suelos la acción de bacterias nitrificantes hace que las pasturas absorban en su mayoría nitrógeno como nitrato, mientras en otras ocasiones más especiales, como condiciones anaeróbicas, las

plantas pueden absorber relativamente más NH_4^+ que NO_3^- . A su vez, cada fuente puede presentar diferentes grados de riesgos en pérdidas del mineral por diversos procesos como NO_3^- por lixiviación y NH_3 en la atmosfera (Carámbula, 2002).

El nitrato se encuentra libre en el suelo, moviéndose hacia las estructuras radiculares mediante el agua de la solución, por otro lado el NH_4 se localiza retenido por los coloides hasta que ocurra el proceso de transformación a otros compuestos como nitritos y nitratos por los microorganismos encargados de dicha actividad. En este caso el NH_4 no es sensible a pérdidas por lixiviación ya que se encuentra adsorbido por las arcillas, aun en casos de precipitaciones elevadas. Una vez que es absorbido este último, debe ser incorporado inmediatamente a los esqueletos carbonados. Si no existen carbohidratos disponibles para este proceso, el amonio puede acumularse a niveles tóxicos dentro de la raíz, esto interrumpe el crecimiento y reduce la absorción de potasio, con síntomas de deficiencia de este nutriente en la planta. Una vez absorbido el NH_4 no requiere ser reducido, por lo que con relación al NO_3^- existiría un ahorro de energía por parte de la planta, ya que este último necesita ser reducido a otros compuestos para poder ser absorbido, aunque ambos tienen una eficacia similar para producir proteínas (Carámbula, 2002).

Según Wilman (1965) el mineral se encuentra mayoritariamente en forma de nitratos en la pastura, siendo mayor entre una y dos semanas posteriores a la fertilización, provocando algunos riesgos en situaciones de excesos cuando la planta lo absorbe más rápido de lo que lo asimila. Cuando los animales ingieren forrajes con altos contenidos de nitratos, frente a la falta de carbohidratos solubles en el rumen, aquellos quedan a nivel de nitritos sin poder ser transformados en amoníaco, el cual es usualmente utilizado por los microorganismos del rumen para sintetizar proteínas. Los nitritos se dirigen hacia la sangre ocupando el sistema de transporte de oxígeno, por lo cual pueden producirse casos de asfixias en los animales (Carámbula y Terra, 2000).

A partir de información brindada por Glinski y Lipiec (1990) aprecian que en situaciones en que las temperaturas son bajas, las gramíneas pueden absorber en forma más rápida al amonio en comparación a los nitratos, sin embargo sus volúmenes disponibles son bajos, lo cual lleva a que esta forma de nitrógeno no impacte en forma significativa en la producción forrajera, más precisamente en la estación invernal.

La forma en que ingresa el nutriente a las plantas depende de diversos factores, no siendo menos importante el pH del suelo, cuando este es medio a alto, la absorción de amonio es mayor, disminuyendo cuando aumenta la acidez de los suelos. La preferencia de las plantas por cada forma en las que se encuentra el nutriente, depende de la edad, especie y ambiente en el que se encuentran, relevándose trabajos en los cuales gramíneas en los primeros estadios de crecimiento muestran mayores respuestas al nitrógeno en forma de amonio que de nitrato (Carámbula, 2002).

Este nutriente es trascendental en determinar la cantidad de proteína que tenga la pastura, exhibiendo en casos de deficiencias del mismo, bajos valores proteicos, con la consecuente disminución del consumo voluntario por parte de los animales. El nivel de referencia para que esto se desenlace, se ubica entre 6 y 8,5 % (Minson y Milford, 1967b). Si bien la fertilización con este químico contribuye a aumentos en los niveles de proteínas de la planta, en ciertas ocasiones puede no modificar la digestibilidad, pero si aumentar el consumo voluntario con porcentajes entre 10 y 78% (Minson, 1967a).

Martin (1960) estudio la producción de biomasa forrajera en mezclas y en gramíneas puras sin ser fertilizadas, encontrando entre los resultados que las producciones de materia seca eran mayores en las primeras por el componente leguminosa y su respectiva fijación de nitrógeno, mientras que cuando se aplicaron fertilizaciones elevadas del nutriente en las gramíneas puras, estas obtenían las mayores producciones (Washko y Marriott 1960, Grable et al. 1965). Sin embargo se ha comprobado que en casos de fertilizaciones con dosis bajas a medias, las mezclas superan a dichos cultivos puros (Sears 1960, Lowe 1966, Hamilton et al. 1969).

2.4.6. Impacto de las deficiencias del nitrógeno en las plantas

Los impactos y respuestas que genera el nitrógeno no están relacionados solamente con la cantidad que se encuentre en el medio, también influyen en gran medida las condiciones ambientales, las cuales afectan en cierto grado, la eficiencia con la que se utiliza el nutriente, además de influir en diversos procesos de las plantas como macollaje y crecimiento entre otros. Se ha demostrado en muchas ocasiones que a mayores niveles de nitrógeno (por ejemplo pasando de 50 a 100 kg/ha) e igual oferta de forraje, el número de macollas por metro cuadrado de las principales gramíneas aumenta de manera considerable (Cardozo et al., 2008).

En caso de que los factores ambientales no sean limitantes, la producción de biomasa del cultivo y el rendimiento final están muy relacionados a la disponibilidad de nitrógeno por lo cual en casos de deficiencias, está comprobado que la respuesta al suministro en producción de materia seca es prácticamente lineal hasta dosis que rondan los 60 kg/ha (García Lamothe, 2004).

2.5. DENSIDAD APARENTE

Para hablar en términos de densidad aparente, antes que nada se debe comprender que el recurso suelo presenta un alto grado de heterogeneidad, compuesto

por tres fases las cuales se las puede denominar como sólida, líquida y gaseosa. Dicho recurso brinda un medio adecuado para el desarrollo radicular (Rubio, 2010), como también para la acumulación de agua para el crecimiento y desarrollo vegetal (Taboada y Álvarez, 2008).

La densidad aparente es la masa contenida en una unidad de volumen de una muestra de suelo tal y como es, incluyendo el volumen ocupado por los poros. Para determinarla, se divide el peso de un determinado volumen de tierra secada a estufa por ese volumen de suelo y se expresa el resultado en kg/m^3 . Por lo cual la densidad aparente explica en cierta parte el grado de compactación del suelo mediante la relación entre sólidos y espacio poroso (Keller y Hakansson, 2010), sumado a esto se lo asocia con la disponibilidad y tasa de difusión de nutrientes (Wolf y Snyder, 2003).

Los valores varían desde $0,1 \text{ g/cm}^3$ o menos en suelos orgánicos, hasta $1,6 \text{ g/cm}^3$ en suelos minerales (Thompson y Troeh, 1988). A continuación se presentan algunos valores de densidad aparente como referencia en relación a las características texturales de los suelos (Schargel y Delgado, 1990).

Cuadro No. 1. Densidades aparentes de referencia

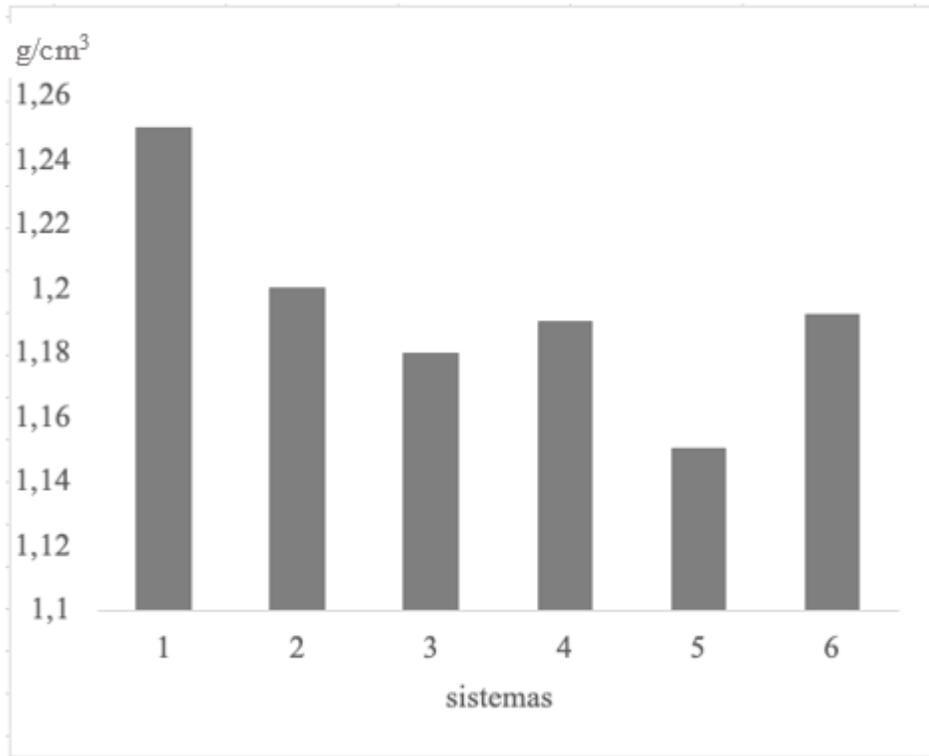
Textura	Da (g/cm^3)
Fina (arcilloso)	1,0-1,3
Media (francos)	1,3-1,5
Gruesa (arenosos)	1,5-1,7

Fuente: Schargel y Delgado (1990).

A pesar de estos resultados descriptos anteriormente, se pueden encontrar en algunas situaciones Da inferiores a $0,25 \text{ g/cm}^3$ en suelos turbosos y superiores a $1,90 \text{ g/cm}^3$ en suelos muy compactados. Estos últimos pueden surgir por diferentes motivos, ya sea por orígenes naturales, de formación antrópica o por actividades agrícolas (incorporación de laboreos, pisoteo de animales, uso de maquinaria agrícola). Como consecuencia se produce el aumento de la resistencia mecánica del suelo, disminuye la porosidad, se dificulta el desarrollo radicular, se modifica la actividad bioquímica y biológica del suelo, también se ve afectado en forma negativa el movimiento y difusión de nutrientes entre el suelo y las plantas (Schargel y Delgado, 1990).

La fase de pasturas dentro de una rotación, permite mejorar las propiedades físicas del suelo, cuanto más prolongada y productiva sea esta etapa, mejores serán los resultados para esta variable. Estudios realizados por García Préchac (1992, ver figura No. 1) indican que menor proporción de cultivos, por lo tanto mayor trascendencia de pasturas en una rotación, presentan menores valores de densidad aparente (1,15-1,17

g/cm^3), arrojando mejores niveles de estructuración del recurso suelo. Por otro lado, cuando los sistemas no incluyen pasturas, es decir que es cultivo tras cultivo ocurre lo inverso ($1,2-1,25 \text{ g/cm}^3$), mientras aquellos que incorporan pasturas gramíneas anuales o una mezcla anual de gramínea con leguminosa, los valores de densidad aparente son intermedios ($1,18-1,2 \text{ g/cm}^3$).



Sistemas 1 y 2: cultivos continuos.

Sistemas 3 y 5: cultivos con pasturas de fase larga

Sistemas 4 y 6: cultivos con pasturas de fase corta.

Figura No. 1. Densidad aparente (g/cm^3) en sistemas de rotación en La Estanzuela en 1979.

Fuente: García Préchac (1992).

2.6. MEZCLAS FORRAJERAS DE GRAMÍNEAS Y LEGUMINOSAS

2.6.1. Caracterización de las pasturas mezclas

A pesar de la respuesta óptima de las gramíneas a la fertilización con nitrógeno, se establece que las mezclas forrajeras de gramíneas y leguminosas constituyen la llave hacia más altas producciones (Carámbula, 2002). Ovalle (2011) describe que una herramienta tecnológica utilizada en muchos predios agropecuarios, con el fin de aumentar la productividad y persistencia de la pastura es el empleo de mezclas de especies y cultivares, con sus respectivas características, como distintos ciclos de vida donde se destacan, precoces, intermedios, y tardíos, y/o su adaptación al ambiente en el cual se van a desarrollar, como años secos, normales o con excesos hídricos, entre otros aspectos.

Es imprescindible tener una adecuada precisión en la selección de especies que componen la mezcla, y esta será determinada por las condiciones climáticas, topográficas y texturales del suelo, entre otras particularidades. La diversidad de pastos permite romper la estacionalidad de la producción y prolongarla por más tiempo, siendo más eficiente en la utilización de los recursos como el agua y los nutrientes (Ovalle, 2011).

El éxito del establecimiento de la leguminosa en el suelo permite incrementar la disponibilidad de nitrógeno en el mismo y por consiguiente aumentar la producción por parte de las gramíneas. Esta es la fuente más económica de N siempre y cuando logren una buena adaptación, debiéndose necesario recurrir a incrementar los rendimientos y calidad de las pasturas mediante siembras mixtas de gramíneas y leguminosas, así como a la mejora en su manejo, antes que considerar viable un sistema de producción basado en la fertilización con nitrógeno. (Carámbula, 2002).

Un objetivo buscado por los productores es aumentar la persistencia de la mezcla, para esto se utilizan semillas con diferentes grados de dureza, y cierta heterogeneidad en el tamaño, permitiéndole un banco de semillas cuantioso y estable en el tiempo (Ovalle, 2011).

Según Carámbula (2002) para la fertilización de la mezcla se deberá tener en cuenta la incorporación de fósforo, para cubrir básicamente las necesidades de las leguminosas y lograr así el aumento de fertilidad, mediante el proceso de acumulación de fósforo más el nitrógeno de las leguminosas. Al alcanzar los niveles de P apropiados, se lograran establecer poblaciones eficientes de leguminosas, elevando la fertilidad del suelo y la productividad de sus pasturas.

2.6.2. Efecto de la mezcla en los niveles de nitrógeno, calidad y producción de la pastura

En una pastura mezcla de gramíneas y leguminosas, los niveles de proteína del forraje total son superiores al de una gramínea pura sin fertilización nitrogenada y similar al de una gramínea pura con altas dosis de nitrógeno (Cowling y Lockyer, 1967). Esto es explicado por dos efectos, donde el porcentaje de proteínas de la propia leguminosa (efecto directo) es siempre más elevado que el de la gramínea, aun cuando esta última disponga de altas dosis de nitrógeno (Mulder 1952, Peterson y Bendixen 1961) y a la presencia de la leguminosa, que provoca como efecto indirecto un aumento en los niveles de proteína, en la gramínea asociada (Wagner y Wilkins 1947, Wedin 1965, Bakhuits y Kleter, citados por Carámbula 2002). Los índices de proteína de la mezcla dependen principalmente del balance entre gramíneas y leguminosas que la componen, por lo que se recomienda que las mezclas contengan al menos 30 % de leguminosas (Martin, 1960).

Para Carámbula (2002) las gramíneas puras o las leguminosas puras no constituyen pasturas ideales, solo las mezclas de ambas familias entregan pasturas equilibradas nutricionalmente.

2.6.3. Competencia entre componentes de la mezcla y comparación entre gramíneas y leguminosas

Carámbula (2002) señala que se han realizado distintos experimentos con nitrógeno marcado, a partir de ellos se percibió que cuando en una mezcla crecen juntas gramíneas y leguminosas, las primeras absorben casi todo el nitrógeno mineral del suelo, por lo cual existe escasa competencia por nitrógeno con las segundas, ya que el nitrógeno que utilizan proviene de distintas fuentes.

Para las condiciones de Uruguay, no es imprescindible la aplicación de fertilizantes nitrogenados a las pasturas fundamentalmente si están compuestas por mezclas que incluyen poblaciones adecuadas de leguminosas, sin embargo hay circunstancias que resulta inevitable el agregado de nitrógeno, en producciones donde este nutriente intenta reforzar en forma estratégica la demanda de las mismas en cantidades controladas y en momentos determinados de su ciclo. Un ejemplo de esta situación se da cuando el objetivo es obtener cantidades importantes de pasto en mezclas de gramíneas y leguminosas, para ser destinados al pastoreo in situ en periodos críticos, como también a reservas forrajeras siempre y cuando tengan poblaciones altas de gramíneas, también en los que se ha incluido una leguminosa como dadora de nitrógeno,

pero los requerimientos por este nutriente deben ser complementados por fertilizaciones apropiadas en cantidades y momentos oportunos dado que no son satisfechos (Carámbula, 2002).

Morrison, citado por Carámbula (2002) determina que una mezcla forrajera sin agregado de nitrógeno presenta un rendimiento similar al de una gramínea pura con 150 a 200 kg/ha de N, aunque el rango puede variar entre 50 y 300 kg/ha de N. Con la incorporación del nutriente a la mezcla, el componente leguminosa puede verse reducido sustancialmente a dosis bajas, en particular cuando se está pastoreando con ovinos (Curll, citado por Carámbula, 2002). Las pasturas mixtas presentan rendimientos similares con el agregado de nitrógeno o sin el agregado de este, pero si se pueden introducir incrementos en el componente gramínea de la mezcla y decrementos en el componente leguminosa. La respuesta a la aplicación en las mezclas puede manifestarse con una depresión en los rendimientos si se genera un efecto negativo sobre la producción de la leguminosa (Carámbula, 2002).

De acuerdo con Whitehead (1970) las pasturas constituidas por mezclas mixtas de gramíneas y leguminosas, presentan una respuesta al nitrógeno inferior que cuando se trata de gramíneas puras.

Fertilizar con nitrógeno las mezclas en el primer año es adecuado, más precisamente en el otoño (a la siembra y/o durante el periodo de implantación), estableciendo una mayor producción invernal y una menor producción en primavera y/o verano si las condiciones ambientales y el manejo aplicado en la implantación, han sido ajustados para el crecimiento rápido de gramíneas de buen vigor inicial, como la avena y el raigrás. Estas especies expresan una respuesta favorable a la fertilización, mostrando producciones superiores temprano en el invierno (junio-julio) la primera y algo más tardío (julio-agosto) la segunda especie (Carámbula, 2002).

Moliterno (2000) se centró en investigar una serie de trabajos en los cuales se comparó la producción y composición botánica de varias mezclas forrajeras perennes durante el primer año. Descubrió que de un total de 4600 Kg MS/ha de biomasa cosechada de dichas pasturas, cerca del 50 por ciento pertenecía a diferentes especies de malezas, pero al incorporar una gramínea anual, este valor disminuía en forma significativa, mostrando la importancia que tienen las mismas en la competencia inicial al tener un mayor vigor en las primeras etapas de la planta, más que nada en potreros que presentan una larga historia agrícola donde existen altas poblaciones de semillas de especies no deseadas en el banco de semilla del suelo.

2.6.4. Efectos de la frecuencia y la intensidad de la defoliación en la composición de la pastura

Es de suma importancia en las mezclas de gramíneas y leguminosas, permitirles un descanso apropiado para que se recuperen las plantas, logrando una permanencia prolongada según la especie, para lo cual se deben tener en cuenta aspectos del manejo como el método de pastoreo que se realiza en el predio y la carga animal (Vera et al., 1997). Es imprescindible una adecuada reserva de semillas en el suelo, reposición con nuevas plántulas, y de las poblaciones de plantas madres su sobrevivencia y producción de semilla. La regeneración de la pastura se da por dos caminos, la vegetativa la cual está dada por producción y desarrollo de nuevas plantas a partir de tallos, rizomas o estolones y la persistencia por semillas (Mannetje, 1991).

El banco de semillas del suelo abarca inviábiles, latentes y viables, como también semillas consumidas por organismos y otras afectadas por falta de humedad en el suelo. Esta última es la principal causante del aborto de semillas, provocando disminuciones en las germinaciones y establecimientos de plántulas. Los animales en pastoreo aparte del follaje, consumen también inflorescencias y semillas inmaduras, lo cual afecta la persistencia de la pastura, disminuyendo la producción de nuevas plántulas (Kretschmer, 1988).

2.7. CULTIVOS DE COBERTURA

2.7.1. Importancia de los cultivos de cobertura

En los establecimientos donde se realiza agricultura, en ciertas ocasiones se tiende a realizar un único cultivo al año, lo cual lleva a tener el suelo descubierto, provocando mayores pérdidas de este recurso por el proceso de erosión hídrica. Una vía para disminuir dichos efectos negativos es la incorporación de cultivos de cobertura, los cuales cumplen la función primordial de proteger la superficie del suelo cubriéndolo. En consecuencia disminuyen algunos factores como la exposición del mismo frente a las lluvias intensas, escurrimiento, además permite reciclar nutrientes y producir un nuevo ingreso de rastrojo al sistema. En caso de que la especie utilizada sea una leguminosa y se logre una producción adecuada, se fija nitrógeno en forma simultánea lo cual representa una ventaja económica adicional para el predio (Ernst, 2004).

Un manejo conservacionista de suelos adecuado es mantener cubierto el terreno, especialmente durante la estación invernal, ya sea por especies espontáneas o sembradas (Barbazán et al., 2002).

Algunos trabajos de investigación demuestran que los sistemas productivos agrícolas que incorporan una fase de pasturas de gramíneas con leguminosas obtuvieron ganancias de nitrógeno por fijación simbiótica mayores a 100 kg/ha/año (Díaz Roselló 1992, Sawchik 2001), mientras que cuando la etapa de cultivos se alarga o el sistema es agrícola puro, las ganancias de nitrógeno mediante dicho proceso son mínimas, lo cual trae como consecuencia mayores demandas del nutriente vía fertilizante, incrementando los costos del sistema (Ernst, 2004).

Hoyt (1987) menciona que cerca del 40 % del nitrógeno contenido en planta puede llegar a estar disponible el primer año, mientras el resto estará disponible si se incorpora la cobertura como abono al sistema. La cantidad de nitrógeno mineralizado y su posterior utilización va a depender de diversos factores como la composición química de las especies utilizadas, propiedades del suelo, manejo de la cobertura, su incorporación como abono (Ladd et al. 1985, Harris y Hesterman 1990, Varco et al. 1993) y de la sincronización entre la liberación de nitrógeno por la cobertura y la absorción por el cultivo posterior (Dou et al. 1994, Stute y Posner 1995).

Reeves y Touchton, citados por Ernst (2004) definen a estos cultivos como aquellos que crecen con el objetivo de cubrir el suelo para disminuir la erosión, disminuyendo las pérdidas de nutrientes por lixiviación y escurrimiento, llegando a incorporar nitrógeno en caso de utilizar especies de la familia de las leguminosas. Presentan la particularidad de no tener renta directa y crecer fuera de estación dentro de un sistema de cultivos anuales. Cuando superan los 6 meses de estación de crecimiento (libre de heladas), son sustituidos por un cultivo que genera ingresos directos al predio.

2.7.2. Ventajas de los cultivos de cobertura

La implementación de cultivos de coberturas en los sistemas agropecuarios brindan una serie de ventajas dentro de las cuales se destacan las siguientes: a) disminuyen los riesgos de erosión hídrica, ya que cubren el suelo, reduciendo el impacto de las gotas que provienen de las precipitaciones, disminuye el escurrimiento superficial del agua, en consecuencia con lo mencionado anteriormente se reduce la erosión total del predio, mejorando más aún si se deja rastrojo de la cobertura el cual se va a incorporar al suelo (Frye y Blevins 1989, Zaragoza 1997, Laflen et al., citados por Barbazán et al. 2002); b) la biomasa radicular luego de descomponerse, genera una mejor circulación del agua dentro del perfil del suelo al mejorar la estructura y formarse

una serie de canales, también se reduce el encostramiento y aumenta la infiltración; c) incorpora materia orgánica al sistema, formándose complejos con las arcillas que posibilitan la formación de agregados, mejorando la estructura, la agregación del suelo, la porosidad, y evitando o mitigando la compactación del suelo (Kumar y Goh, 1999); d) la radiación que llega directamente a la superficie del suelo se reduce, por lo cual la temperatura y amplitud térmica también presentan el mismo comportamiento; e) disminuye las pérdidas de nitrógeno al actuar como “*cultivo trampa*”, sobre todo en invierno (Barbazán et al., 2002). Klik et al. (1998) realizaron distintos ensayos donde incluían diferentes especies y concluyeron que las gramíneas o una mezcla que incluya una mayor proporción de esta familia, reducía la erosión y la lixiviación de nutrientes en profundidad; f) la mayoría presentan buen vigor inicial, lo cual ejerce una alta competencia sobre las malezas, viéndose estas últimas reducidas en forma significativa ya sea por competencia por nutrientes, agua, luz, etc, o por efectos alelopáticos, además contribuyen al control de algunas especies de nematodos (Dyck y Liebman 1994, Aballay e Insunza 2002); g) al cubrir la superficie del terreno, mejoran el piso lo cual es muy favorable sobre todo luego del pasaje de maquinaria pesada en días posteriores a precipitaciones (Barbazán et al., 2002).

Se utilizan especies que pertenecen generalmente a las gramíneas, leguminosas, y crucíferas, ofreciendo diferentes ventajas cada una, las primeras tienen un mejor desarrollo radicular, generando mayor biomasa en esta fracción de la planta, lo cual conlleva a una mejora significativa de las propiedades físicas del suelo, mientras la segunda familia, se centra más su interés en la incorporación de nitrógeno al sitio (Reyes y Malán 1997, Campillo et al. 2003, Ovalle et al. 2006). Stevenson y White, citados por Davis y Payne (1988) mencionan algo similar, destacando que ese efecto sobre las propiedades físicas del suelo se acentúa más en el caso de las gramíneas porque presentan mayor productividad, densidad de plantas y una mayor masa radicular en comparación con las leguminosas. Según Jansson y Persson (1982) también es mejor si las gramíneas son maduras, es decir presentan una edad avanzada, produciendo un efecto positivo superior y por más tiempo, al presentar estos materiales una alta relación C/N, estimándose que dicha relación óptima se aproxima a 25. En esta situación el sistema suelo-planta no gana ni pierde nitrógeno, relaciones mayores a 31/1 (12,1 g N/kg MS en tejidos) pueden inducir a procesos de inmovilización del nutriente, mientras que relaciones menores a 15/1 (26,7 g N/kg MS) producen un proceso contrario, denominado mineralización (Perdomo y Barbazán, 1999). El empleo de esta familia en el pasado era muy asidua, con la intención de mejorar la fertilidad de los suelos, ya que no era común la producción y utilización de fertilizantes químicos, por lo tanto las leguminosas eran una herramienta muy importante como abono verde, hoy en día se tiende al uso de dichas plantas con el mismo objetivo. Mediante este proceso biológico se puede suplir las deficiencias nutricionales que presentan los cultivos a nivel predial (Calegari y Peñalva, 1994). Por otro lado las leguminosas presentan una ventaja adicional, dado que presentan una óptima calidad en sus tejidos (alto contenido de

proteínas y alta digestibilidad) se descomponen en menor tiempo, liberando rápidamente los nutrientes (Russell y Russell, 1964).

2.7.3. Limitantes de los cultivos de cobertura

Uno de los problemas que presenta el proceso de mineralización es que la liberación de nutrientes se realiza en forma no controlada y en cantidades variables (Barbazán et al., 2002).

Smith et al. (1987) plantean que el empleo de esta tecnología presenta ciertas limitaciones como el corto periodo de tiempo para producir forraje, las bajas temperaturas invernales y la disponibilidad de agua en la estación, por estos factores no se justifica su uso en zonas con nieve ni en zonas con buena disponibilidad hídrica invernal, en los cuales se puede sembrar un cultivo que genere ingresos directos. Dicha tecnología se adecua más a climas que presenten inviernos templados y en general para secuencias de cultivos estivales.

La fecha de instalación del cultivo de cobertura depende de la cosecha del cultivo anterior y de la fecha de siembra del posterior. A modo de ejemplo, el fin del ciclo del cultivo de verano determina la fecha de siembra de la leguminosa invernal, mientras el periodo de barbecho debe iniciarse en tiempo y forma para recargar con agua el perfil del suelo, lo cual depende de la fecha en la que se pretenda sembrar el próximo cultivo de verano. Retrasarse en la siembra de estos cultivos estivales por buscar alargar la estación de crecimiento de la cobertura no es recomendable, ya que tiene como consecuencia disminuciones de los rendimientos (Mansoer et al., 1997).

Otra limitante que presenta esta tecnología es el agua, para evitar inconvenientes se debe recargar el perfil del suelo en el periodo de barbecho posterior a la cobertura (Stute y Posner, 1995).

2.7.4. Especies utilizadas

Se han reportado diversos trabajos en los cuales evalúan diversos cultivos de cobertura para seleccionar las mejores opciones para cada sistema con sus respectivas condiciones climáticas y tipos de suelos (Calegari y Peñalva, 1994). Ernst (2004) establece que las especies utilizadas pueden ser *Secale cereale*, *Setaria itálica*, *Helianthus spp*, entre otras. Otros investigadores como Barbazán et al. (2002) señalan a las avenas, cebadas, triticales y trigos como las especies más utilizadas en el país como

coberturas de invierno, en el caso de que la avena sea forrajera y la cebada, se las consideran como especies de ciclo largo, presentando una etapa vegetativa más prolongada lo que le permite tener mayor tiempo para rebrotar luego de ser cortados, brindando un follaje de mejor calidad en estos rebrotes, ya que el tejido es más joven. En cambio los materiales que tienen como destino la producción de grano se pueden considerar como de ciclos cortos, teniendo una etapa vegetativa menor con una capacidad de rebrote inferior. Ensayos experimentales realizados sobre producciones de materia seca arrojaron distintos resultados, siendo en muchos casos el aporte de nitrógeno por parte del suelo el factor clave que determinó las producciones, poblaciones de plantas, macollaje y sanidad. Cabe destacar que el efecto año tuvo un impacto importante en la producción de forraje entre los años estudiados. Los cultivos de cebada fueron los que presentaron ciclo más corto con mayores consumos de nitrógeno, mientras que la avena blanca presentó un ciclo más largo que el resto de los materiales, las especies que produjeron mayores producciones de materia seca fueron los triticales, avena negra y cebada. Según Bemhaja (1996) los triticales presentan un mejor comportamiento frente a los problemas de enfermedades, en fechas de siembras tempranas donde a menudo se detectan este tipo de problemas, es donde esta especie obtiene grandes ventajas en comparación al resto, esto justificaría en cierto grado las altas producciones mencionadas anteriormente. Por otro lado la avena negra presentó un comportamiento similar. Estos cultivos de cobertura no mejoran en el corto plazo la disponibilidad de nitrógeno en el suelo, por lo cual no se los debe sembrar con tal objetivo.

“Probablemente en muchos casos la utilización de un cultivo de cobertura de gramínea pura implique para el cultivo siguiente en la primavera una menor disponibilidad de formas minerales de nitrógeno en el suelo, por la absorción del nitrógeno disponible por parte de la cobertura, y una potencial inmovilización por el ataque microbiano de restos pobres en nitrógeno. A los 100 días de la siembra, momento en que correspondería al recomendado para cortar las coberturas, la cantidad de nitrógeno absorbida varía entre 20 y 100 kg de N/ha, parte del nitrógeno absorbido proviene de la mineralización natural de la materia orgánica del suelo, y de no haber existido un cultivo que absorbiera ese nitrógeno, este en parte se habría perdido. El aporte de estos restos tendrá un efecto a largo plazo sobre las propiedades físico químicas del suelo, ya que parte de ellos pasará a formar materia orgánica del suelo. A nivel de producción los materiales más recomendados para coberturas de invierno serían triticale y avena negra. En el enfoque actual en el uso de coberturas de invierno, se priorizan los efectos físicos sobre el aporte de nutrientes. Los materiales de ciclo cortos de altos rendimientos, al ser cortados post floración mejoran sus efectos físicos pero presentan bajo contenido de nitrógeno. Esto se deberá tener en cuenta por su efecto en la disponibilidad de este nutriente, realizando los ajustes necesarios en la fertilización nitrogenada” (Barbazán et al., 2002).

La eficiencia con la que se utiliza el nitrógeno que incorpora al suelo el cultivo de cobertura en caso de utilizar una especie leguminosa depende de la sincronización entre el momento de aporte del nutriente, el manejo que se realiza de la fertilización y la demanda del cultivo de renta (Reeves et al. 1993, Vaughan y Evanylo 1998, Vyn et al. 2000, Griffin et al. 2000). Según la bibliografía, la eficiencia de utilización del nitrógeno incorporado mediante fertilizantes es mayor que el fijado por dichas especies.

2.8. HIPÓTESIS

Existe efecto residual de los tratamientos mezcla frente a los tratamientos de raigrás puro sobre la producción del cultivo de verano.

Existe efecto residual de los tratamientos con fertilización nitrogenada frente a los tratamientos no fertilizados sobre la producción del cultivo de verano.

Existe efecto residual de los tratamientos mezclas fertilizadas frente a los demás tratamientos sobre la producción del cultivo de verano.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. CONDICIONES EXPERIMENTALES

3.1.1. Sitio experimental y tratamientos

El trabajo fue realizado en la estación experimental de la Facultad de Agronomía Dr. Mario A. Cassinoni (32° 23' 27,1" latitud Sur y 58° 03' 41,76" longitud Oeste), ubicada en el km 363 de la ruta 3 a 8 km de la ciudad de Paysandú, sobre suelos de tipo Brunosol Éutricos Típico (Háplicos) superficial a moderadamente profundo pertenecientes a la unidad de suelo San Manuel desarrollada sobre la formación Fray Bentos. Dicho experimento fue llevado a cabo con un diseño de bloques completos al azar, con 4 bloques y 4 tratamientos, variando las mezclas invernales y nivel de nitrógeno de los antecesores a *Setaria itálica*.

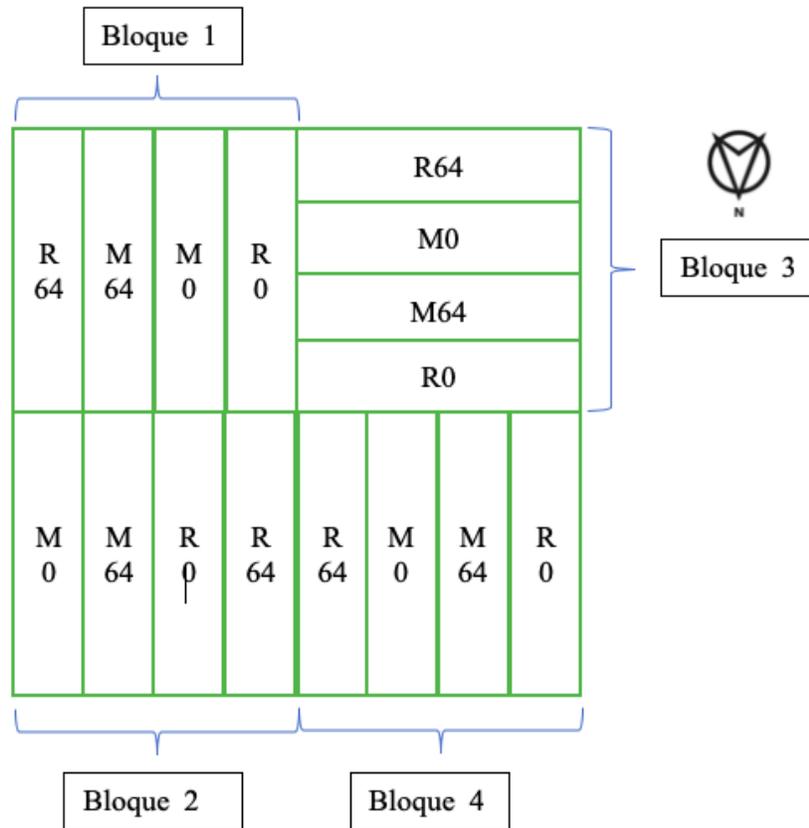
La fecha de siembra de los cultivos anuales de invierno fue el 28 de marzo del 2017 y los tratamientos fueron:

- 1) Pastura de *Lolium multiflorum* cultivar LE 284 con 64 kg de nitrógeno.
- 2) Pastura de *Lolium multiflorum* cultivar LE 284 con 0 kg de nitrógeno.
- 3) Pastura mezcla de *Lolium multiflorum* cultivar LE 284, *Trifolium resupinatum* cultivar Maral y *Trifolium vesiculosum* cultivar Fertilizeta con 64 kg de nitrógeno.
- 4) Pastura mezcla de *Lolium multiflorum* cultivar LE 284, *Trifolium resupinatum* cultivar Maral y *Trifolium vesiculosum* cultivar Fertilizeta con 0 kg de nitrógeno.

Los tamaños promedio de cada parcela (unidad experimental) fueron de 0,25 ha, cada bloque abarca 1 ha, por lo que el experimento ocupó un área total de 4 ha.

El manejo realizado previo a la siembra para las semillas de leguminosas fue la respectiva inoculación con su rizobio específico para obtener buena nodulación.

Durante el ciclo productivo de estas pasturas se pastorearon de forma uniforme por iguales categorías bovinas. El antecesor de estos verdes fue una moha y anterior a ella las mismas pasturas anuales invernales, ya que el experimento a evaluar, fue estudiado el año anterior. Para ilustrar el experimento, a continuación se presenta un croquis con los respectivos bloques y parcelas de cada tratamiento.



R64: raigrás con agregado de 64 kg de nitrógeno.

R0: raigrás sin agregado de nitrógeno.

M0: mezcla de raigrás y leguminosas sin agregado de nitrógeno.

M64: mezcla de raigrás y leguminosas con agregado de 64 kg nitrógeno.

Figura No. 2. Croquis del sitio experimental

Al finalizar los verdeos de invierno mediante una aplicación de herbicida el día 15 de noviembre de 2017, se procedió a realizar la siembra de *Setaria itálica* 20 días después de la aplicación, sembrando el 5 de diciembre a una densidad de 20 kg/ha. Los tratamientos de aquí en más se manejaron de forma uniforme y sin fertilización debido a que el objetivo principal del experimento fue evaluar la respuesta del cultivo en cuestión a sus diferentes antecesores.

3.1.2. Información climática

Uruguay por su ubicación geográfica se encuentra en la región de clima subtropical húmedo, en una posición de transición entre las provincias fitogeográficas pampeana y riograndense. Presenta un régimen isohigro con variabilidades interanuales y estacionales pero con precipitaciones que normalmente rondan los 1200 mm anuales (Chebataroff 1969, Del Puerto 1969).

La información climática para el periodo y lugar donde se ubicó el experimento (28/3/17-1/4/18, Paysandú) fueron tomadas de la estación meteorológica de la Facultad de Agronomía (EEMAC, Paysandú), siendo los parametros agroclimaticos utilizados temperaturas medias mensuales para el periodo, precipitaciones mensuales, agua disponible en el perfil y su respectiva evapotranspiración, lo que permitió calcular el balance hídrico, el cual sera ilustrado en forma de barras permitiendo detectar posibles déficit hídricos (ver figura No. 7).

El suelo donde se llevó a cabo el experimento de acuerdo a su ubicación y características edafológicas puede llegar a almacenar una película de agua de 80 mm, lo cual fue tenido en cuenta al momento de realizar el balance hídrico, ya que cuando las precipitaciones superaron a la evapotranspiración mensual, la película de agua en exceso fue acumulada hasta llegar a un máximo de 80 mm (Arce Pinatto et al., 2013), verificandose al inicio del experimento que el perfil estaba saturado (octubre).

3.1.3. Manejo previo

La densidad de siembra de los verdeos de invierno no presentaron variantes con respecto al año anterior ya que se repitió el mismo experimento, las mismas fueron de 19 kg/ha para *Lolium multiflorum* y en el caso de las mezclas también 19 kg/ha pero compuesto por una proporción de 70% *Lolium multiflorum* y 30% leguminosas anuales (24% *Trifolium resupinatum* y 6% *Trifolium vesiculosum*). El sistema de siembra usado fue a través de siembra directa en todos los casos, sembrando la leguminosa junto con la gramínea en la línea en el caso de las pasturas mezclas y con una distancia entre filas de 17 cm. También se fertilizó a la siembra todas las parcelas con 100 kg/ha de 7:40/40:0 (7 kg N, 40 kg P₂O₅) para elevar el fósforo disponible en el suelo a los niveles críticos necesarios para un establecimiento adecuado de las especies de leguminosas. La aplicación del nitrógeno para el caso de los 2 tratamientos que llevaron 64 kg de N, se utilizó urea al voleo en 2 aplicaciones de 32 kg cada una, la primera a los 50 días de la siembra y la segunda después del primer pastoreo. Se dio inicio al pastoreo cuando ya tenía al menos 15-20 cm de altura (entrada a las unidades experimentales), con una

intensidad que estuvo entre 5 y 7,5 cm de altura de remanente, decisiones tomadas en base a criterios de cambio de parcelas en trabajos previos efectuados en pasturas similares (Zanoniani, 2010). Se efectuó el pastoreo en todos los bloques con las mismas categorías y número de animales, utilizándose novillos de la raza Holando en etapa de recría, a una asignación de forraje promedio del 8 % del PV (expresado como kg de MS cada 100 kg de PV) y efectuando ciclos de pastoreos que consistían en 15 días de pastoreo y 20 de descanso. Luego antes de la siembra del cultivo de moha se realizó análisis de suelo para evaluar las diferencias entre parcelas en cuanto a concentración de nutrientes y posteriormente se evaluó el rendimiento de dicho cultivo.

3.2. CONTENIDO DE N EN EL SUELO PREVIO A LA SIEMBRA DE MOHA

El 4 de diciembre de 2017, un día antes de la siembra de moha, fue llevado a cabo un muestreo del suelo para determinar la concentración de nitrógeno total en los primeros 5 cm de profundidad. La metodología consistió en sacar muestras uniformes de las diferentes parcelas en zonas con orina y sin orina (con orina detectada por el color y mayor crecimiento de la pastura en zonas muy puntuales). Un total de 32 muestras fueron tomadas en toda el área experimental (16 con orina, 16 sin orina). Una vez obtenidas las muestras se procedió a pesarlas para crear submuestras de aproximadamente 50 gramos en peso fresco, posteriormente se depositaron por 48 horas a 105 ° C en estufas de aire forzado para extraer la humedad y obtener su peso seco, permitiendo de esta forma calcular el porcentaje de humedad. Las restantes submuestras se enviaron al laboratorio para determinar nitrógeno total. Estas muestras fueron también colocadas en estufa de aire forzado a 40 ° C durante 48 horas y luego se limpiaron en laboratorio, extrayendo de todas las muestras por separado impurezas como concreciones de calcio y raíces. Posteriormente se procesaron en un molino Micro Wiley de suelo, para finalmente enviarse a analizar en laboratorio.

3.3. IMPLANTACIÓN

El número de plantas a los 20 días posterior a la siembra, fue determinada mediante conteo de plántulas por metro lineal. Se realizaron 8 mediciones por parcela y se obtuvo un promedio general de plantas por metro lineal, lo cual fue pasado a plántulas por metro cuadrado sabiendo que la distancia utilizada entre líneas fue de 19 cm.

3.4. PRODUCCIÓN DE BIOMASA AÉREA TOTAL

La estimación de biomasa se llevó a cabo el día 1 de abril de 2018 mediante la utilización de un método destructivo que consistió en hacer cortes en diferentes áreas de la parcela para estimar el rendimiento de MS. En este caso se utilizaron para los cortes cuadros de 30 cm de lado, abarcando un área de 0,09 m², los cuales se repitieron 8 veces en cada parcela o sea se obtuvieron un total de 128 muestras. Para determinar el porcentaje de materia seca (% MS), solo fue utilizada una muestra representativa de cada parcela, las mismas se obtuvieron mezclando uniformemente las 8 muestras de cada parcela entre sí de forma individual (cada parcela por separado), luego a ese volumen de forraje se lo dividió en 2 partes iguales y a una de ellas se la volvió a dividir en 4 partes, de estas últimas 4 partes iguales se tomaron solamente 2, que mezcladas conformaran la submuestra de cada parcela, utilizada para determinar MS. Identificadas las submuestras fueron pesadas en peso fresco y puestas en estufa de aire forzado por 48 horas a 60 ° C, de esta manera se calculó el porcentaje de humedad que poseía la biomasa y el volumen de materia seca por parcela. Cabe destacar que el cultivo contaba en algunas partes con presencia de malezas en una densidad considerable, pudiendo destacarse en mayor proporción *Portulaca oleracea* y *Cynodon dactylon*.

3.5. CONTENIDO DE N EN EL SUELO POSTERIOR A LA COSECHA DE MOHA

Para determinar el contenido de nitrógeno posterior a la cosecha del cultivo se utilizaron las mismas técnicas que al inicio (explicadas detalladamente en el ítem 3.2) con el objetivo de determinar cuáles fueron los diferentes niveles de N luego de culminado el ciclo y en que se diferenciaron por tratamiento.

3.6. HIPÓTESIS

3.6.1. Hipótesis estadística

Ho: T1=T2=T3=T4

Ha: existe algún tratamiento distinto.

3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La información se procesó mediante el paquete estadístico INFOSTAT, las variables medidas se las analizó a través de un análisis de varianza. En el caso de encontrarse diferencias significativas se realizó la prueba LSD-Fisher al 10% para determinar la mínima diferencia significativa entre tratamientos.

3.7.1. Modelo estadístico

Modelo estadístico

$$Y = \mu + a_i + \beta_j + \beta_t + (\beta_{jt}) + e_{ij}$$

Dónde:

- Y- es el valor del i-ésimo tratamiento, en la j-ésima repetición
- μ - media poblacional
- a_i - efecto bloque
- β_j - efecto mezcla
- β_t efecto nitrógeno
- e_{ij} - error experimental entre U. E
- i - 1; 2.... 4 tratamientos
- j - 1; 2.... 4 repeticiones

El modelo presenta los siguientes supuestos: es correcto y aditivo.

A los errores experimentales: que los mismos son variables aleatorias, que tiene una distribución normal con media cero y tiene una varianza poblacional y que son independientes.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

Se realizó una caracterización climática del periodo de estudio. El análisis se basa principalmente en dos variables de gran relevancia que establecen la productividad de los sistemas pastoriles como lo son las precipitaciones y la temperatura.

4.1.1. Precipitaciones

En la figura No. 3 se presentan las precipitaciones desarrolladas en la EEMAC - Paysandú, durante el periodo de estudio, contrastándolas con el promedio histórico 1961-1990 para Paysandú expresado en registros mensuales.

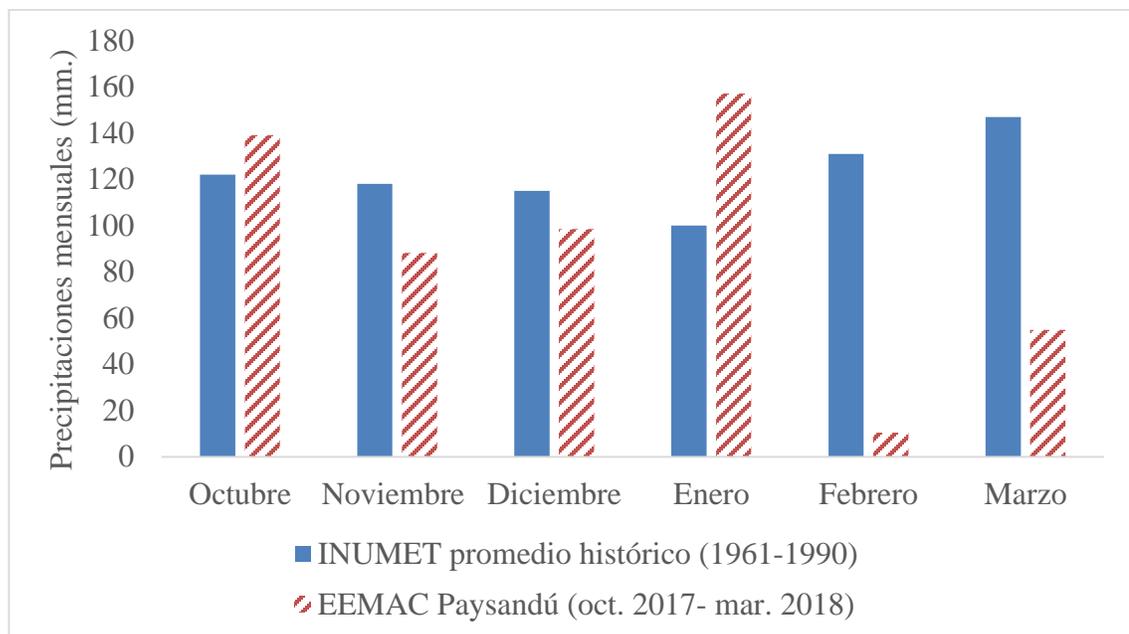


Figura No. 3. Registro de precipitaciones mensuales del periodo octubre 2017 a marzo 2018 y de la serie histórica

En la figura anterior se puede observar que durante la primavera se registraron precipitaciones similares al promedio histórico, destacándose lluvias superiores en octubre, pero algo inferiores en los meses de noviembre y diciembre. En los meses de verano se desarrollan escasas precipitaciones desde fines de enero, febrero y marzo. Durante el mes de febrero las mismas fueron de 10,4 mm y durante el mes de marzo de 54,9 mm, lo cual presentó un valor acumulado de 65,3 mm, siendo menor al promedio mensual de precipitaciones en febrero el cual es 131 mm y 147 mm en marzo para la serie histórica, siendo el acumulado de estos dos meses 278 mm.

Teniendo en cuenta las precipitaciones durante la estación de crecimiento del verdeo estival (diciembre-marzo) las cuales fueron irregulares e inferiores al promedio histórico, detallándose una diferencia de 171,97 mm, resulta previsible esperar un escenario limitante para lograr un buen crecimiento de la pastura. En base a esto, es de esperar una escasa acumulación de agua en el perfil del suelo durante los meses de verano, por lo tanto se predisponen condiciones limitantes para el crecimiento, provocando zonas de escasas coberturas y posterior desarrollo de focos de malezas. Otra consideración a tener en cuenta es que puede afectar la disponibilidad de nitrógeno para el cultivo, dado que la mineralización es muy baja en suelos secos pero aumenta rápidamente cuando el contenido de agua en el suelo también se incrementa. Alexander (1980) encontró que la cantidad de nitrógeno inorgánico acumulado en el suelo aumentó de 15 a 80 ppm de N cuando el contenido de agua del mismo paso de 10 a 30 % en un periodo de 15 días.

4.1.2. Temperatura

Del análisis del factor temperatura durante el periodo de estudio, en comparación con la temperatura promedio de la serie histórica que abarcó el periodo 1961-1990. Se la presenta en figura No. 4, en la misma se detalla los promedios mensuales de temperaturas para ambos periodos.

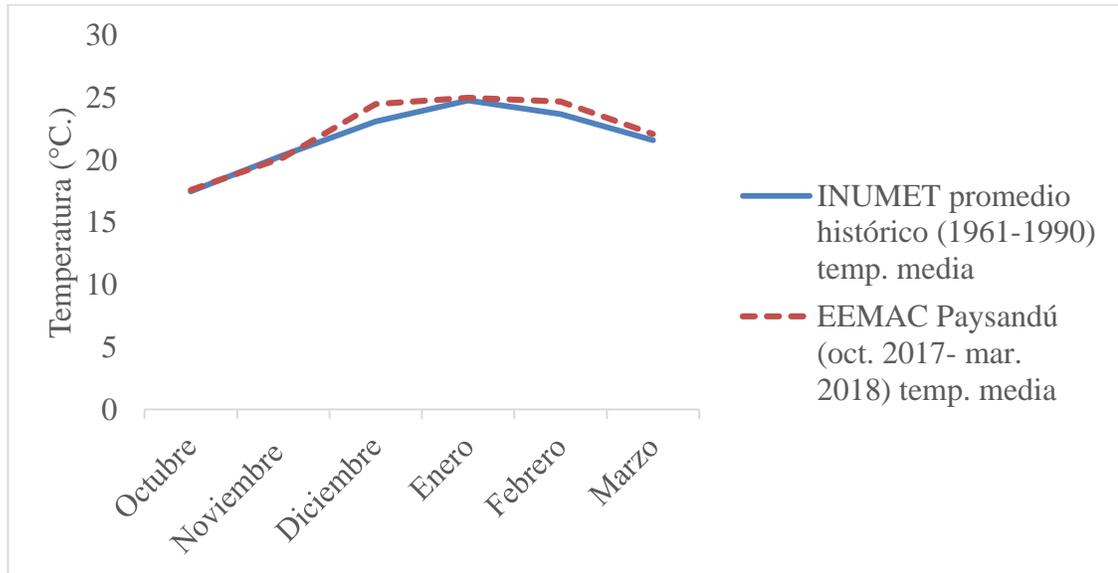


Figura No. 4. Registro de temperaturas medias mensuales del periodo de estudio y de la serie histórica

Las temperaturas promedio del periodo experimental (octubre y marzo) variaron en un rango de 17,6 °C a 22,1 °C, en comparación al promedio histórico donde la variación se encuentra entre 17,5 °C y 21,6 °C.

En términos generales se constata que durante la primavera del 2017 la temperatura fue similar al promedio como se detalla en la figura No. 4, a excepción del mes de diciembre en el cual se aprecia 1,4°C por encima de la serie. En el verano las temperaturas se ubican algo más elevadas que lo normal, sobre todo en el mes de febrero donde se manifiesta 1°C superior.

En la figura No. 5 se incluye además de las temperaturas medias, las temperaturas máximas y mínimas promedio registradas durante el periodo de estudio en comparación a la serie histórica que abarca el periodo 1961-1990.

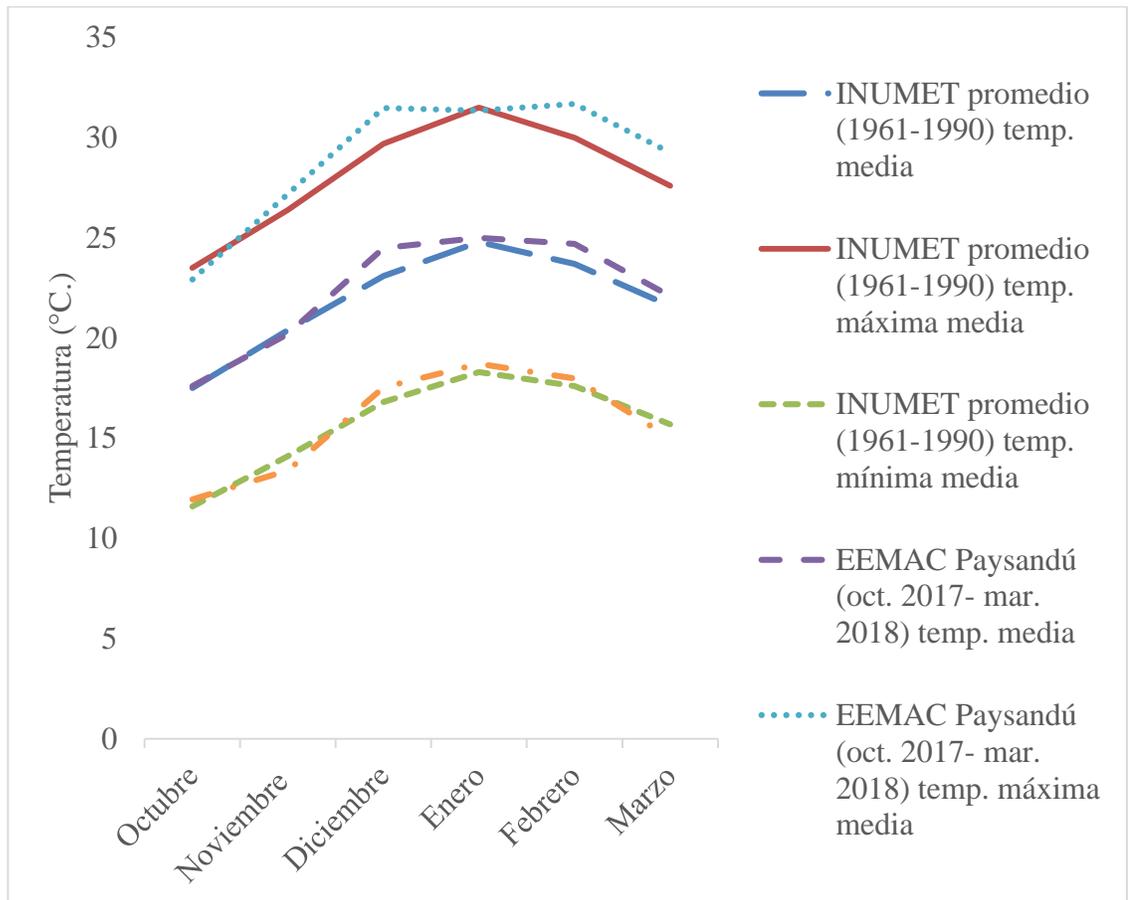


Figura No. 5. Registro promedio de temperaturas medias, máximas y mínimas para el periodo de estudio comparados con la serie histórica

En la figura No. 5 se observa que las temperaturas máximas promedio, mínimas promedio y las medias se desarrollan por encima de la serie histórica. Lo cual indica que los meses finales del 2017 y el comienzo del 2018 fueron más cálidos que en años normales, donde la variación mayor ocurre en el verano, más precisamente a fines de diciembre como también en febrero y marzo.

El cultivo de *Setaria itálica* al ser sembrada en los primeros días de diciembre, en los cuales las temperaturas medias registradas se encuentran por encima de los 17,6 °C como lo muestra la figura anterior, las cuales se encuentran dentro del rango de temperaturas óptimas para la germinación según lo reportado por Oelke et al. (1990), los cuales indican que la misma se sitúa por encima de los 18°C. Por otro lado Croissant y Shanahan, citados por Terra et al. (2000) mencionan que las temperaturas óptimas en el suelo para la germinación de este mismo cultivo, se ubican entre 20 y 30 °C y que aun en condiciones favorables la planta crece lentamente en las primeras semanas después de la emergencia. No es menor destacar, que las máximas estuvieron por encima del rango

mencionado anteriormente pudiendo limitar este óptimo crecimiento, con relación a las mínimas promedio se verifica que estas no afectaron la germinación e implantación de moha sujeto al parámetro establecido por Oelke et al. (1990).

Adquiere relevancia indicar que la mineralización de N se ve favorecida con altas temperaturas, esto se debe a que se promueve la actividad microbiana, sin embargo, la misma puede verse reducida si las temperaturas son extremadamente elevadas, debido a que limita la actividad de estos microorganismos. Cuando el suelo se humedece y posteriormente se seca, ocurriendo esto varias veces, se produce una expansión y contracción de los micro agregados del suelo aumentando la superficie específica quedando más accesible para ser atacada por los microorganismos. Esto favorece al proceso de mineralización, aumentando su velocidad, gracias a una mayor desestabilización de la materia orgánica. En Uruguay, el proceso de mineralización adquiere gran importancia primordialmente en los meses estivales, donde es común esperar que luego de una sequía prolongada, los suelos y plantas concentren cantidades importantes de nitrógeno mineral (Perdomo y Barbazán, 1999).

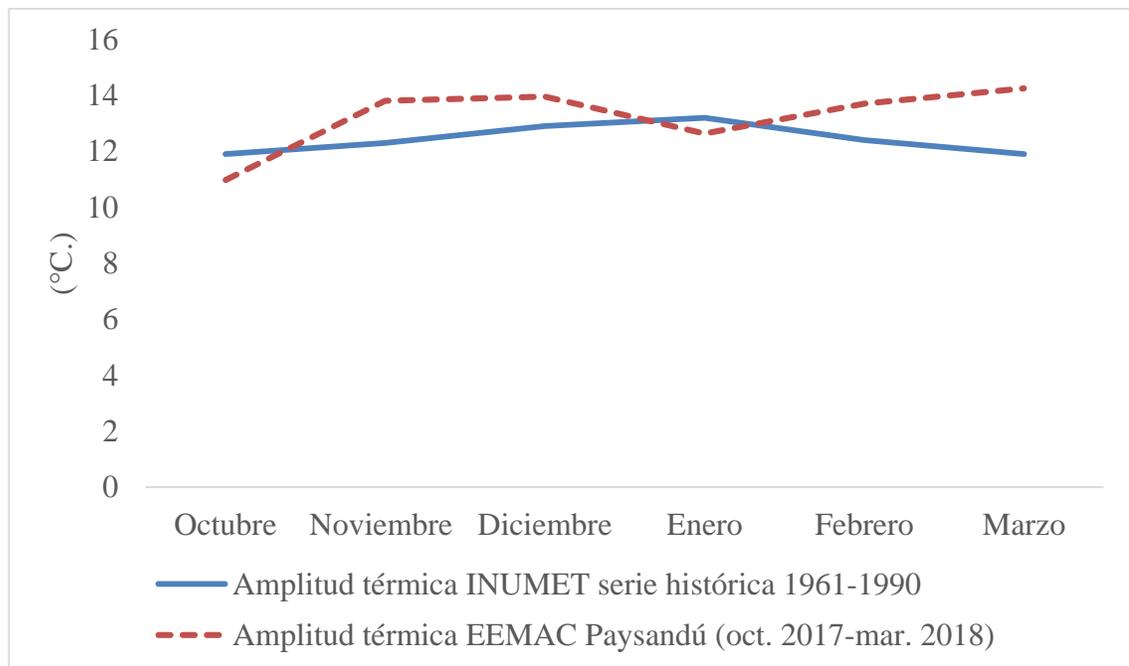


Figura No. 6. Comparación de amplitud térmica entre periodo de estudio y serie histórica

En la figura No. 6 se puede apreciar que existe una mayor amplitud térmica en la mayoría de los meses del periodo experimental, esto ocurre a causa de las mayores diferencias entre temperaturas máximas y mínimas vistas en la figura No. 5, sobre todo en los meses de noviembre, diciembre, febrero y marzo. Esto pudo afectar el crecimiento

y desarrollo de la pastura, posibilitando la aceleración de los procesos. Las temperaturas mínimas para la zona en estudio fueron mayores a las mínimas para la serie histórica, ello provocó que la amplitud térmica aumente, pero las temperaturas máximas para el periodo en estudio superaron a las máximas de la serie en mayor proporción, por lo que las máximas temperaturas contribuyeron más que las mínimas al aumento de la amplitud térmica.

4.1.3. Balace hídrico

Para lograr identificar la disponibilidad hídrica en el suelo durante el periodo de estudio, se realizó un balance hídrico entre octubre del año 2017 y marzo del año 2018. Se busca constatar si ocurrieron deficiencias o excesos que hayan perjudicado el crecimiento de la especie sembrada. Esta evaluación se desarrolló teniendo en cuenta las precipitaciones, la ETP y la capacidad de almacenaje de agua del suelo, estimándose una capacidad de almacenaje de agua disponible de 80 mm (Arce Pinatto et al., 2013).

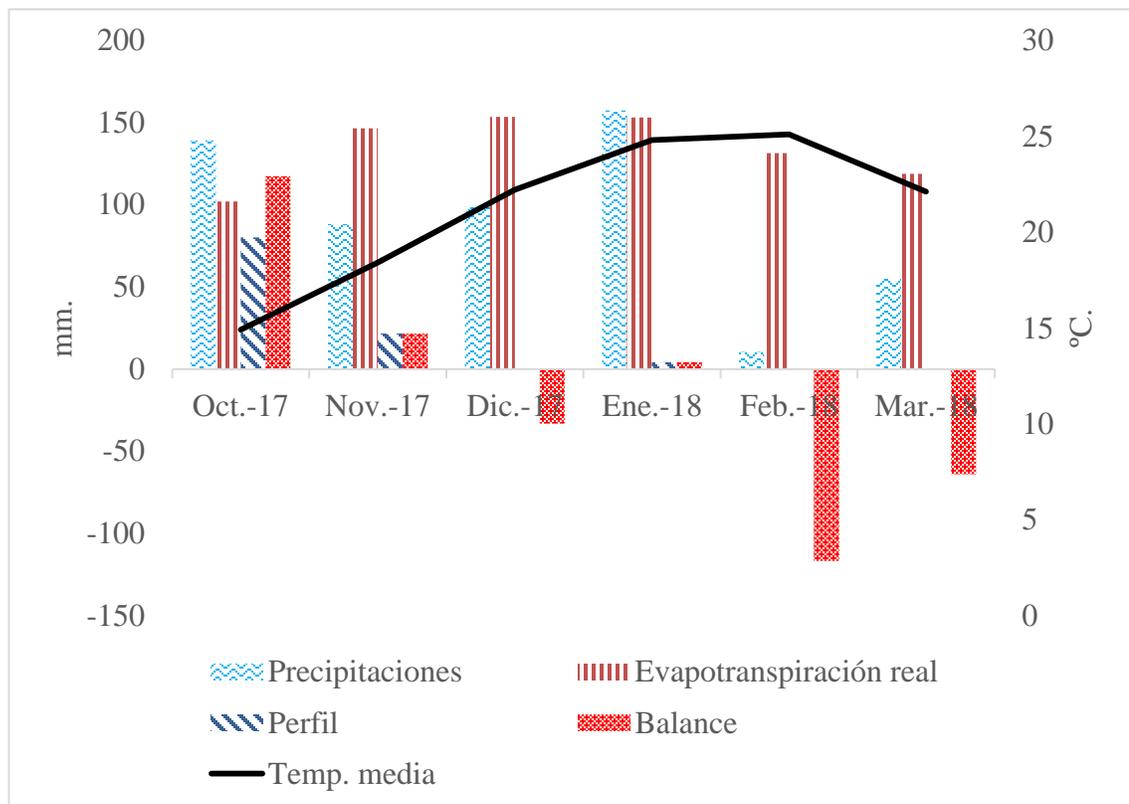


Figura No. 7. Balance hídrico durante el periodo de estudio

Como se puede apreciar en la figura No. 7, durante la primavera y más precisamente al inicio del periodo de estudio, es decir en octubre, el perfil del suelo se encontraba a capacidad de campo (80 mm), al avanzar la estación sujeto a precipitaciones irregulares, y algo inferiores al promedio histórico, junto con una creciente ETP, provocó una disminución en el balance de los meses posteriores, repercutiendo en una menor cantidad de agua en el perfil, incluso en el mes de diciembre el balance fue negativo, momento en el cual se sembró el cultivo estival. En la estación de verano, si bien en enero las precipitaciones fueron superiores a la serie histórica, la ETP también fue alta, derivando en un balance cercano a cero (4,2 mm), en los restantes meses de la estación como se describió anteriormente, las precipitaciones fueron escasas con valores elevados de ETP generando un balance negativo. En consecuencia el perfil del suelo se encontraba con escasa humedad.

El grado con el que ocurren las deficiencias hídricas extremas y la reiteración de las mismas, afectaron en gran medida la productividad de las especies forrajeras. En los predios que contienen las pasturas como base principal de la dieta animal, la sequía es el evento climático extremo que establece la principal amenaza ambiental (Cruz et al. 2007, Nelson et al. 2007, Chapman et al. 2013).

Como consideraciones generales se establece que las condiciones hídricas fueron limitantes para la implantación y el crecimiento de la pastura, detectándose balances negativos, repercutiendo así en una baja disponibilidad hídrica contenida en el perfil del suelo.

Estas interrupciones en la disponibilidad de agua en el ciclo del cultivo generaron una depresión en el rendimiento de la pastura. Dicho rendimiento, se puede decir que depende de un conjunto de interacciones entre diversos factores como son el genotipo, clima, suelo y manejo del cultivo. El impacto de los distintos parámetros que intervienen en estos factores, determina la fenología y el crecimiento de los cultivos (Boote y Tollenar, 1991).

Por otro lado estas interrupciones en el ciclo derivan en espacios libres en la superficie del suelo, provocando que prosperen especies de plantas indeseadas, más comúnmente llamadas malezas, las cuales tienen mayor capacidad de crecer y desarrollarse en condiciones limitantes de recursos, siendo más eficientes en la competencia por agua, nutrientes, espacio, luz, entre otros.

Una habilidad que presentan las plantas para minimizar el efecto del déficit hídrico es mermar las pérdidas de agua por transpiración, esto depende de cada especie y genotipo, a modo de ejemplo, en situaciones en las cuales se presentan estas dificultades se ha comprobado a través de estudios realizados, que *Festuca arundinacea* y *Lolium multiflorum* presentaron mayores reducciones de la conductancia estomática en comparación a algunas especies de la familia leguminosa como *Trifolium repens*,

Medicago sativa (Lucero et al. 2000, Suriyagoda et al. 2011, Lazaridou et al. 2012). Otro método para minimizar los efectos negativos producidos por sequías extremas es la capacidad de crecimiento diferencial de la raíz (Kramer y Boyer, 1995) la cual está más desarrollada en gramíneas en comparación a leguminosas, presentando un sistema radicular con mayores ramificaciones y profundidad de manera de poder explorar mayor superficie del suelo, para capturar mayores recursos como el agua en profundidad aumentando la eficiencia de uso.

Perdomo y Barbazán (1999) hacen referencia que niveles hídricos adecuados se relacionan en forma positiva con concentraciones elevadas de nitrógeno en el suelo. En contraste con la situación del experimento, en la cual hay déficit hídrico. Cuando el suministro de agua es limitado, la nutrición radicular de la planta sufre trastornos severos y compromete drásticamente el desarrollo vegetal. Bajo condiciones de sequía transitoria, la vía radicular estará limitada para la absorción de nutrientes.

Con respecto a las temperaturas, éstas no fueron limitantes para el crecimiento y desarrollo, a excepción de algunos picos de temperaturas máximas registrados en la estación estival que deben afectar al cultivo según lo reportado anteriormente.

Estos factores conforman un ambiente inadecuado para lograr una buena implantación y crecimiento, los cuales son procesos claves para lograr la máxima expresión del potencial productivo de una pastura.

4.2. NITRÓGENO EN SUELO

4.2.1. Nitrógeno con orina previo al cultivo de moha

Se realizó un análisis de suelo evaluando el nitrógeno en zonas detectadas con orina, definidas visualmente por la coloración de la pastura, previo a la siembra de la moha el día 4 de diciembre de 2017. En función del análisis estadístico realizado para este escenario de estudio, se implementó un análisis de varianza, donde fueron 16 las observaciones con un coeficiente de determinación $R^2=0,31$.

En el cuadro No. 2, se muestra la evaluación de nitrógeno como nitrato para los primeros 5 cm de suelo para las pasturas analizadas.

Cuadro No. 2. Nitrógeno como nitrato (kg/ha) según pastura

Pastura	Medias
Raigrás	14,9 A
Mezcla	8,2 A

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

Como se puede observar no existen diferencias significativas entre tratamientos de pasturas mezcla con respecto a pastura de raigrás. Sin embargo los tratamientos de pasturas de raigrás presentaron un valor de media superior al representado por los mezcla. Cabe destacar que la diferencia en valores absolutos es importante, tal vez explicado por una cierta variabilidad topografica y de humedad en el suelo.

Esta ausencia de diferencias significativas entre tratamientos, se repitió el año anterior donde se realizó el mismo trabajo, en iguales condiciones experimentales (García Favre, 2016).

En muchos casos a través de las pasturas se busca lograr una adecuada sustentabilidad, basándose en la incorporación de leguminosas de manera de fijar N y derivar en mejores producciones en la rotación. A partir de esto, se esperaría mayores niveles de nitrógeno como nitrato en los tratamientos que incluyen mezclas invernales como pasturas antecesoras, similar a lo establecido por Crespo Espejo et al., citados por Carámbula (2002). Sin embargo esto no se cumple, dado que no existieron diferencias significativas observando la información brindada por el cuadro anterior.

La baja disponibilidad de agua contenida en el perfil del suelo previo a la siembra del cultivo estival, pudo afectar la disponibilidad de N sometido a alteraciones en los niveles de dicho nutriente, ya que la mineralización es baja en suelos secos. Esto es un motivo que permitiría explicar la razón que no permitió detectar diferencias significativas entre pasturas antecesoras.

En el cuadro No. 3, se muestra la evaluación de nitrógeno como nitrato para los primeros 5 cm de suelo según las fertilizaciones nitrogenadas agregadas.

Cuadro No. 3. Nitrógeno como nitrato (kg/ha) según fertilización nitrogenada

Nitrógeno (kg/ha)	Medias
64	14,2 A
0	8,9 A

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

Como se puede observar no existen diferencias significativas entre tratamientos sin fertilizar con respecto a tratamientos fertilizados. Sin embargo, los tratamientos fertilizados presentaron un valor de media superior al presentado por los sin fertilizar. Cabe destacar que la diferencia en valores absolutos es importante, tal vez explicado por una cierta variabilidad topografica y de humedad en el suelo.

Si bien la hipótesis planteaba que existiría mayor concentración de nitrógeno en los tratamientos fertilizados en referencia a los sin fertilizar, esto no se cumplió, dado que no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos. Lo cual coincide con

el año anterior, donde se realizó el mismo experimento y no se expresaron diferencias significativas entre tratamientos (García Favre, 2016).

Esto pudo estar explicado por la escasa humedad del suelo en las etapas finales de las pasturas invernales y durante el barbecho previo a la siembra de moha, disminuyendo la mineralización de la materia orgánica, debido a que existe una correlación positiva entre los niveles de humedad del suelo y la concentración de nitrógeno. Coincidiendo con Bloem et al. (1992) los cuales hacen referencia que en condiciones de escasez de agua, la concentración de N mineral del suelo es baja, debido a una menor actividad microbiana.

Otro motivo que pudo haber provocado estos resultados es que en condiciones de sequía, el nitrógeno aportado por las leguminosas se considera más eficiente en relación al brindado por el fertilizante, dado que se imposibilita la llegada a las raíces en esta última opción (Mulder 1952, Cowling 1962). Carámbula (2002) afirma que la utilización del nutriente fijado por la leguminosa es menos dependiente de las condiciones ambientales que el agregado en forma de fertilizante.

En el cuadro No. 4, se muestra la evaluación de nitrógeno como nitrato para los primeros 5 cm de suelo según la interacción pastura-nitrógeno.

Cuadro No. 4. Nitrógeno como nitrato (kg/ha) según interacción pastura-nitrógeno

Pastura	Nitrógeno (kg/ha)	Medias
Raigrás	64	21,6 A
Mezcla	0	9,7 A
Raigrás	0	8,2 A
Mezcla	64	6,7 A

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

Como se puede observar no existen diferencias significativas entre tratamientos de pasturas mezclas con y sin fertilización, así como también los tratamientos de pasturas de raigrás con y sin fertilización. Sin embargo los tratamientos de raigrás fertilizados presentaron un valor de media superior al resto de los tratamientos. Cabe destacar que la diferencia en valores absolutos es importante, tal vez explicado por una cierta variabilidad topografica y de humedad en el suelo.

Estos resultados no concuerdan con lo esperado, debido a que existirían efectos residuales de los tratamientos mezcla fertilizados frente al resto, ya que no se expresan diferencias significativas. Lo cual coincide con el año anterior, donde se realizó el mismo trabajo, en iguales condiciones experimentales, y no se expresaron diferencias significativas entre tratamientos (García Favre, 2016).

A partir de esto se concluyó que no hay una relación directa entre las pasturas y el agregado de N sobre la residualidad de este nutriente.

Por otro lado, se visualiza que los valores de N inicial con orina son superiores a los de N inicial sin orina, esto se debe a que los rumiantes presentan ineficiencia para utilizar el nitrógeno ofrecido en las pasturas, dado que más del 70% del nutriente consumido retorna al suelo, principalmente en la orina (Acosta 1994, Morón 1994). La orina consta de una concentración elevada de nitrógeno, además de ser depositados de forma irregular en el forraje, presentan distintas vías de pérdidas como por volatilización en forma de amoníaco, desnitrificación y lixiviación (Carámbula, 2002). Es cierto que el nitrógeno presente en la orina es recuperado en parte por la pastura, pero también no se han obtenido registros de que sea retenido en el suelo (Ball y Keeney, 1983).

4.2.2. Nitrógeno sin orina previo al cultivo de moha

Se realizó un análisis de suelo evaluando el nitrógeno en zonas donde no se registraron residuos de orina, el día 4 de diciembre de 2017, previo a la siembra de moha. En función del análisis estadístico realizado para este escenario de estudio, se implementó un análisis de varianza, donde fueron 16 las observaciones con un coeficiente de determinación $R^2=0,31$.

En el cuadro No. 5, se muestra la evaluación de nitrógeno como nitrato para los primeros 5 cm de suelo para las pasturas analizadas.

Cuadro No. 5. Nitrógeno como nitrato (kg/ha) según pastura

Pastura	Medias
Mezcla	6,7 A
Raigrás	4,1 A

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

Como se puede observar no existen diferencias significativas entre tratamientos de pasturas mezcla con respecto a pasturas de raigrás. Sin embargo los tratamientos de pasturas mezcla presentaron un valor de media superior al representado por los de raigrás. Cabe destacar que la diferencia en valores absolutos es importante, tal vez explicado por una cierta variabilidad topográfica y de humedad en el suelo.

Esta ausencia de diferencias significativas entre tratamientos, también fue obtenida el año anterior, donde se realizó el mismo trabajo, en iguales condiciones experimentales (García Favre, 2016).

La forma tradicional para aportar N al sistema es a partir de la asociación con leguminosas. El nutriente es cedido gradualmente, será más importante cuanto mayor es la proporción de la leguminosa en la pastura y más eficiente es el manejo que se aplica.

En Uruguay Ernst (2004) determinó que por cada tonelada de materia seca producida por una leguminosa, se fijan alrededor de 30 kg de N, por lo tanto las condiciones climáticas del periodo de crecimiento de la leguminosa, son determinantes del éxito porque van a definir la producción de la pastura.

Las leguminosas tienen mayor capacidad de fijar N que las gramíneas, por lo cual es más probable encontrar menores disponibilidades del nutriente en suelos donde estuvieron estas últimas, por ende en los tratamientos mezcla como antecesor se esperarían mayores niveles de N. No obstante, esta hipótesis no se confirma en el trabajo.

Esta ausencia de diferencias significativas entre pasturas puede ser explicada por modificaciones en las disponibilidades de N, causadas por la baja humedad contenida en el suelo, afectándose los microorganismos encargados de transformar la materia orgánica en nitrógeno disponible para las plantas.

En el cuadro No. 6, se muestra la evaluación de nitrógeno como nitrato para los primeros 5 cm de suelo según las fertilizaciones nitrogenadas agregadas.

Cuadro No. 6. Nitrógeno como nitrato (kg/ha) según fertilización nitrogenada

Nitrógeno (kg/ha)	Medias
0	6,1 A
64	4,7 A

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

Como se puede observar no existen diferencias significativas entre tratamientos fertilizados con respecto a tratamientos sin fertilizar. Sin embargo los tratamientos sin fertilizar presentaron un valor de media superior al representado por los fertilizados. Cabe destacar que la diferencia en valores absolutos es importante, tal vez explicado por una cierta variabilidad topográfica y de humedad en el suelo.

Nuevamente surge la hipótesis de que los tratamientos que fueron fertilizados con 64 kg de N/ha tendrían mayores concentraciones de este nutriente en suelo al culminar las pasturas invernales, respecto a aquellos que no fueron fertilizados, sin embargo esto no sucede. Lo cual coincide con el año anterior, donde se realizó el mismo experimento y no se expresaron diferencias significativas entre tratamientos (García Favre, 2016).

Es válido destacar, que este nutriente puede variar mucho su disponibilidad en suelo, estando muy afectado por condiciones climáticas y edáficas (Carámbula, 2002), lo cual puede ser un motivo que explica la ausencia de diferencias significativas entre tratamientos fertilizados y sin fertilizar.

Otros motivos pueden ser, en primera instancia, la falta de humedad en el suelo, la cual afecta la mineralización de la materia orgánica y la disponibilidad de N para las

plantas. Similar a lo mencionado por Bloem et al. (1992) los cuales hacen referencia que en condiciones de escasez de agua, la concentración de N mineral del suelo es baja, debido a una menor actividad microbiana. En segunda instancia, es importante mencionar, que el N aportado por las leguminosas mediante la fijación biológica, es bastante más eficiente en comparación al aportado en forma externa, mediante fertilizantes, ya que se ve afectado en forma negativa la llegada del nutriente a las raíces en esta última opción (Mulder 1952, Cowling 1962).

En el cuadro No. 7, se muestra la evaluación de nitrógeno como nitrato para los primeros 5 cm de suelo según la interacción pastura-nitrógeno.

Cuadro No. 7. Nitrógeno como nitrato (kg/ha) según interacción pastura-nitrógeno

Pastura	Nitrógeno (kg/ha)	Medias
Mezcla	0	7,9 A
Mezcla	64	5,4 A
Raigrás	0	4,2 A
Raigrás	64	4,1 A

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

Como se puede observar no existen diferencias significativas entre tratamientos de pasturas mezclas con y sin fertilización como también los tratamientos de pasturas de raigrás con y sin fertilización. Sin embargo los tratamientos mezcla sin fertilizar presentaron un valor de media superior al resto de los tratamientos. Cabe destacar que la diferencia en valores absolutos es importante, tal vez explicado por una cierta variabilidad topografica y de humedad en el suelo.

Una vez más, estos resultados no concuerdan con lo esperado de que existirían efectos residuales de los tratamientos mezclas fertilizadas frente al resto, ya que no se expresan diferencias significativas. Lo cual coincide con el año anterior, donde se realizó el mismo trabajo, en iguales condiciones experimentales, y no se expresaron diferencias significativas entre tratamientos (García Favre, 2016).

A partir de esto se concluyó que no hay una relación directa entre las pasturas antecesoras y el agredado de N sobre la residualidad de este nutriente.

Por otro lado, se visualiza que los valores de N inicial sin orina son inferiores a los de N inicial con orina, como se explicó en el cuadro No. 4.

4.2.3. Nitrógeno sin orina posterior al cultivo de moha

Se realizó un análisis de suelo evaluando el nitrógeno posterior a la finalización del cultivo de moha, analizada el día 5 de abril de 2018. En función del análisis estadístico realizado para este escenario de estudio, se implementó un análisis de varianza, donde fueron 16 las observaciones con un coeficiente de determinación $R^2=0,55$, por otro lado el coeficiente de variación=31,40.

En el cuadro No. 8, se muestra la evaluación de nitrógeno como nitrato para los primeros 5 cm de suelo para las pasturas analizadas.

Cuadro No. 8. Nitrógeno como nitrato (kg/ha) según pastura

Pastura	Medias
Raigrás	2,3 A
Mezcla	2,2 A

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

Como se puede observar no existen diferencias significativas entre tratamientos de pasturas mezcla con respecto a pasturas en base a raigrás. Sin embargo los tratamientos de pasturas de raigrás presentaron un valor de media superior al representado por los mezcla.

Las pasturas poseen capacidad de recuperar el contenido de materia orgánica en suelos sometidos a agricultura (Díaz Rosselló, 1992) pero su mayor contribución a la sostenibilidad productiva de los sistemas mixtos de producción, podría ser el enriquecimiento de N de esa materia orgánica cuando se incluye leguminosas. El N es el nutriente más importante para la concreción de rendimientos en cultivos, el ingreso de nitrógeno vía fijación simbiótica por las leguminosas es relevante, representando una fuente de nitrógeno importante para los cultivos posteriores (Sawchik, 2001).

Cuando la pastura presenta únicamente gramíneas puede ocurrir un efecto de inmovilización de N, producto de la calidad de los residuos incorporados, lo que explica bajos niveles de N en situaciones sin agregado. Por otro lado, las leguminosas al tener una baja relación C/N, se esperarían que se descompongan más rápido, lo cual llevaría a que las parcelas ocupadas por especies de esta familia, contengan mayores niveles de N.

A partir de datos bibliográficos y una de las hipótesis planteada, la cual estableció que los tratamientos mezclas presentarían un efecto superior sobre los niveles de nitrógeno en relación al raigrás puro, sin embargo, esto no se cumple, debido a que no existieron diferencias significativas observando la información brindada por el cuadro anterior para N final.

Una posible explicación a los resultados obtenidos, es el déficit hídrico (ver figura No. 7) durante el periodo del cultivo, que condicionó el crecimiento de la pastura estival. En base a esto se dio una baja implantación de moha, promoviendo el desarrollo de malezas, que además de competir por espacio, también tienen la capacidad de absorber agua y nutrientes. Según Ernst y Siri, citados por Terra et al. (2000) el control de malezas es un aspecto clave en el manejo de cultivos, para evitar la competencia en las etapas iniciales del mismo, así como también para disminuir las pérdidas de agua y nitrógeno almacenados en el suelo.

Otra consideración a tener en cuenta es que puede afectar la disponibilidad de nitrógeno para el cultivo, dado que la mineralización es muy baja en suelos secos pero aumenta rápidamente cuando el contenido de agua también se incrementa. Alexander (1980) encontró que la cantidad de nitrógeno inorgánico acumulado en el suelo aumento de 15 a 80 ppm de N cuando el contenido de agua del mismo paso de 10 a 30 % en un periodo de 15 días.

Estas consideraciones derivan en alteraciones en los niveles de disponibilidad de dicho nutriente, por lo cual puede ser un motivo de explicación a que no hubo diferencias significativas entre las pasturas antecesoras. No es menos importante destacar que los niveles del nutriente en estudio son bajos, ya que las condiciones ambientales afectaron a todos los tratamientos por igual, por lo cual sería lógico no esperar diferencias entre los tratamientos.

Es necesario realizar una comparación acerca de las variaciones de N en suelo previo a la siembra de moha (ver cuadro No. 5) y posterior a la culminación del ciclo (ver cuadro No. 8). Se ha detectado una disminución al transcurrir el cultivo, debido a una situación de déficit hídrico generando incrementos en el grado de enmalezamiento, afectando la disponibilidad del nutriente como se mencionó anteriormente.

En el cuadro No. 9, se presenta el resultado de la evaluación de nitrógeno como nitrato para los primeros 5 cm de suelo según las fertilizaciones nitrogenadas agregadas.

Cuadro No. 9. Nitrógeno como nitrato (kg/ha) según fertilización nitrogenada

Nitrógeno (kg/ha)	Medias
0	2,3 A
64	2,2 A

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

Como se puede observar no existieron diferencias significativas entre tratamientos sin fertilizar con respecto a tratamientos fertilizados. Sin embargo los tratamientos sin fertilizar presentaron un valor de media superior al representado por los fertilizados.

Al tener un aporte de N exógeno (64 kg/ha) sobre las pasturas invernales, se esperaba que en estas parcelas la concentración de este nutriente en el suelo posterior a la moha, sea superior al testigo sin fertilizar, debido a que la producción de biomasa se incrementa para el caso de la gramínea y en el caso de los tratamientos mezclas, tal vez el incremento no sea tal. Estudios realizados por Urzúa (2005) determinaron que al fertilizar las mezclas no se lograron incrementos productivos con respecto a las no fertilizadas. Sabido esto (mayor producción de biomasa) se espera una adecuada mineralización de la materia orgánica y mayor disponibilidad de N para el siguiente cultivo estival siempre y cuando se presenten situaciones ambientales normales.

A partir de estos resultados, no se cumple lo esperado porque no existieron diferencias significativas entre los tratamientos fertilizados y sin fertilizar.

Esto pudo estar explicado por el déficit hídrico ocurrido en el ciclo del cultivo, lo cual repercute en disminuciones de los niveles de N mineralizado mediante microorganismos, debido a que existe una correlación positiva entre los niveles de humedad del suelo y la concentración de nitrógeno. Esto concuerda con Bloem et al. (1992) donde establecen que la concentración de N mineral del suelo es baja, debido a una menor actividad de los microorganismos encargados de la mineralización de la materia orgánica por la escasez de agua.

Otro factor que también pudo haber afectado los niveles de N en suelo es la presencia de malezas (Ernst y Siri, citados por Terra et al., 2000) ya que las mismas son buenas competidoras por recursos y en el contexto del presente trabajo su presencia fue considerable.

Se comparó nuevamente los contenidos de N en suelo previo a la siembra de moha (ver cuadro No. 6) y posterior a la culminación del ciclo (ver cuadro No. 9), lográndose identificar una disminución pos cultivo estival, explicado por una situación de déficit hídrico generando incrementos en el grado de enmalezamiento, afectando la disponibilidad de N.

En el cuadro No. 10, se muestra la evaluación de nitrógeno como nitrato para los primeros 5 cm de suelo según la interacción pastura-nitrógeno.

Cuadro No. 10. Nitrógeno como nitrato (kg/ha) según interacción pastura-nitrógeno

Pastura	Nitrógeno (kg/ha)	Medias
Raigrás	0	2,5 A
Mezcla	64	2,3 A
Raigrás	64	2,1 A
Mezcla	0	2,1 A

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

Como se puede observar no existen diferencias significativas entre los tratamientos de pasturas mezcla con y sin fertilización como también los tratamientos de pasturas de raigrás con y sin fertilización. Sin embargo los tratamientos de raigrás sin fertilización presentaron un valor de media superior al resto de los tratamientos.

Estos resultados no concuerdan con lo esperado de que existirían efectos residuales de los tratamientos mezcla fertilizados frente al resto, ya que no se expresan diferencias significativas. A partir de esto se concluyó que no hay una relación directa entre las pasturas y el agregado de N sobre la residualidad de este nutriente posterior a la moha.

En este caso el N en suelo previo a la siembra de moha (ver cuadro No. 7) fue superior una vez más en comparación al N posterior al cultivo estival (ver cuadro No. 10). Es de suma trascendencia destacar, que las comparaciones entre nitrógeno inicial y final, se realizaron en todos los casos tomando en cuenta los datos sin orina, ya que no se obtuvo información acerca de N con orina, posterior a *Setaria itálica*.

Cabe recalcar que durante el ciclo del cultivo hubieron condiciones ambientales adversas, por lo que no es seguro que esto suceda nuevamente en condiciones ambientales promedio. Por otro lado, las concentraciones de este nutriente en el suelo son muy variables y además las fertilizaciones se realizaron en otoño del 2017, mientras que la evaluación de N final fue en otoño 2018, por lo que los resultados pueden estar afectados.

4.3. DENSIDAD APARENTE

4.3.1. Densidad aparente previo al cultivo de moha

Se analizó la densidad aparente al inicio del experimento, previo a la siembra de la moha. La misma busca expresar el grado de compactación del suelo, pudiendo definir si el mismo presenta limitantes para un óptimo desarrollo de las pasturas.

4.3.1.1. Densidad aparente en sitios con orina previo al cultivo de moha

Se realizó el análisis de densidad aparente en zonas detectadas con orina, definidas visualmente por la coloración de la pastura, previo a la siembra de la moha el día 4 de diciembre de 2017. En función del análisis estadístico realizado para este escenario de estudio, se implementó un análisis de varianza, donde fueron 16 las observaciones con un coeficiente de determinación $R^2=0,73$, por otro lado el coeficiente de variación=14,55.

En el cuadro No. 11, se muestra la evaluación de la densidad aparente inicial con orina para las pasturas analizadas.

Cuadro No. 11. Densidad aparente inicial con orina (g/cm³) según pastura

Pastura	Medias
Mezcla	0,9 A
Raigrás	0,8 A

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

Como se puede observar no existen diferencias significativas entre tratamientos de pasturas mezcla con respecto a pasturas de raigrás. Sin embargo los tratamientos de pasturas de raigrás presentaron un valor de media inferior al representado por las mezclas, donde en este escenario es favorable.

Los resultados de la evaluación muestran densidades aparentes inferiores a los señalados por García Préchac (1992, ver figura No. 1), esto es favorable dado que la DAp explica en cierta parte el grado de compactación del suelo mediante la relación entre sólidos y espacio poroso (Keller y Hakansson, 2010), a partir de esto se concluye que a menor DAp, menor compactación del suelo, y por ende mejores condiciones para un adecuado crecimiento y desarrollo del sistema radicular.

Las gramíneas junto a otras plantas, juegan un rol fundamental en la formación y conservación del recurso suelo, introduciendo sus raíces en profundidad en busca de agua y nutrientes, esto conlleva a que se vaya formando y estructurando el suelo, es decir mejorando las propiedades físicas (Kellogg 1948, Thorp 1948).

Las producciones de las pasturas invernales no mostraron diferencias significativas entre raigrás puro con/sin N y mezcla con N, pero si con la mezcla sin agregado de este nutriente (fue inferior). A partir de ello se espera que todos los tratamientos donde estuvo el raigrás como antecesor, la DAp sería menor.

Las gramíneas no consolidaron su mejora en comparación con la mezcla (ver cuadro No. 11) evidenciando una diferencia con lo descrito en otros párrafos.

Una posible explicación es que los tréboles anuales utilizados *Trifolium vesiculosum* y *Trifolium resupinatum*, lograron hacer insignificante la diferencia en la mejora de la estructura del suelo con respecto a la gramínea debido a sus características morfológicas. La primer especie se caracteriza por exhibir una raíz pivotante, con gran desarrollo, pudiendo alcanzar profundidades de hasta 1,5 m (Ovalle et al., 2005b), mientras la segunda presenta raíces robustas y ramificadas (INIA, 2012).

En el cuadro No. 12, se muestra la evaluación de la densidad aparente inicial con orina para los distintos niveles de nitrógeno analizados.

Cuadro No. 12. Densidad aparente inicial con orina (g/cm³) según nitrógeno

Nitrógeno (kg/ha)	Medias
0	0,9 A
64	0,8 A

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

Como se puede observar no existen diferencias significativas entre tratamientos sin fertilizar con respecto a tratamientos fertilizados. Sin embargo los últimos presentaron un valor de media inferior al representado por los sin fertilizar, donde en este escenario es favorable.

Estos resultados fueron similares a los reportados por García Préchac (1992), en donde se evidencia que rotaciones con raigrás fertilizado y mezclas anuales invernales compuestas por una gramínea y una leguminosa sin agregado de fertilizante, obtuvieron densidades aparentes semejantes.

Es necesario puntualizar que la producción de las pasturas invernales antecesoras no mostraron diferencias significativas en producción en 3 de 4 tratamientos, es decir raigrás con y sin fertilización, como también la mezcla fertilizada, manifestándose diferencias solamente en la mezcla sin agregado de fertilizante (inferior a las demás), por lo cual se espera que no se presenten diferencias en DAp, coincidiendo con los resultados del presente trabajo.

El agregado de N en la pastura de raigrás generó incrementos en la producción, pero no fueron significativamente diferentes. Por otro lado al fertilizar las mezclas se lograron incrementos productivos con respecto a las no fertilizadas, esto es contrario a lo establecido por Urzúa (2005) donde confirma a través de evaluaciones con porotos verdes que la producción de esta es similar inoculada con cepa seleccionada que fertilizada con 70 kg de N.

A partir de los resultados obtenidos y donde no existieron diferencias significativas respecto a producciones de raigrás con/sin fertilización, tampoco las habría a nivel radicular, por ende no hay variaciones en la compactación del suelo, como consecuencia no hay diferencias significativas entre tratamientos con respecto a DAp.

Sin embargo las mezclas si responden en cuanto a producción si se le agrega este nutriente pero esto no se manifiesta de forma significativa en la DAp, si en términos absolutos.

En el cuadro No. 13, se muestra la evaluación de la densidad aparente inicial con orina para las distintas pasturas con distintos niveles de nitrógeno analizados.

Cuadro No. 13. Densidad aparente inicial con orina (g/cm³) según interacción pastura-nitrógeno

Pastura	Nitrógeno (kg/ha)	Medias
Mezcla	0	1,0 A
Raigrás	64	0,8 B
Raigrás	0	0,8 B
Mezcla	64	0,8 B

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

Como se puede observar existen diferencias significativas entre los tratamiento mezcla sin fertilizar con respecto a los otros tratamientos de raigrás con y sin fertilización como también al de la mezcla fertilizada.

Estos resultados no concuerdan con lo esperado de que existiría efectos residuales de los tratamientos mezclas fertilizados frente a los demás tratamientos, ya que no se expresan diferencias respecto a raigrás con y sin fertilización, aunque si con la mezcla no fertilizada.

La mezcla sin agregado de N fue la de menor producción, expresando diferencias significativas con el resto de los tratamientos, esto se traslada a mayores niveles de densidad aparente, lo cual se explica por menores grados de crecimiento y desarrollo radicular de esta pastura, generando menor descompactación del suelo.

4.3.1.2. Densidad aparente en sitios sin orina previo al cultivo de moha

Se procedió a realizar el análisis de densidad aparente en zonas en las cuales no se registraban residuos de orina, previo a la siembra de moha el día 4 de diciembre de 2017. A partir del análisis estadístico realizado para este escenario de estudio, se realizó un análisis de varianza, donde fueron 16 las observaciones con un coeficiente de determinación $R^2=0,56$, por otro lado el coeficiente de variación=19,53.

En el cuadro No. 14, se muestra la evaluación de la densidad aparente inicial sin orina para las pasturas analizadas.

Cuadro No. 14. Densidad aparente inicial sin orina (g/ cm³) según pastura

Pastura	Medias
Mezcla	0,9 A
Raigrás	0,9 A

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

Como se puede observar no existen diferencias significativas entre tratamientos de pasturas mezcla con respecto a pasturas de raigrás.

Diversos trabajos demuestran que la intensificación de las prácticas agrícolas bajo laboreo provoca disminución en la concentración de materia orgánica, en el tamaño y estabilidad de los agregados (Quiroga et al., 1998). Sin embargo, los cambios en las propiedades de los suelos no solo dependen del sistema de labranza instalado sino también entre otros factores, del tipo de suelo, condiciones climáticas (Buschiazzo et al., 1996), de los niveles iniciales de materia orgánica (Fenster y Peterson, 1979), de la secuencia de los cultivos, los rendimientos y los aportes de residuos de cosecha (Havlin et al., 1990).

Haciendo hincapié en la secuencia de los cultivos que pueden tener impacto en la calidad del suelo, las pasturas son mejoradoras de las propiedades físicas (Altier, 2010). En los sistemas de producción que se implementan cultivos anuales en rotación con pasturas perennes, se han comprobado mejoras, disminuyendo la DAp (García Préchac et al., 2004).

Los resultados de la evaluación muestran que la DAp (0,9 g/cm³) para ambas pasturas fueron menores a las señaladas por García Préchac (1992, ver figura No. 1), lo cual es positivo como se mencionó en párrafos anteriores.

Dentro de las gramíneas, una de las principales ventajas es que permite la conservación y regeneración del suelo (Mejía-Saulés y Dávila, 1992), por lo que se esperaría una mejora en las propiedades físicas de los tratamientos que tienen gramíneas puras.

Las producciones de las pasturas invernales no mostraron diferencias significativas entre raigrás puro con/sin N y mezcla con N, pero si con la mezcla sin agregado de este nutriente (la cual fue inferior). A partir de ello se espera que todos los tratamientos donde estuvo el raigrás como antecesor, la DAp sería menor. No obstante, las gramíneas no consolidaron su mejora en comparación con la mezcla evidenciando una diferencia con lo descrito en otros párrafos.

Esto puede ser explicado por motivos similares a los ocurridos en el caso de DAp inicial con orina. Los resultados coinciden con lo mencionado por García Favre (2016) el cual expresa que *Trifolium vesiculosum* y *Trifolium resupinatum* poseen un sistema de raíces más desarrollado y profundo en comparación a raigrás anual, por lo que las diferencias entre ambos tratamientos respecto a densidad aparente no serían de gran importancia.

En el cuadro No. 15, se muestra la evaluación de la densidad aparente inicial sin orina para los distintos niveles de nitrógeno analizados.

Cuadro No. 15. Densidad aparente inicial sin orina (g/ cm³) según nitrógeno

Nitrógeno (kg/ha)	Medias
0	0,9 A
64	0,8 A

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

Como se puede observar no existen diferencias significativas entre tratamientos sin fertilizar con respecto a tratamientos fertilizados. Sin embargo, los tratamientos fertilizados presentaron un valor de media inferior al presentado por los tratamientos sin fertilizar, donde en este escenario es favorable.

Al igual que en el caso de análisis de DAp con orina, estos datos recabados en el experimento se asemejan a los resultados establecidos por García Préchac (1992), en donde se manifiesta que rotaciones con raigrás fertilizado y mezclas anuales invernales compuestas por una gramínea y leguminosas sin agregado de fertilizante, obtuvieron densidades aparentes similares.

La producción de las pasturas invernales no mostró diferencias significativas en 3 de 4 tratamientos, es decir, raigrás con y sin fertilización, como también la mezcla fertilizada, manifestándose diferencias solamente en la mezcla sin agregado de fertilizante (inferior a las demás), por lo cual se espera que no se presenten diferencias en DAp, coincidiendo con los resultados del presente trabajo.

El agregado de N en la pastura de raigrás generó incrementos en la producción, pero no fueron significativamente diferentes. Por otro lado, al fertilizar las mezclas se lograron incrementos productivos con respecto a las no fertilizadas, esto es contrario a lo establecido por Urzúa (2005) donde confirma a través de evaluaciones con porotos verdes que la producción de esta es similar inoculada con cepa seleccionada que fertilizada con 70 kg de N.

A partir de los resultados obtenidos, donde no existieron diferencias significativas respecto a producciones de raigrás con/sin fertilización, tampoco las habría a nivel radicular, por ende, no hay variaciones en la compactación del suelo, como consecuencia no hay diferencias significativas entre tratamientos con respecto a DAp.

Sin embargo las mezclas si responden en cuanto a producción si se le agrega este nutriente pero esto no se manifiesta de forma significativa en la DAp, si en términos absolutos.

En el cuadro No. 16, se muestra la evaluación de la densidad aparente inicial sin orina para las distintas pasturas con distintos niveles de nitrógeno analizados.

Cuadro No. 16. Densidad aparente inicial sin orina (g/ cm³) según interacción pastura-nitrógeno

Pastura	Nitrógeno (kg/ha)	Medias
Mezcla	0	0,9 A
Raigrás	0	0,9 A
Raigrás	64	0,9 A
Mezcla	64	0,8 A

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

Como se puede observar no existen diferencias significativas entre los tratamientos mezcla y raigrás, ya sea fertilizados o no. Sin embargo el tratamiento de la mezcla fertilizada es el que presentó un menor valor de media en relación al resto de los tratamientos, donde en este escenario es favorable.

Estos resultados no concuerdan con lo esperado de que existiría efectos residuales de los tratamientos mezclas fertilizadas frente al resto, ya que no se expresan diferencias significativas. A partir de esto se concluyó que no hay una relación directa entre las pasturas y el agregado de N sobre la DAp al inicio del experimento para todos los tratamientos.

4.3.2. Densidad aparente posterior al cultivo de moha

Se analizó la densidad aparente al final del experimento, posterior a la culminación del ciclo del cultivo de moha. La misma busca expresar el grado de compactación del suelo, pudiendo definir si el mismo presenta limitantes para un óptimo desarrollo de las pasturas.

4.3.2.1. Densidad aparente sin orina posterior al cultivo de moha

Se realizó el análisis de densidad aparente posterior a la aplicación de herbicida sobre el cultivo estival el día 5 de abril de 2018. En función del análisis estadístico realizado para este escenario de estudio, se implementó un análisis de varianza, donde fueron 16 las observaciones con un coeficiente de determinación $R^2=0,61$, por otro lado el coeficiente de variación=19,64.

En el cuadro No. 17, se muestra la evaluación de la densidad aparente final sin orina para las pasturas analizadas.

Cuadro No. 17. Densidad aparente final sin orina (g/ cm³) según pastura

Pastura	Medias
Mezcla	1,4 A
Raigrás	1,3 A

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

Como se puede observar no existen diferencias significativas entre tratamientos de pasturas mezcla con respecto a pasturas de raigrás. Sin embargo, los tratamientos de pasturas de raigrás presentaron un valor de media inferior al representado por las mezclas, donde en este escenario es favorable.

En los suelos cultivados continuamente se produce una degradación de las propiedades físicas, pero el método más aceptable para contrarrestar esta consecuencia es la rotación de cultivos con pasturas.

Los resultados muestran que las densidades aparentes promedio obtenidas son superiores a las señaladas por García Préchac (1992, ver figura No. 1), esto es desfavorable ya que reflejaría una mayor compactación del suelo y condiciones menos propicias para el desarrollo de cultivos posteriores.

Comparando la DAp inicial sin orina de 0,9 g/cm³ tanto para las pasturas mezclas como para raigrás puro, con la DAp final sin orina, 1,3 g/cm³ - 1,4 g/cm³, para raigrás puro y pasturas mezcla respectivamente, se visualiza un incremento en la DAp luego de transcurrido el cultivo de moha, pudiendo estar explicado por la baja producción de biomasa (ver cuadro No. 23) que estuvo limitada por condiciones ambientales desfavorables, más precisamente por sequía durante el ciclo de la pastura (ver figura No. 7) lo cual provocó una baja implantación (ver cuadro No. 20), derivando en espacios libres en la superficie del suelo, favoreciendo el desarrollo de malezas, las cuales tienen mayor capacidad de crecer y desarrollarse en condiciones limitantes de recursos, siendo más eficientes en la competencia por agua, nutrientes, espacio, luz entre otros.

Respecto al aporte de las gramíneas sobre las propiedades físicas del suelo, esta familia es la más influyente en una rotación, siempre y cuando la producción de biomasa sea aceptable (García Préchac, 1992).

Como la producción de moha no expuso diferencias significativa con antecesores de pasturas mezcla o raigrás (ver cuadro No. 23), coincidió que tampoco hubieron diferencias significativas en la DAp final, por lo que la gramínea no fue superior a la mezcla respecto a sus atributos benéficos para el suelo, esto pudo ser explicado por el gran desarrollo radicular de los tréboles mencionado anteriormente (Ovalle 2005b, INIA 2012).

En el cuadro No. 18, se muestra la evaluación de la densidad aparente final sin orina según nitrógeno.

Cuadro No. 18. Densidad aparente final sin orina (g/ cm³) según nitrógeno

Nitrógeno (kg/ha)	Medias
64	1,4 A
0	1,2 A

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

Como se puede observar, no existen diferencias significativas entre tratamientos sin fertilizar con respecto a los tratamientos fertilizados. Sin embargo, los tratamientos sin fertilizar presentaron un valor de media inferior al representado por los fertilizados, donde en este escenario es favorable.

Estos resultados fueron superiores a los establecidos por García Préchac (1992), en donde se demuestra que rotaciones con raigrás fertilizado y mezclas anuales invernales compuestas por una gramínea y varias leguminosas sin agregado de fertilizante, obtuvieron densidades aparentes menores.

Comparando la DAp inicial sin orina de 0,9 g/cm³- 0,8 g/cm³ tanto para el tratamiento sin agregado de N como el fertilizado respectivamente, con la DAp final sin orina 1,2 g/cm³- 1,4 g/cm³, sin agregado de N y con fertilización respectivamente, se detecta un incremento de la DAp, posterior a la culminación del ciclo de la pastura estival. Lo cual podría estar determinado de cierta forma por la limitada producción de biomasa (ver cuadro No. 24), la cual estuvo sometida a condiciones ambientales desfavorables, más precisamente sequía durante el ciclo de la pastura (ver figura No. 7) lo que provocó una baja implantación del cultivo de moha (ver cuadro No. 21) generando el aumento de espacios libres en la superficie del suelo, favoreciendo el crecimiento y desarrollo de malezas.

Una posible explicación es que el efecto del agregado de N sobre las pasturas invernales antecesoras a la moha, no manifestaron diferencias significativas en la producción de biomasa de la pastura estival (ver cuadro No. 24). En consecuencia las

densidades aparentes finales según N no mostraron diferencias significativas, coincidiendo con las producciones de biomasa.

Se concluye que esto ocurrió a causa de las condiciones ambientales desfavorables durante la estación estival, visto lo mencionado por Bloem et al. (1992) en donde afirman que el déficit hídrico reduce el proceso de mineralización de la materia orgánica, por lo cual genera una menor disponibilidad de N, en consecuencia producciones estivales más homogénea entre diferentes tratamientos, teniendo como resultado final, densidades aparentes similares.

En el cuadro No. 19, se muestra la evaluación de la densidad aparente final sin orina para las distintas pasturas con distintos niveles de nitrógeno analizados.

Cuadro No. 19. Densidad aparente final sin orina (g/ cm³) según interacción pastura-nitrógeno

Pastura	Nitrógeno (kg/ha)	Medias
Raigrás	64	1,4 A
Mezcla	64	1,4 A
Mezcla	0	1,3 A
Raigrás	0	1,1 A

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

Como se puede observar no existen diferencias significativas entre los tratamientos de pasturas mezcla con y sin fertilización como también los tratamientos de pasturas de raigrás con y sin fertilización. Sin embargo el tratamiento del raigrás fertilizado es el que presentó un menor valor de media en relación al resto de los tratamientos, donde en este escenario es favorable.

Estos resultados no concuerdan con lo esperado de que existiría efectos residuales de los tratamientos mezcla fertilizados frente al resto, ya que no se expresan diferencias significativas. A partir de esto se concluyó que no hay una relación directa entre las pasturas y el agregado de N sobre la DAp al final del experimento para todos los tratamientos.

En este caso la DAp en suelo previo a la siembra de moha (ver cuadro No. 16) fue menor una vez más en comparación a la DAp posterior al cultivo estival (ver cuadro No. 19). Una posible explicación es la baja producción de biomasa (ver cuadro No. 25), la cual estuvo sometida a condiciones ambientales desfavorables, más precisamente sequía durante el ciclo de la pastura (ver figura No. 7) lo que provocó una baja implantación (ver cuadro No. 22) favoreciendo el desarrollo de enmalezamientos.

Es de suma trascendencia destacar que las comparaciones entre DAp inicial y DAp final, se realizaron en todos los casos tomando en cuenta los datos sin orina, ya que no se obtuvo información acerca de DAp con orina posterior a *Setaria itálica*.

4.4. IMPLANTACIÓN

Se realizó un análisis de la implantación de la pastura de moha, analizada el día 26 de diciembre de 2017. En función del análisis estadístico realizado para este escenario de estudio, se implementó un análisis de varianza, donde fueron 16 las observaciones con un coeficiente de determinación $R^2=0,55$, por otro lado el coeficiente de variación=21,22.

En el cuadro No. 20, se muestra la evaluación de implantación para las pasturas analizadas.

Cuadro No. 20. Implantación (número de plantas/metro lineal) según pastura

Pastura	Medias
Mezcla	12,5 A
Raigrás	11,1 A

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

Como se puede observar no existen diferencias significativas entre tratamientos de pasturas mezcla con respecto a pasturas de raigrás. Sin embargo los tratamientos de pasturas mezcla presentaron un valor de media superior al representado por los de raigrás.

En base al cuadro anterior, se obtuvo información acerca de la implantación de moha con sus respectivos antecesores. En el experimento, la implantación de moha teniendo como cultivo antecesor una mezcla de gramíneas y leguminosas fue de 66 plantas/ m^2 , mientras si el cultivo antecesor fue raigrás puro, sería de 59 plantas/ m^2 . Tomando como referencia una población meta de 150-250 plantas/ m^2 para no afectar la producción de MS futura (Devoto y González, 1999), los valores obtenidos en el trabajo son bajos.

Estos resultados pueden estar determinados en cierta medida por las condiciones climáticas imperantes, dado que al momento de la siembra, el perfil del suelo constaba de escasa humedad, esta deficiencia se prolongó durante todo el periodo experimental.

Según Dekker (2003) el agua almacenada en el suelo y el lapso de tiempo hasta que emerge el cultivo, son los principales factores que determinan el rendimiento y la competitividad que tendrá el mismo frente a las malezas. Martínez Peck, citado por

Florio et al. (2009) menciona que la semilla de este cultivo estival se caracteriza por muy baja energía germinativa, lo que conlleva a disminuciones importantes de la implantación.

Si bien una de las hipótesis planteada se basaba en que los tratamientos mezcla tendrían una mayor concentración de N al momento de la siembra de moha, debido a la capacidad de fijación que constan las leguminosas de tomar el N atmosférico y depositarlo en el suelo en relación a la gramínea pura, los resultados de nitrógeno inicial no coinciden con esto (ver cuadros No. 2 y No. 5).

La ausencia de superioridad en los niveles de N inicial se traslada en los valores de implantación, en la cual tampoco existieron diferencias significativas.

Por otro lado, se esperaba que los tratamientos con gramíneas como antecesor tendrían menores valores de DAp, es decir menor compactación del suelo, lo que favorecería la implantación del cultivo sucesor en dichas parcelas a causa de su mayor capacidad de mejora en la calidad del suelo. Los resultados de DAp inicial no coinciden con esto (ver cuadros No. 11 y No. 14).

La ausencia de superioridad en los niveles de DAp inicial se traslada en los valores de implantación, en la cual tampoco existieron diferencias significativas.

En el cuadro No. 21, se muestra la evaluación de implantación para los distintos niveles de nitrógeno analizados.

Cuadro No. 21. Implantación (número de plantas/metro lineal) según nitrógeno

Nitrógeno (kg/ha)	Medias
0	12,5 A
64	11,1 A

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

Como se puede observar no existieron diferencias significativas entre tratamientos sin fertilizar con respecto a tratamientos fertilizados. Sin embargo los tratamientos sin fertilizar presentaron un valor de media superior al representado por los fertilizados.

A partir de los resultados presentados en el cuadro No. 21 se realizó la evaluación de implantación para la variable N (con /sin agregado), teniendo en cuenta que en la pastura antecesora no se realizaron fertilizaciones, la implantación fue de 66 plantas/ m², mientras si se realizaron fertilizaciones la misma fue de 59 plantas/ m². Los valores son bajos en comparación con los obtenidos por Devoto y González (1999).

Estos resultados se contraponen a una de las hipótesis biológica planteada, donde se manifestaba que podía existir un efecto residual de los tratamientos con

fertilización nitrogenada frente a los tratamientos no fertilizados sobre la producción de cultivos de verano, ya que los resultados de nitrógeno inicial no coinciden con esto (ver cuadros No. 3 y No. 6).

La ausencia de superioridad en los niveles de N inicial se traslada en los valores de implantación, en la cual tampoco existieron diferencias significativas.

Esto puede explicarse a través de lo mencionado por Ball y Field (1982) que manifiestan que las gramíneas sembradas puras responden al agregado de nitrógeno en términos de producción de biomasa, aunque se diferencian entre ellas en lo que refiere a su respuesta. Sin embargo estos incrementos en el nutriente no se trasladan de forma residual, debido a la sequía producida durante las etapas iniciales del cultivo de moha donde se ve afectado en forma negativa el proceso de mineralización, repercutiendo en una menor disponibilidad de nitrógeno con la consecuente afectación en la implantación.

La fijación biológica de nitrógeno en las leguminosas contribuye significativamente a la nutrición nitrogenada y productividad de las praderas, pero ninguna especie de esta familia, adecuadamente nodulada responde generalmente al agregado del elemento en lo que refiere a producción, ni en pasturas mixtas dominadas principalmente por las leguminosas donde por lo general, la respuesta al nutriente no es significativa (Ball y Field, 1982). Es sabido que la fijación de nitrógeno está inversamente afectada por la aplicación del mismo (Scheneiter y Bertín, 2005). En trabajos realizados por González (1982) en praderas de festuca y trébol, constató que al aplicar 30 Kg de N/ha lleva a una reducción de la fijación de nitrógeno de alrededor del 20-30%. En cambio, aplicando 60 Kg de N/ha la fijación de nitrógeno descendió de un 35 a un 25%.

En el cuadro No. 22, se muestra la evaluación de implantación para las distintas pasturas con distintos niveles de nitrógeno analizados.

Cuadro No. 22. Implantación (número de plantas/metro lineal) según interacción pastura-nitrógeno

Pastura	Nitrógeno (kg/ha)	Medias
Mezcla	0	13,2 A
Raigrás	0	11,7 A
Mezcla	64	11,7 A
Raigrás	64	10,5 A

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

Como se puede observar no existen diferencias significativas entre los tratamientos de pasturas mezcla con y sin fertilización como también los tratamientos de pasturas de raigrás con y sin fertilización. Sin embargo los tratamientos de pasturas

mezcla sin fertilización presentaron un valor de media superior al resto de los tratamientos.

Estos resultados no concuerdan con lo esperado de que existiría efectos residuales de los tratamientos mezclas fertilizados frente a los demás tratamientos. A partir de esto se concluyó que no hay una relación directa entre las pasturas y el agregado de N sobre la implantación del cultivo sucesor, dado que se ve sustancialmente afectado por las condiciones climáticas alterando los procesos biológicos existentes.

4.5. BIOMASA

Se realizó un análisis de biomasa de la pastura de moha, analizada el día 1 de abril de 2018. En función del análisis estadístico realizado para este escenario de estudio, se implementó un análisis de varianza, donde fueron 16 las observaciones con un coeficiente de determinación $R^2=0,66$, por otro lado el coeficiente de variación=36,43.

En el cuadro No. 23, se muestra la evaluación de biomasa para las pasturas analizadas.

Cuadro No. 23. Biomasa (kg MS/ha) según pastura

Pastura	Medias
Mezcla	5355,7 A
Raigrás	4287,3 A

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

Como se puede observar no existen diferencias significativas entre tratamientos de pasturas mezcla con respecto a pasturas de raigrás. Sin embargo los tratamientos de pasturas mezcla presentaron un valor de media superior al representado por los de raigrás.

Se espera mayor residualidad de nitrógeno y producciones superiores, en los tratamientos mezcla con referencia a raigrás. Esto no ocurre, dado que se dieron condiciones de sequía, repercutiendo en niveles similares de N previo a la siembra de moha para todos los tratamientos, además afectando la implantación del cultivo estival independientemente del antecesor.

Como se puede apreciar en el cuadro anterior, los rendimientos alcanzados en el cultivo de moha fueron 5355,7 Kg MS/ha para los tratamientos que tuvieron como antecesor a pasturas mezclas y 4287,3 Kg MS/ha para aquellos que provenían con

raigrás como antecesor. Estos resultados son muy inferiores a los obtenidos por MGAP. PROVA (1997) quien logró rendimientos elevados de hasta 9500 Kg MS/ha. Estas variaciones entre lo obtenido en el trabajo y lo que logró este último autor está determinado, entre otros factores, por las condiciones ambientales predominantes durante el ciclo del cultivo. A pesar de que *Setaria itálica* sea considerada como un cultivo más adaptado frente a faltante de agua, en comparación a otros cultivos estivales como maíz y sorgo (Kono et al., citados por Terra et al., 2000), deficiencias hídricas severas como las ocurridas en el experimento, igualmente afectaron en forma importante el rendimiento del cultivo.

Las condiciones imperantes afectaron el rendimiento de todos los tratamientos por igual, esto se generó por faltante de plántulas, desarrollando espacios libres beneficiosos para el ingreso de malezas competidoras, derivando en que no existieran diferencias.

En el cuadro No. 24, se muestra la evaluación de biomasa para los distintos niveles de nitrógeno analizados.

Cuadro No. 24. Biomasa (kg MS/ha) según nitrógeno

Nitrógeno (kg/ha)	Medias
64	4897,8 A
0	4745,2 A

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

Como se puede observar no existen diferencias significativas entre tratamientos sin fertilizar con respecto a tratamientos fertilizados. Sin embargo los tratamientos fertilizados presentaron un valor de media superior al representado por los tratamientos sin fertilizar.

Está comprobado que existe una respuesta positiva al agregado de N, según Mattera et al. (2016) en condiciones similares a las de Uruguay (sitio Rafaela, Argentina) se observó un incremento del 40% de MS en tratamientos con N, por lo cual si bien durante *Setaria itálica* no se fertilizo, podría esperarse que en aquellas parcelas que tuvieron antecesores fertilizados, el rendimiento del siguiente cultivo podría verse incrementado, coincidiendo con una de las hipótesis plantada. Observando el cuadro anterior, se puede afirmar que esto no ocurrió (diferencias no significativas), ya que probablemente las condiciones ambientales adversas como fue la sequía mencionada anteriormente, condicionaron la dinámica del N, provocando que este nutriente no estuviera disponible en cantidades suficientes, tanto para moha con antecesor fertilizado o sin fertilizar.

En el cuadro No. 25, se muestra la evaluación de biomasa para las distintas pasturas con distintos niveles de nitrógeno analizados.

Cuadro No. 25. Biomasa (kg MS/ha) según interacción pastura-nitrógeno

Pastura	Nitrógeno (kg/ha)	Medias
Mezcla	0	5716,5 A
Mezcla	64	4995,0 A
Raigrás	64	4800,7 A
Raigrás	0	3774,0 A

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

Como se puede observar no existen diferencias significativas entre los tratamientos de pasturas mezcla con y sin fertilización como también los tratamientos de pasturas de raigrás con y sin fertilización, a pesar de estos resultados se detecta una diferencia de 2000 kg MS aproximadamente entre el tratamiento mezcla sin N y raigrás sin N, lo cual desde el punto de vista agronómico es relevante, explicado de alguna manera por la variabilidad de los datos.

Estos resultados no concuerdan con lo esperado de que existiría efectos residuales de los tratamientos mezclas fertilizadas frente al resto, ya que no se expresan diferencias significativas. A partir de esto se concluyó que no hay una relación directa entre las pasturas y el agregado de N sobre el rendimiento final de biomasa.

Es importante reiterar que durante el ciclo del cultivo hubieron condiciones ambientales adversas, por lo que no es seguro que esto suceda nuevamente en condiciones ambientales favorables.

5. CONCLUSIONES

Se rechazaron todas las hipótesis planteadas, debido a que no se evidenciaron diferencias significativas en la residualidad de nitrógeno cuando se incorporaron leguminosas a las pasturas de gramínea, tampoco con el agregado exógeno de fertilizante ni con la interacción entre ambas situaciones (leguminosas y fertilización).

Debido al contexto experimental, no fue sorpresa que los resultados del cultivo siguiente a las pasturas invernales presenten valores bajos de implantación y biomasa, no existiendo diferencias significativas entre ellos, como tampoco las hubo en los niveles de densidades aparente y nitrógeno en suelo.

Dado que se utilizaron pasturas invernales de ciclo corto como antecesoras y no se manifestó ningún tipo de residualidad, una alternativa que podría modificar los resultados sería el empleo de pasturas perennes.

Los resultados están afectados notoriamente por las condiciones climáticas imperantes en el periodo de estudio, constatándose déficit hídrico severo, repercutiendo en una mayor proporción de malezas, además el cultivo que se utilizó como testigo fue *Setaria itálica*, un verdeo de verano que presenta ciclo de vida corto. Tal vez en condiciones ambientales adecuadas y con un cultivo de ciclo más largo, las leguminosas tendrían tiempo para liberar el N.

6. RESUMEN

El trabajo fue realizado en la estación experimental de la Facultad de Agronomía Dr. Mario A. Cassinoni (32° 23' 27,1" latitud Sur y 58° 03' 41,76" longitud Oeste), ubicada en el km 363 de la ruta 3 a 8 km de la ciudad de Paysandú, Uruguay. El periodo experimental se extendió entre el 1 de octubre de 2017, hasta el día que se efectuó la medición de nitrógeno final en el suelo posterior a la cosecha del cultivo sucesor (*Setaria itálica*), el día 5 de abril de 2018. El diseño experimental fue de bloques completos al azar, con 4 tratamientos que se repitieron en 4 bloques. Los tratamientos se conforman por diferentes mezclas forrajeras y diferentes niveles de fertilización nitrogenada. Siendo los tratamientos mezclas fertilizadas (M64), mezcla sin fertilizar (M0), raigrás puro sin fertilizar (R0) y raigrás puro fertilizado (R64). La mezcla se compone de *Lolium multiflorum* (cv. LE 284), *Trifolium resupinatum* (cv. Maral) y *Trifolium vesiculosum* (cv. Fertilizeta), con una contribución porcentual de 70, 24, 6 respectivamente, sin agregado de nitrógeno, la misma mezcla con agregado de 64 kg de N. Los tratamientos de *Lolium multiflorum* puro (cv LE 284) sin agregado de N y por ultimo *Lolium multiflorum* puro (cv LE 284) con agregado de 64 kg de N. Finalizado el periodo de pasturas invernales se procedió a la quema de las mismas el día 15 de noviembre de 2017, seguido a esto se llevó a cabo el primer muestreo de suelo realizado para evaluar la cantidad de N total en los primeros 5 cm de cada tratamiento, dicha práctica se realizó en zonas con orina y sin orina. El 5 de diciembre de 2017, un día después del muestreo, se llevó a cabo la siembra de moha, cultivo que sería el testigo a utilizar para determinar la influencia en cuanto a cantidades residuales de N que tuvieron los distintos antecesores, lo que se esperaría ver reflejado en los rendimientos finales de biomasa. Cabe aclarar que luego de la siembra, los tratamientos de aquí en más se manejaron de forma uniforme y sin fertilización de ningún tipo ya que el cometido principal del experimento es evaluar la respuesta del cultivo en cuestión a sus diferentes antecesores. Por ultimo luego de la cosecha de moha, precisamente el día 5 de abril de 2018, se volvió a realizar nuevamente un muestreo de nitrógeno en suelo. Los escenarios de estudio son nitrógeno en suelo con y sin orina previo al cultivo de moha, nitrógeno en suelo sin orina posterior al cultivo de moha, densidad aparente en suelo con y sin orina previo al cultivo de moha, densidad aparente sin orina posterior al cultivo de moha, implantación y biomasa del cultivo en cuestión. Para dichos escenarios se analizó según el tipo de pastura (mezcla o raigrás), luego con agregado de nitrógeno (64 kg/ha) y sin agregado (0 kg/ha) y por último la interacción entre ambas variables, es decir raigrás con y sin agregado de fertilizante y mezcla con y sin agregado de fertilizante. No se registraron superioridades para ninguno de los tratamientos en dichas mediciones contradiciendo las hipótesis planteadas en el trabajo, no existió efecto residual de los tratamientos mezcla frente a los tratamientos de raigrás puro, no existió efecto residual de los tratamientos con fertilización nitrogenada frente a los tratamientos no fertilizados y tampoco existió efecto residual de los tratamientos mezclas fertilizadas frente a los

demás tratamientos sobre el cultivo sucesor. Por otro lado, es importante mencionar que durante el periodo de estudio existió un déficit hídrico severo que afectó los resultados obtenidos en el trabajo.

Palabras clave: Nitrógeno; Residualidad; Raigrás; Mezcla forrajera; Moha.

7. SUMMARY

The work was carried out in the experimental station of the Facultad de Agronomía Dr. Mario A. Cassinoni (32° 23' 27,1" South latitude and 58° 03' 41,76" West longitude), located at km 363 of route 3, 8 km from the city of Paysandú, Uruguay. The experimental period was from October 1st. 2017 until the day when the last nitrogen measurement was made in the soil, after the successor crop was harvested (*Setaria itálica*), on April 5th. 2018. The experimental design was of completely random blocks, with 4 treatments that were repeated in 4 blocks. The treatments consist of different forage mixtures and different levels of nitrogen fertilization. Being the treatments fertilized mixtures (M64), unfertilized mixtures (M0), pure unfertilized ryegrass (R0) and pure fertilized ryegrass (R64). The mixture consists of *Lolium multiflorum* (cv. LE 284), *Trifolium resupinatum* (cv. Maral) and *Trifolium vesiculosum* (cv. Fertizeta), with a percentage contribution of 70, 24 and 6 respectively, without the added nitrogen and the same mixture adding 64 kg of nitrogen. The pure *Lolium multiflorum* (cv LE 284) treatments without the added N and lastly pure *Lolium multiflorum* (cv LE 284) adding 64 kg of N. After the winter pasture period, they were burned on November 15th. 2017, following this the first soil sampling was carried out to evaluate the total amount of N in the first 5 cm of each treatment, this practice took place in areas with urine and without urine. On December 5th. 2017, a day after sampling, the moha sowing was carried out, a crop would be the control used to determine the influence in terms of residual quantities of N that de different predecessors had, which would be expected to be reflected in the final biomass yields. It should be clarified that after sowing, the treatments from now on were handled uniformly and without fertilization of any kind because the main goal of this experiment is to evaluate the crop's response to its different predecessors. Finally, after the moha harvest, precisely on April 5th. 2018, nitrogen sampling was performed in the soil. The study scenarios are nitrogen in soil with and without urine prior to cultivation of moha, nitrogen in soil without urine after cultivation of moha, bulk density in soil with and without urine prior to cultivation of moha, bulk density without urine after cultivation of moha, implantation and biomass of the crop in question. For these scenarios it was analyzed according to the type of pasture (mixture or ryegrass), then adding nitrogen (64 kg/ha) and without adding it (0 kg/ha), and finally the interaction between both variables, i.e. ryegrass with and without incorporated fertilizer and mixture with and without incorporated fertilizer. No superiorities were registered for either treatment in these measurements, contradicting the hypotheses raised in this thesis, there was no residual effect of the mixture treatments compared to the pure ryegrass treatments, there was no residual effect of the treatments with nitrogen fertilization compared to the unfertilized treatments and also there was no residual effect of the fertilized mixtures treatments compared to the other treatments with the successor crop. On the other hand, it is important to mention that during the study period there was a severe water deficit that affected the results obtained in this work.

Keywords: Nitrogen; Residuality; Ryegrass; Forage mixture; Moha.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Aballay, E.; Insunza, V. 2002. Evaluación de plantas con propiedades nematocidas en el control de *Xiphinema index* en vid de mesa cv. Thompson Seedless en la zona central de Chile. *Agricultura Técnica (Chile)*. 62(3): 357-365.
2. Acciaresi, H. A.; Picapietra, G. 2018. Raygrass anual. (en línea). Pergamino, INTA. s.p. Consultado ago. 2019. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_pergamino_raigras_mayo_2018.pdf
3. Acosta, Y. M. 1994. Aspectos básicos del metabolismo del nitrógeno en rumiantes. *In*: Seminario de Actualización Técnica (1994, La Estanzuela, Colonia). Nitrógeno en pasturas. Montevideo, INIA. pp. 57-60 (Serie Técnica no. 51).
4. Agnusdei, M. G.; Colabelli, M. R.; Fernández Grecco, R. C. 2001. Crecimiento estacional de forraje de pasturas y pastizales naturales para el sudeste bonaerense. INTA Balcarce. Boletín Técnico no. 152. 12 p.
5. Albisu, M.; Fernández, P. 2008. Leguminosas. *In*: Rodríguez Rivera, V. M.; Simón Magro, E. eds. Bases de la alimentación humana. La Coruña, España, Netbiblo. pp. 31-43.
6. Alexander, M. 1980. Introducción a la microbiología del suelo. Ciudad de México, A.G.T. 491 p.
7. Altier, N. 2010. Enfermedades de pasturas. *In*: Altier, N.; Rebuffo, M.; Cabrera, K. eds. Enfermedades y plagas en pasturas. Montevideo, INIA. pp. 19-35 (Serie Técnica no. 183).
8. Amigone, M. A.; Kloster, A. M.; Navarro, C.; Bainotti, C. 2008. Forrajeras anuales de invierno. Producción de forraje en el sudeste de Córdoba. INTA Marcos Juárez. Información para extensión no. 120. 5 p.
9. _____; Kloster, A.; Chiacchiera, S.; Conde, M. B.; Masiero, B. 2012. Verdeos de invierno. Producción de forraje de avena, cebada forrajera, triticale y raigrás anual en la EEA INTA Marcos Juárez. INTA Marcos Juárez. Información para extensión no. 139. 9 p.
10. Arce Pinatto, M.; Fernández Fernández, P.; Riccetto Aguirrezabala, S. 2013. Respuesta estival de *Festuca arundinacea*, *Paspalum dilatatum*, *Paspalum notatum* y *Pennisetum purpureum* cv Mott al riego

suplementario. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 133 p.

11. Ate, E.; Servet, A. 2004. Effects of row distances and cutting dates on herb yield and some morphological characters of persian clover (*Trifolium resupinatum* L.). Cuban Journal of Agricultural Science. 38(3): 317-324.
12. Ayala, W.; Carámbula, M. 1994. Respuesta a la fertilización nitrogenada de tres gramíneas sembradas en cobertura. In: Seminario de Actualización Técnica (1994, La Estanzuela, Colonia). Nitrógeno en pasturas. Montevideo, INIA. pp. 43-48 (Serie Técnica no. 51).
13. _____; Bermúdez, R. 2005. Alternativas de alimentación en la recría de corderos durante el verano: resultados preliminares. In: Jornada Anual de Producción Animal (2005, Treinta y Tres). Resultados experimentales. Montevideo, INIA. pp. 33-37 (Actividades de Difusión no. 429).
14. _____; Barrios, E.; Magallanes, J.; Paiva, M. 2014. Utilización de verdeos de verano en la alimentación de corderos. In: Seminario de Actualización Técnica sobre Producción de Carne Ovina de Calidad (2014, Treinta y Tres). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 71-77 (Serie Técnica no. 221).
15. Baethgen, W. E. 1994. Comentarios generales sobre el seminario: nitrógeno en pasturas. In: Seminario de Actualización Técnica (1994, La Estanzuela, Colonia). Nitrógeno en pasturas. Montevideo, INIA. pp. 61-62 (Serie Técnica no. 51).
16. Baker, H. K. 1960. The production of early spring grass. I. The effect of autumn management and different levels of nitrogenous manuring on the production of early spring grass from a general purpose ley. The Journal of the British Grassland Society. 15(4): 275- 280.
17. Ball, P. R.; Field, T. R. 1982. Responses to nitrogen as affected by pasture characteristics, season and grazing management. In: Lynch, P. B. ed. Nitrogen fertilisers in New Zealand agriculture. Wellington, New Zealand, Institute of Agricultural Science. pp. 45-64.
18. _____; Keeney, D. R. 1983. Nitrogen losses from urine-affected areas of a New Zealand pasture under contrasting seasonal conditions. In: International Grassland Congress (14th., 1981, Lexington, KY). Proceedings. Boulder, Colorado, Westview. pp. 342-344.

19. Barbazán, M.; Ferrando, M.; Zamalvide, J. P. 2002. Acumulación de materia seca y nitrógeno en gramíneas anuales invernales usadas como cobertura vegetal en viñedos. *Agrociencia (Uruguay)*. 6(1): 10-19.
20. Bartlett, K.; Mckenzie, S. A. 1982. The use of nitrogen fertiliser by the New Zealand dairy farmer. In: Lynch, P. B. ed. *Nitrogen fertilisers in New Zealand agriculture*. Wellington, New Zealand, Institute of Agricultural Science. pp. 121-132.
21. Bemhaja, M. 1994. Fertilización nitrogenada en sistemas ganaderos. In: Seminario de Actualización Técnica (1994, La Estanzuela, Colonia). *Nitrógeno en pasturas*. Montevideo, INIA. pp. 49-56 (Serie Técnica no. 51).
22. _____. 1996. *INIA Caracé Triticale*. Montevideo, INIA. 11 p. (Serie Técnica no. 77).
23. _____. 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 de Uruguay*. Montevideo, INIA. pp. 109-122 (Boletín de Divulgación no. 76).
24. Blanco, F. 1991. La persistencia y el deterioro de los pastizales. *Pastos y Forrajes*. 14(2): 87-105.
25. Bloem, J.; Ruiter, P.; Koopman, G.; Lebbink, G.; Brussaard, L. 1992. Microbial numbers and activity in dried and rewetted arable soil under integrated and conventional management. *Soil Biology and Biochemistry*. 24(7): 655- 665.
26. Boote, K.; Tollenaar, M. 1991. Modeling genetic yield potencial. In: Boote, K.; Bennett, J. M.; Sinclair, T. R.; Paulson, G. M. eds. *Physiology and determination of crop yield*. Madison, USA, American Society of Agronomy. pp. 533-565.
27. Borrajo, C. I.; Barbera, P.; Bendersky, D.; Pizzio, R.; Ramírez, M.; Maidana, C.; Zapata, P.; Ramírez, R.; Fernández, J. R. 2011. *Verdeos de invierno en Corrientes*. Mercedes, INTA. 22 p. (Serie Técnica no. 49).
28. Botana, A.; Resch, C.; González, L.; Dagnac, T.; Pereira-Crespo, S.; Fernández-Lorenzo, B.; Valladares, J.; Veiga, M.; Flores-Calvete, G. 2016. Efecto de la inclusión de ensilado de leguminosas anuales en la ración del ganado vacuno sobre la producción y el perfil de ácidos grasos de la leche. In: Báez, M. D.; Campo, L.; Pereira, S.; Bande, M. J.; López, J. E. eds. *Innovación sostenible en pastos: hacia una agricultura de respuesta al*

cambio climático. Lugo, España, Sociedad Española para el Estudio de los Pastos. pp. 241-246.

29. Buschiazzo, D. E.; Panigatti, J. L. 1996. Labranza en la región semiárida Argentina. Consideraciones finales. *In*: Buschiazzo, D. E.; Panigatti, J. L.; Babinec, F. eds. Labranzas en la región semiárida Argentina. Santa Rosa, Argentina, s.e. pp. 147-156.
30. Bustos, P. 2002. Caracterización fenológica y agronómicas de leguminosas forrajeras anuales para la zona mediterránea subhúmeda y húmeda de Chile. Tesis Ing. Agr. Chillán, Chile, Universidad Adventista de Chile. Facultad de Agronomía. 70 p.
31. Calegari, A.; Peñalva, M. 1994. Abonos verdes: importancia agroecológica y especies con potencial de usos en Uruguay. Canelones, Uruguay, MGAP. JUNAGRA/GTZ. 151 p.
32. Campillo, R.; Urquiaga, S.; Pino, I.; Montenegro, A. 2003. Estimación de la fijación biológica de nitrógeno en leguminosas forrajeras mediante la metodología del N¹⁵. Agricultura Técnica. 63(2): 169-179.
33. Carámbula, M. 1993. Cultivos forrajeros de alta eficiencia. Montevideo, INIA. 21 p. (Boletín de Divulgación no. 38).
34. _____; Terra, J. 2000. Las sequías: antes, durante y después. Montevideo, INIA. 134 p. (Boletín de Divulgación no. 74).
35. _____. 2002. Pasturas y forrajes: potenciales y alternativas para producir forraje. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. 357 p.
36. Cardozo, R.; Taise, K.; Boggiano, P.; Zanoniani, R.; Cadenazzi, M. 2008. Efecto residual de la fertilización nitrogenada y ofertas de forraje sobre la composición botánica de un campo natural. *In*: Reunión del Grupo Técnico en Forrajeras del Cono Sur en Mejoramiento y Utilización de los Recursos Forrajeros del Área Tropical y Subtropical: Grupo Campos (22^a, 2008, Minas, UY). Trabajos presentados. Minas, Uruguay, s.e. pp. 155-156.
37. Carter, L. P.; School, J. M. 1962. Effectiveness of inorganic nitrogen as a replacement for legumes grown in association with forage grasses. I. Dry matter production and botanical composition. *Agronomy Journal*. 54: 161-163.
38. Castagnara, D. D.; Mesquita, E. E.; Neres, M. A.; Oliveira, P. S. R.; Deminicis, B. B.; Bamberg, R. 2011. Valor nutricional e características estruturais de

gramíneas tropicais sob adubação nitrogenada. Archivos de Zootecnia. 60(232): 931-942.

39. Castillo Gallegos, E.; Valles de la Mora, B.; Mannetje, L.; Aluja Schunemann, A. 2005. Efecto de introducir *Arachis pinto* sobre variables del suelo de pasturas de grama nativa del trópico húmedo mexicano. Técnica Pecuaria en México. 43(2): 287-295.
40. Chao, L.; De Batistta, P.; Santiñaque, F. 1994. Incidence of birdsfoot trefoil crown and root rot in west Uruguay and Entre Rios (Argentina). In: International Lotus Symposium (1st., 1994, s.l.). Proceedings. St. Louis, USA, University of Missouri. pp. 206-209.
41. Chapman, D. F.; Rawnsley, R. P.; Cullen, B. R.; Clark, D. A. 2013. Inter-annual variability in pasture herbage accumulation in temperate dairy regions: causes, consequences, and management tools. In: International Grassland Congress (22nd., 2013, Sydney, Australia). Proceedings. Sydney, Australia, s.e. pp. 798-805.
42. Chebataroff, J. 1969. Relieve y costas. Montevideo, Uruguay, Nuestra Tierra. 68 p. (Nuestra Tierra no. 3).
43. Chiara, G. 1975. Verdeos de invierno. Revista de la Asociación de Ingenieros Agrónomos del Uruguay. no. 2: 25-28.
44. Cowling, D. W. 1961. The effect of white clover and nitrogenous fertilizer on the production of a sward. I. Total anual production. The Journal of the British Grassland Society. 16(4): 281-290.
45. _____. 1962. The effect of white clover and nitrogenous fertilizer on the production of a sward. II. Seasonal production. The Journal of the British Grassland Society. 17(4): 282-286.
46. _____.; Lockyer, D. R. 1965. A comparison of the reaction of different grass species to fertilizer nitrogen and to growth in association with white clover. I. Yield to dry matter. The Journal of the British Grassland Society. 20(3): 197-204.
47. _____. 1966. The response of grass swards to nitrogenous fertilizer. In: International Grassland Congress (10th., 1966, Helsinki, FI). Proceedings. Helsinki, Finland, s.e. pp. 204-209.
48. _____.; Lockyer, D. R. 1967. A comparison of the reaction of different grass species to fertilizer nitrogen and to growth in association with white

clover. II. Yield of nitrogen. The Journal of the British Grassland Society. 22(1): 53-61.

49. Cruz, G.; Bettolli, M. L.; Altamirano, M. A.; Rudorff, F.; Martinez, A.; Arroyo, J.; Armoa, J.; De Torres, M. F.; Tito, P. 2007. Evaluación de la vulnerabilidad actual y futura de los sistemas pastoriles frente a la variabilidad y al cambio climático: caso Uruguay. In: Semana de Reflexión sobre Cambio y Variabilidad Climática (2007, Montevideo, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. pp. 146-173.
50. Davies, D. B.; Payne, D. 1988. Management of soil physical properties. In: Wild, A. ed. Russell's soil conditions and plants growth. Harlow, England, Longman Scientific and Technical. pp. 412-448.
51. Dávila, P.; Sánchez, J.; Cabrera, L. 1993. Las gramíneas: características generales e importancia. Boletín IBUG. 1(6): 397-421.
52. De Wet, J. M. J.; Oestry-Stidd, L. L.; Cubero, J. I. 1979. Origins an evolution of foxtail millets. Journal d'Agriculture Tropicale et de Botanique Appliqué. 26(1): 53-65.
53. Dekker, J. 2003. The foxtail (*Setaria*) species-group. Weed Science. 51(5): 641-656.
54. Del Puerto, O. 1969. Hierbas del Uruguay. Montevideo, Uruguay, Nuestra Tierra. 68 p. (Nuestra Tierra no. 19).
55. Devoto, M.; González, G. 1999. Evaluación del comportamiento productivo de la Moha de Hungría (*Setaria itálica* (L) P. Beauvois) en siembra directa. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 72 p.
56. Díaz Lago, J. E.; García, J. A.; Rebuffo, M. 1996. Crecimiento de leguminosas en La Estanzuela. Montevideo, INIA. 12 p (Serie Técnica no. 71).
57. Díaz Rosselló, R. 1992. Evolución de la materia orgánica en rotación de cultivos con pasturas. Revista INIA de Investigaciones Agronómicas. 1:103-110.
58. Dou, Z.; Fox, R. H.; Toth, J. D. 1994. Tillage effect on seasonal nitrogen availability in corn supplied with legume green manures. Plant and Soil. 162(2): 203-210.
59. Duke, J. A. 1981. Handbook of legumes of world economic importance. New York, Plenum. pp. 181-267.

60. Dyck, E.; Liebman, M. 1994. Soil fertility management as a factor in weed control: the effect of crimson clover residue, synthetic nitrogen fertilizer, and their interaction on emergence and early growth of lambquarters and sweet corn. *Plant and Soil*. 167(2): 227-237.
61. Echeverría, H.; Bergonzi, R. 1995. Estimación de la mineralización de nitrógeno en suelos del sudeste bonaerense. INTA Balcarce. Boletín Técnico no. 135. 15 p.
62. Ernst, O. 2004. Leguminosas como cultivo de cobertura. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. no. 21: 1-9.
63. Felter, D. G.; Lyon, D. J.; Nielsen, D. C. 2006. Evaluating crops for a flexible summer fallow cropping system. *Agronomy Journal*. 98(6): 1510-1517.
64. Fenster, C.; Peterson, G. A. 1979. Effects of no-tillage fallow as compared to conventional tillage in a wheat-fallow system. Nebraska, Agricultural Experiment Station. 28 p. (Research Bulletin no. 289).
65. Fernández Grecco, R. 2001. Efecto de la fertilización nitrogenada invernal sobre la acumulación de forraje de un pastizal natural de la pampa deprimida, Argentina. *Agricultura Técnica*. 61(3): 319-325.
66. Florio, E. L.; Amado, M.; Botta, G.; Tourn, M. 2009. Respuesta del cultivo de moha al sistema de implantación. *Revista Facultad de Agronomía (UBA)*. 29(2): 59-67.
67. Formoso, F. 1995. Bases morfológicas y fisiológicas del manejo de pasturas. *In*: Risso, D.; Berretta, E.; Morón, A. eds. *Producción y manejo de pasturas*. Montevideo, INIA. pp. 1-19 (Serie Técnica no. 80).
68. _____. 2010. Producción de forraje y calidad de verdeos de invierno y otras alternativas de producción otoño-invernales. Montevideo, INIA. 124 p. (Serie Técnica no. 184).
69. Frye, W. W.; Blevins, R. L. 1989. Economically sustainable crop production with legume cover crops and conservation tillage. *Journal of Soil and Water Conservation*. 44(1): 57-60.
70. García, F. 1996. El ciclo del nitrógeno en ecosistemas agrícolas. INTA Balcarce. Boletín Técnico no. 140. 11 p.
71. García, J.; Labandera, C.; Pastorini, D.; Curbelo, S. 1994. Fijación de nitrógeno por leguminosas en La Estanzuela. *In*: Seminario de Actualización Técnica (1994, La Estanzuela, Colonia). *Nitrógeno en pasturas*. Montevideo, INIA. pp. 13-18 (Serie Técnica no. 51).

72. _____. 2003. Crecimiento y calidad de gramíneas forrajeras en La Estanzuela. Montevideo, INIA. 35 p. (Serie Técnica no. 133).
73. García Favre, J. H. 2016. Producción primaria y efectos residuales de raigrás anual mediante distintas intervenciones: agregado de N y/o incorporación de leguminosas anuales. Tesis Magister en Ciencias Agrarias. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 83 p.
74. García Lamothe, A. 2004. Manejo de la fertilización con nitrógeno en trigo y su interacción con otras prácticas agronómicas. Montevideo, INIA. 57 p. (Serie Técnica no. 144).
75. García Préchac, F. 1992. Propiedades físicas y erosión en rotaciones de cultivos y pasturas. Revista INIA Investigaciones Agronómicas. 1: 127-140.
76. _____.; Ernst, O.; Siri-Prieto, G.; Terra, J. 2004. Integrating no-till into crop-pasture rotations in Uruguay. Soil and Tillage Research. 77(1): 1-13.
77. Gardner, A.; Centeno, G.; De Lucia, G.; Alburquerque, H. 1968. Comportamiento de once variedades de *Lotus corniculatus* en La Estanzuela. CIAAB. Boletín Técnico no. 8. 23 p.
78. Glinski, J.; Lipiec, J. 1990. Soil physical conditions and plant roots. Boca Raton, FL, USA, CRC. 260 p.
79. González Rodríguez, A. 1982. Respuesta de la pradera mixta a la aplicación de nitrógeno. Fijación de nitrógeno. Pastos. 12(1): 107-118.
80. Grable, A. R.; Willhite, F. M.; Mccuiston, W. L. 1965. Hay production and nutrient uptake at altitudes in Colorado with different grasses in conjunction with alsike clover or nitrogen fertilizer. Agronomy Journal. 57(6): 543-547.
81. Green, J. O.; Cowling, D. W. 1960. The nitrogen nutrition of grassland. In: International Grassland Congress (8th., 1960, Reading, UK). Proceedings. Reading, United Kingdom, s.e. pp. 126-129.
82. Griffin, T.; Liebman, M.; Jemison, J. 2000. Cover crops for sweet corn production in a short-season environment. Agronomy Journal. 92(1): 144-151.
83. Hamilton, R. I.; Scholl, J. M.; Pope, A. L. 1969. Performance of three grass species grown alone and with alfalfa under intensive pasture management: animal and plant response. Agronomy Journal. 61(3): 357-361.

84. Harrington, H. D. 1977. How to identify grasses and grasslike plants. Chicago, USA, Shallow. 164 p.
85. Harris, G. H.; Hester, O. B. 1990. Quantifying the nitrogen contribution from alfalfa to soil and two succeeding crops using nitrogen-15. *Agronomy Journal*. 82(1): 129-134.
86. Havlin, J.; Kissel, D. E.; Maddux, L. D.; Claasen, M. M.; Long, J. 1990. Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen. *Soil Science Society of America Journal*. 54(2): 448-452.
87. Henzell, E. F. 1963. Nitrogen fertilizer responses of pasture grasses in south-eastern Queensland. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 3(11): 290-299.
88. Herriott, J. B. D.; Wells, D. 1960. Clover nitrogen and sward productivity. *The Journal of the British Grassland Society*. 15(1): 63-69.
89. Hoyt, G. D. 1987. Legumes as a green manure in conservation tillage. *In*: Power, J. F. ed. *The role of legumes in conservation tillage systems*. Ankeny, USA, Soil Conservation Society of America. pp. 96-98.
90. Häusling, M. 2010. Draft Report on the EU protein deficit: what solution for a long-standing problem? (2010/2111(INI)). (en línea). Brussels, Belgium, European Parliament. 10 p. Consultado 10 ago. 2019. Disponible en <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//NONSGML+COMPARL+PE-450.760+01+DOC+PDF+V0//EN&language=EN>
91. Hunt, V. 1973. Studies in response to nitrogen. Part 3. The development of response to fertilizer nitrogen in primary growth of ryegrass. *The Journal of the British Grassland Society*. 28(2): 109-118.
92. INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, UY). 2012. Bases del llamado a interesados para la producción y comercialización de semilla del cultivar de *Trifolium resupinatum* LE 90-33. (en línea). Montevideo. pp. 5-7. Consultado 27 may. 2019. Disponible en http://www.inia.org.uy/estaciones/las_brujas/actividades/documentos/resupinatum.pdf
93. Jansson, S. L.; Persson, J. 1982. Mineralization and immobilization of soil nitrogen. *In*: Stevenson, F. J. ed. *Nitrogen in agricultural soils*. Madison, USA, ASA. pp. 229-252 (Monography no. 22).

94. Kaltofen, H.; Kreil, W.; Kasdorff, K.; Leistner, J. 1966. The effect of heavy doses of nitrogen applied to pasture in spring compared with split applications given during the vegetative period. In: International Grassland Congress (10th., 1966, Helsinki, FI). Proceedings. Helsinki, Finland, s.e. pp. 231-234.
95. Keller, T.; Håkansson, I. 2010. Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content. *Geoderma*. 154(3-4): 398-406.
96. Kellogg, C. E. 1948. Grass and the soil. In: The yearbook of agriculture. Washington, D. C., USA, USDA. pp. 49-55.
97. Klik, A.; Rosner, J.; Loiskandl, W. 1998. Effects of temporary and permanent soil cover on grappe yield and soil chemical and physical properties. *Journal of Soil and Water Conservation*. 53(3): 249-253.
98. Kramer, P. J.; Boyer, J. S. 1995. Roots and root systems. In: Boyer, J.; Kramer, P. eds. Water relations of plants and soils. San Diego, USA, Academic Press. pp. 115-121.
99. Kretschmer Jr, A. E. 1998. Consideraciones sobre factores que afectan la persistencia de leguminosas forrajeras tropicales. *Pasturas Tropicales*. 10(1): 28-33.
100. Kumar, K.; Goh, K. M. 1999. Crop residues and management practices: effects on soil quality, soil nitrogen dynamics, crop yield, and nitrogen recovery. *Advances in Agronomy*. 68: 197-319.
101. Kutuzova, A. A. 1966. Utilization of nitrogen from legumes on cultivated pastures in the central regions of the forest zone of the U.S.S.R. In: International Grassland Congress (10th., 1966, Helsinki, FI). Proceedings. Helsinki, Finland, s.e. pp. 191-194.
102. Labandera, M. 2000. Comportamiento de cultivares. In: Rebuffo, M.; Risso, D. F.; Restaino, E. eds. Tecnología en alfalfa. Montevideo, INIA. pp. 17-26 (Boletín de Divulgación no. 69).
103. Ladd, J. N.; Amato, M.; Oades, J. M. 1985. Decomposition of plant material in Australian soil. III. Residual organic and microbial biomass C and N from isotope-labelled legume material and soil organic matter, decomposing under field conditions. *Australian Journal of Soil Research*. 23(4): 603-611.

104. Langer, R. H. M. 1981. Las pasturas y sus plantas: especies y variedad de gramíneas. Montevideo, Uruguay, Hemisferio sur. 514 p.
105. Lascano, C. E.; Ávila, P. 1991. Potencial de producción de leche en pasturas solas y asociadas con leguminosas adaptadas a suelos ácidos. *Pasturas Tropicales*. 13(3): 2-10.
106. Lazaridou, M.; Kostopoulou, P.; Karatassiou, M.; Merkouropoulos, G. 2012. Comparative investigation of physiological responses of field-grown. *African Journal of Range and Forage Science*. 29(3): 147-152.
107. Lemaire, G.; Salette, J. 1984. Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères. I.- Etude de l'effet du milieu. *Agronomie*. 4(5): 423-430.
108. Lloveras, J. 1987. Traditional cropping systems in northwestern Spain (Galicia). *Agricultural Systems*. 23(4): 259-275.
109. Loi, A.; Nutt, B. J.; Rewell, C. K. 2008. Domestication of new annual pasture legumes for resilient Mediterranean farming systems. *Options Méditerranéennes*. no. 79: 363-371.
110. Lowe, J. 1966. Output of pastures under a clover nitrogen regime in Northern Ireland. *In: International Grassland Congress (10th, 1966, Helsinki, FI). Proceedings*. Helsinki, Finland, s.e. pp. 187-191.
111. Lucero, D. W.; Grieu, P.; Guckert, A. 2000. Water deficit and plant competition effects on growth and water-use efficiency of white clover (*Trifolium repens*, L.) and ryegrass (*Lolium perenne*, L.). *Plant and Soil*. 227(1-2): 1-15.
112. Mannetje, L. t. 1991. Productividad y persistencia de las leguminosas y su adopción en pasturas tropicales. *In: Contribución de las Pasturas Mejoradas a la Producción Animal en el Trópico (80^o, 1989, Cali, Colombia). Memorias*. Cali, Colombia, CIAT. pp. 25-38.
113. Mansoer, Z.; Reeves, D. W.; Wood, C. W. 1997. Suitability of sunn hemp as an alternative late-summer legume cover crop. *Soil Science Society of America Journal*. 61(1): 246-253.
114. Marino, M. A.; Mazzanti, A.; Echeverría, H. E. 1995. Fertilización nitrogenada de cultivos forrajeros anuales de invierno en el sudeste bonaerense. 1. Crecimiento y acumulación de forraje. *Revista Argentina de Producción Animal*. 15(1): 179-182.

115. _____.; _____.; _____.; Andrade, F. 1996. Fertilización nitrogenada de cultivos forrajeros invernales. 1. Acumulación de forraje. Revista Argentina de Producción Animal. 16(1): 248-249.
116. Martin, T. W. 1960. The role of white clover in grassland. Herbage Abstracts. 30(3): 159-164.
117. Mattera, J.; Martinez, E.; Romero, L.; Velazco, J. 2016. Evaluación productiva de moha bajo diferentes manejos agronómicos en dos ambientes de la región pampeana. Revista de Investigaciones Agropecuarias. 10(32): 44-46.
118. Mazzanti, A.; Wade, M. H.; García, S. C. 1997. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento y la calidad del forraje de raigrás anual cv. Grasslands Tama. Revista Argentina de Producción Animal. 17: 25-32.
119. Mejía-Saulés, M. T.; Dávila, P. 1992. Gramíneas útiles de México. Ciudad de México, UNAM. Instituto de Biología. 295 p. (Cuadernos no. 16).
120. Mendelevich, G. I.; De Battista, J. P.; Mistrorigo, D.; Costa, M. C. 1997. Respuesta a la fertilización nitrogenada en moha de Hungría (*Setaria italica* L. Beauv). 1. Producción y calidad de forraje. In: Congreso Binacional de Producción Animal Argentina-Uruguay (1º., 1997, Paysandú, Uruguay). Trabajos presentados. Revista Argentina de Producción Animal. 17 (supl. 1): s.p.
121. MGAP (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, UY). 1997. Moha: una contribución a su conocimiento. Montevideo. 23 p.
122. _____. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2018. Anuario estadístico agropecuario. Montevideo. 211 p.
123. Minson, D. J. 1967a. The voluntary intake and digestibility in sheep of chopped and pelleted *Digitaria decumbens* (pangola grass) following a late application of fertilizer nitrogen. British Journal of Nutrition. 21(3): 587-597.
124. _____.; Milford, R. 1967b. The voluntary intake and digestibility of diets containing different proportions of legume and mature pangola grass (*Digitaria decumbens*). Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry. 7(29): 546-551.

125. Moliterno, E. A. 2000. Caracterización de la producción inicial de diversas mezclas forrajeras. *Agrociencia* (Uruguay). 4(1): 31-49.
126. Moreyra, F.; Conti, V.; González, G.; Vallati, A.; Giménez, F. 2014. Mejoramiento de verdeos de invierno. Generalidades de los verdeos de invierno: características de las especies, usos, similitudes y diferencias. In: Ortellado, M. R. ed. Utilización de verdeos de invierno en planteos ganaderos del sudoeste bonaerense. Bordenave, Argentina, INTA. pp. 5-7.
127. Morón, A. 1994. El ciclo del nitrógeno en el sistema suelo-planta-animal. In: Seminario de Actualización Técnica (1994, La Estanzuela, Colonia). Nitrógeno en pasturas. Montevideo, INIA. pp. 1-12 (Serie Técnica no. 51).
128. Mulder, E. G. 1952. Fertilizer vs legume nitrogen for grasslands. In: International Grassland Congress (6th., 1952, Pennsylvania, USA). Proceedings. Groningen, Netherlands, s.e. pp. 740-748.
129. Nelson, R.; Kokic, P.; Meinke, H. 2007. From rainfall to farm incomes-transforming advice for Australian drought policy. II. Forecasting farm incomes. *Australian Journal of Agricultural Research*. 58(10): 1004-1012.
130. Oelke, E. A.; Oplinger, E. S.; Putnam, D. H.; Durgan, B. R.; Doll, J. D.; Undersander, D. J. 1990. *Alternative Field Crops Manual: millets*. (en línea). s.l., University of Minnesota. s.p. Consultado 1 jul. 2019. Disponible en <https://hort.purdue.edu/newcrop/afcm/millet.html>
131. Ojuez, C.; Lauric, A.; Siolotto, R.; Ferraris, G.; Scheneiter, O. 2006. Efecto del barbecho y la fertilización nitrogenada sobre la producción de forraje de raigrás anual. In: Méndez, D. ed. Proyecto regional ganadero: mejoramiento de los sistemas ganaderos y ganaderos mixtos en el centro regional Buenos Aires Norte. Gral. Villegas, INTA. pp. 44-47.
132. Ovalle, C.; Bustos, P.; Del Pozo, A.; Avendaño, J.; Arredondo, S. 2003. Caracterización preliminar de una conexión de leguminosas forrajeras anuales para la zona mediterránea de Chile. *Agricultura Técnica (Chile)*. 63(2): 156-168.
133. _____; Del Pozo, A.; Avendaño, J.; Fernández, F.; Arredondo, S. 2005a. Adaptación, crecimiento y producción de nuevas leguminosas forrajeras anuales en la zona mediterránea de Chile. II. Comportamiento de las especies en suelos graníticos del secano interior subhúmedo. *Agricultura Técnica (Chile)*. 65(3): 265-277.

134. _____.; _____.; Arredondo, S.; Chavarría, J. 2005b. Crecimiento y producción de nuevas leguminosas forrajeras anuales en la zona mediterránea de Chile. I. Comportamiento de las especies en la precordillera andina. *Agricultura Técnica (Chile)*. 65(1): 35-47.
135. _____.; Urquiaga, S.; Del Pozo, A.; Zagal, E.; Arredondo, S. 2006. Nitrogen fixation in six forage legumes in mediterranean central Chile. *Soil and Plant Science*. 56(4): 277-283.
136. _____.; Del Pozo, A.; Fernández, F.; Chavarría, J.; Arredondo, S. 2010. Arrowleaf clover (*Trifolium vesiculosum* Savi): a new species of anual legumes for high rainfall areas of the mediterranean climate zone of Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 70(1): 170-177.
137. _____. 2011. Especies y variedades de praderas permanentes para sistemas silvopastorales en la zona Centro-Sur de Chile. *In*: Ruiz, C. ed. Recomendación de praderas para sistemas silvopastorales en la zona Centro-Sur de Chile. Chillán, Chile, Instituto de Investigaciones Agropecuarias. pp. 8-18 (Serie Actas no. 46).
138. Perdomo, C.; Barbazán, M. 1999. Nitrógeno. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 72 p.
139. Pereira-Crespo, S.; Valladares, J.; Flores, G.; Díaz, N.; Fernández-Lorenzo, B.; Resch, C.; González-Arráez, A.; Bande-Castro, M. J.; Rodríguez-Diz, X. 2012. Rendimiento y valor nutritivo de nuevas leguminosas anuales como cultivo de invierno en rotaciones forrajeras intensivas en Galicia. *Pastos*. 42(1): 29-50.
140. _____.; Valladares, J.; Díaz, N.; Díaz, D.; Fernández-Lorenzo, B.; Resch, C.; Dagnac, T.; Botana, A.; Veiga, M.; Flores-Calvete, G. 2016. Predicción de la composición botánica de mezclas forrajeras con leguminosas anuales y raigrás mediante NIRS. *In*: Báez, M. D.; Campo, L.; Pereira-Crespo, S.; Bande, M. J.; López, J. E. eds. Innovación sostenible en pastos: hacia una agricultura de respuesta al cambio climático. Lugo, España, Sociedad Española para el Estudio de los Pastos. pp. 93-98.
141. Perrachón, J. 2009. Pensemos en los verdes de invierno. *Revista del Plan Agropecuario*. no.132: 42-46.
142. _____. 2010. Verdes de verano. Un seguro para épocas difíciles. *Revista del Plan Agropecuario*. no.135: 61-65.

143. _____. 2017. Criterios para la fertilización de verdeos de invierno. *Revista del Plan Agropecuario*. no.162: 60-64.
144. Peterson, M. L.; Bendixen, L. E. 1961. Plant competition in relationship to nitrogen economy. *Agronomy Journal*. 53(1): 45-49.
145. Prasada Rao, K. E.; De Wet, J. M. J.; Brink, D. E.; Menguesha, M. H. 1987. Intraspecific variation and systematics of cultivated *Setaria itálica*, foxtail millet (Poaceae). *Economic Botany*. 41(1): 108-116.
146. Prins, W. H.; Van Burg, P. F. J.; Wieling, H. 1980. The seasonal response of grassland to nitrogen at different intensities of nitrogen fertilization, with special reference to methods of response measurements. In: International Symposium of the European Grassland Federations (1980, Wageningen, NL). Proceedings. Wageningen, The Netherlands, s.e. pp. 35-49.
147. Quiroga, A. R.; Buschiazzo, D. E.; Peinemann, N. 1998. Management discriminant properties in semiarid soils. *Soil Science*. 163(7): 591-597.
148. Ramage, C. H.; Eby, C.; Mather, R. E.; Purvis, E. R. 1958. Yield and chemical composition of grasses fertilized heavily with nitrogen. *Agronomy Journal*. 50(2): 59-62.
149. Ranells, N. N.; Waggoner, M. G. 1992. Nitrogen release from crimson clover in relation to plant growth stage and composition. *Agronomy Journal*. 84(3): 424-430.
150. Ré, A. E. 2013. Forrajeras megatérmicas: alternativas de uso en la provincia de Entre Ríos. In: Jornada Forrajeras Tropicales (58^a., 2013, Rafaela, AR). Memorias. Rafaela, Argentina, INTA. pp. 1-10.
151. Rebuffo, M. 2000. Adopción de variedades en Uruguay. In: Rebuffo, M.; Risso, D. F.; Restaino, E. eds. Tecnología en alfalfa. Montevideo, INIA. pp. 5-16 (Boletín de Divulgación no. 69).
152. _____.; Bemhaja, M.; Risso, D. F. 2006. Utilization of forage legumes in pastoral systems: state of art in Uruguay. *Lotus Newsletter*. 36(1): 22-33.
153. _____.; Altier, N.; Cuitiño, M. J. 2010. La resistencia a enfermedades en el mejoramiento genético de leguminosas forrajeras. In: Altier, N.; Rebuffo, M.; Cabrera, K. eds. Enfermedades y plagas en pasturas. Montevideo, INIA. pp. 37-49 (Serie Técnica no. 183).
154. Reeves, D. W.; Wood, C. W.; Touchton, J. T. 1993. Timing nitrogen applications for corn in a winter legume conservation-tillage system. *Agronomy Journal*. 85(1): 98-106.

155. Reid, D. 1966. The response of herbage yields and quality to a wide range of nitrogen application rates. In: International Grassland Congress (10th., 1966, Helsinki, FI). Proceedings. Helsinki, Finland, s.e. pp. 209-213.
156. Reyes, C.; Malán, R. 1997. Efecto de diferentes manejos de suelo en el rendimiento de un cultivo de zanahoria (*Daucus carota*, L.) y en las propiedades químicas y físicas del suelo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 119 p.
157. Richards, I. R. 1977. Influence of soil and sward characteristics on the response to nitrogen. In: International Meeting on Animal Production From Temperate Grassland (1977, Dublin, IRL). Proceedings. Dublin, Ireland, Irish Grassland and Animal Production Association. pp. 45-49.
158. Risser, P. G. 1988. Diversity in and among grasslands. In: Wilson, E. O. ed. Biodiversity. Washington, USA, National Academy of Science. pp. 176-180.
159. Rojas Hernández, S.; Olivales Pérez, J.; Jiménez Guillén, R.; Hernández Castro, E. 2005. Manejo de praderas asociadas de gramíneas y leguminosas para pastoreo en el trópico. Revista Electrónica de Veterinaria REDVET. 6(5): 1-20.
160. Rovira, P.; Echeverría, J. 2013. Desempeño productivo de novillos pastoreando sudangrass o sorgo forrajero nervadura marrón (BMR) durante el verano. Revista Veterinaria. 24(2): 91-96.
161. Rubio, A. M. 2010. La densidad aparente en suelos forestales del Parque Natural Los Alcornocales. Proyecto fin de carrera para optar al título de Ingeniero Técnico Agrícola, especialidad en Explotaciones Agropecuarias. Sevilla, España. Universidad de Sevilla. 96 p.
162. Russell, E. J.; Russell, E. W. 1964. Las condiciones del suelo y el desarrollo de las plantas. 3^a. ed. Madrid, Aguilar. 771 p.
163. Salcedo Díaz, G.; Villar Bonet, A.; Doltra Bregón, J. 2016. Perfil de ácidos grasos en la leche de vaca pastando triticales con o sin *Trifolium incarnatum*. In: Báez, M. D.; Campo, L.; Pereira, S.; Bande, M. J.; López, J. E. eds. Innovación sostenible en pastos: hacia una agricultura de respuesta al cambio climático. Lugo, España, Sociedad Española para el Estudio de los Pastos. pp. 227-234.
164. Sawchik, J. 2001. Dinámica del nitrógeno en la rotación cultivo-pastura bajo laboreo convencional y siembra directa. In: Díaz Roselló, R. ed. Siembra directa en el cono Sur. Montevideo, Uruguay, PROCISUR. pp. 323-345.

165. Schargel, R.; Delgado, F. 1990. Características y manejo de los suelos utilizados en la producción de bovinos de carne en Venezuela. *In*: Cursillo sobre Bovinos de Carne (6°. , 1990, Maracay, Venezuela). Trabajos presentados. Maracay, Venezuela, UCV. FCV. pp. 187-220.
166. Scheneiter, J. O.; Bertín, O. D. 2005. Fertilización en pasturas mixtas. (en línea). Pergamino, INTA. 4 p. Consultado 18 ago. 2019. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_fertilizacion/11-fertilizacion_pasturas_mixtas.pdf
167. Schmidt, D. R.; Tenpas, G. H. 1965. Seasonal response of grasses fertilized with nitrogen compared to a legume-grass mixture. *Agronomy Journal*. 57(5): 428-431.
168. Schnyder, H.; Schäufele, R.; Visser, R.; Nelson, C. J. 1999. An integrated view of C and N uses in leaf growth zones of defoliated grasses. *In*: International Symposium on Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology (1999, Curitiba, BR). Proceedings. Curitiba, Brazil, CABI. pp. 41-60.
169. Sears, P. D. 1960. Grass-clover relationships in New Zealand. *In*: International Grassland Congress (8th. , 1960, Reading, UK). Proceedings. Reading, United Kingdom, s.e. pp. 130-133.
170. Simpson, J. R. 1962. Mineral nitrogen fluctuations in soils under improved pasture in southern New South Wales. *Australian Journal of Agricultural Research*. 13: 1059-1072.
171. _____; Stobbs, T. H. 1981. Nitrogen supply and animal production from pastures. *In*: Morley, F. H. W. ed. *Grazing animals*. Amsterdam, Holland, Elsevier. pp. 261-287 (World Animal Science B1).
172. Smith, M. S.; Frye, W. W.; Varco, J. J. 1987. Legume winter cover crops. *Advances in Soil Science*. 7: 95-139.
173. Stockdale, C. 1993. The nutritive value of persian clover (*Trifolium resupinatum*) herbage grown under irrigation in northern Victoria. *Australian Journal of Agricultural Research*. 44(7): 1557-1576.
174. Stute, J. K.; Posner, J. L. 1995. Synchrony between legume nitrogen release and corn demand in the Upper Midwest. *Agronomy Journal*. 87(6): 1063-1069.

175. Sullivan, P. 2003. Overview of cover crops and green manures: fundamentals of sustainable agriculture. (en línea). Fayetteville, Arkansas, USA, Appropriate Technology Transfer for Rural Areas. 16 p. Consultado ago. 2019. Disponible en <https://cpb-us-e1.wpmucdn.com/blogs.cornell.edu/dist/e/4211/files/2014/04/Overview-of-Cover-Crops-and-Green-Manures-19wvmad.pdf>
176. Suriyagoda, L. D. B.; Megan, H. R.; Renton, M.; Lambers, H. 2011. Above-and belowground interactions of grass and pasture legume species when grown together under drought and low phosphorus availability. *Plant and Soil*. 348(1-2): 281-297.
177. Taboada, M.; Álvarez, C. R. 2008. Fertilidad física de los suelos. Buenos Aires, Argentina, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. 237 p.
178. Terra, J. A.; Scaglia, G.; García Préchac, F. 2000. Moha: características del cultivo y comportamiento en rotaciones forrajeras con siembra directa. Montevideo, INIA. 62 p. (Serie Técnica no. 111).
179. Thompson, L. M.; Troeh, F. R. 1988. Los suelos y su fertilidad. 4^a. ed. Barcelona, España, Reverté. 649 p.
180. Thorp, J. 1948. How soils develop under grass. In: *The yearbook of agriculture*. Washington, D. C., USA, U. S. Government Printing Office. pp. 55-66.
181. UPNA (Universidad Pública de Navarra, España). s.f. *Trifolium resupinatum*. (en línea). Tudela. s.p. Consultado 27 may. 2019. Disponible en https://www.unavarra.es/herbario/pratenses/htm/Trif_resu_p.htm .
182. Urzúa, H. 2005. Beneficios de la fijación simbiótica de nitrógeno en Chile. *Ciencia e Investigación Agraria*. 32(2): 133-150.
183. Valladares, J.; Pereira-Crespo, S.; Flores, G.; Díaz, N.; Fernández, B.; Resch, C.; González-Arráez, A.; Bande-Castro, M. J.; Rodríguez-Diz, X.; Piñeiro, J. 2012. New annual legumes as winter crops for intensive forage rotations in Galicia (NW Spain). I. Dry matter yield. *Options Méditerranéennes*. no. 102: 245-249.
184. Van Burg, P. J. F. 1960. Nitrogen fertilization and the seasonal production of grassland herbage. In: *International Grassland Congress (8th., 1960, Reading, UK)*. Proceedings. Reading, United Kingdom, s.e. pp. 142-146.
185. Varco, J.; Frye, W.; Smith, M.; Mackown, C. 1993. Tillage effects on legume decomposition and transformation of legume and fertilizer nitrogen-15. *Soil Science Society of America Journal*. 57(3): 750-756.

186. Vaughan, J. D.; Evanylo, G. K. 1998. Corn response to cover crop species, spring desiccation time, and residue management. *Agronomy Journal*. 90(4): 536-544.
187. Vaz Martins, D.; Ibáñez, V. 2004. Moha: ¿cuándo se debe cortar para heno? *Revista del Plan Agropecuario*. no. 108: 50-53.
188. Vázquez, M. E.; Barberis, L. A. 1982. Variación estacional de la concentración de nitratos en suelo. INTA. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. 17(1): 13-22.
189. Vázquez-Penas Suárez, V. 2012. Efecto del tipo de pasto sobre el perfil de ácidos grasos de la leche de vacuno. Tesis de Master en Producción Animal. Valencia, España. Universitat Politècnica de Valencia. 60 p.
190. Veiga, M.; Botana, A.; Resch, C.; Pereira-Crespo, S.; Dagnac, T.; Valladares, J.; Díaz, N.; Fernández-Lorenzo, B.; Flores-Calvete, G. 2016. Comparación de una mezcla de tréboles anuales con raigrás inglés en un sistema de pastoreo con vacas de leche. In: Báez, M. D.; Campo, L.; Pereira, S.; Bande, M. J.; López, J. E. eds. *Innovación sostenible en pastos: hacia una agricultura de respuesta al cambio climático*. Lugo, España, Sociedad Española para el Estudio de los Pastos. pp. 235-240.
191. Vera, R. R. 1997. Reproducción del ganado de carne en pasturas de la altillanura de los llanos orientales de Colombia: elemento para la toma de decisiones. *Pasturas Tropicales*. 19(2): 2-11.
192. Vicente-Chandler, J.; Silva, S.; Figarella, J. 1959. The effect of nitrogen fertilization and frequency of cutting on the yield and composition of three tropical grasses. *Agronomy Journal*. 51(4): 202-206.
193. Vyn, T. J.; Faver, J. G.; Janovicek, K. J.; Beauchamp, E. G. 2000. Cover crop effects on nitrogen availability to corn following wheat. *Agronomy Journal*. 92(5): 915-924.
194. Wagger, M. G. 1989. Time of desiccation effects on plant composition and subsequent nitrogen release from several winter annual cover crops. *Agronomy Journal*. 81(2): 236-241.
195. Wagner, R. E.; Wilkins, H. L. 1947. The effect of legumes on the percentage of crude protein in orchard grass and bromegrass at Beltsville, Md. during 1945. *Agronomy Journal*. 39(2): 141-145.

196. Walker, T. W.; Orchiston, H. D.; Adams, H. F. R. 1954. The nitrogen economy of grass legume associations. *The Journal of the British Grassland Society*. 9(4): 249-274.
197. Wang, R. L.; Wendell, J.; Dekker, J. 1995. Weedy adaptation in *Setaria spp.* I. Isozyme analysis of the genetic diversity and population genetic structure in *Setaria viridis*. *American Journal of Botany*. 82(3): 308-317.
198. Washko, J. B.; Marriott, L. F. 1960. Yield and nutritive value of grass herbage as influenced by nitrogen fertilization in the northeastern United States. In: International Grassland Congress (8th., 1960, Reading, UK). Proceedings. Reading, United Kingdom, s.e. pp. 137-141.
199. Wedin, W. F. 1965. Legume and inorganic nitrogen for pasture swards in subhumid, microthermal climates of United States. In: International Grasslands Congress (9th., 1965, Sao Paulo, BR). Proceedings. Sao Paulo, Brazil, s.e. s.p.
200. White, R. E.; Helyar, K. R.; Ridley, A. M.; Chen, D.; Heng, L. K.; Evans, J.; Fisher, R.; Hirth, J. R.; Mele, P. M.; Morrison, G. R.; Cresswell, H. P.; Paydar, Z.; Dunin, F. X.; Dove, H.; Simpson, R. J. 2000. Soil factors affecting the sustainability and productivity of perennial and annual pastures in the high rainfall zone of southeastern Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 40(2): 267-283.
201. Whitehead, D. C. 1970. The role of nitrogen in grassland productivity. Commonwealth Bureau of Pastures and Field Crops. Bulletin no. 48. 210 p.
202. Wilman, D. 1965. The effect of nitrogenous fertilizer on the rate of growth of italian ryegrass. *The Journal of the British Grassland Society*. 20(4): 248-254.
203. Wilson, D. O.; Hargrove, W. L. 1986. Release of nitrogen from crimson clover residue under two tillage systems. *Soil Science Society of America Journal*. 50(5): 1251-1254.
204. Wolf, B.; Snyder, G. 2003. Sustainable soils: the place of organic matter in sustainable soils and their productivity. Boca Raton, FL, USA, CRC. 376 p.
205. Wolton, K. M.; Brockman, J. S. 1970. The effect of fertilizer nitrogen and white clover on herbage production. *The Journal of the British Grassland Society*. 25(1): 7-19.

206. Zanoniani, R.; Noëll, S. 2003. Verdeos en invierno. Facultad de Agronomía. EEMAC. Cartilla no. 2. pp. 1-7.
207. _____. 2010. Estado actual del conocimiento en producción de pasturas, brecha tecnológica. *Agrociencia (Uruguay)*. 14(3): 26-30.
208. _____.; Boggiano, P.; Cadenazzi, M. 2011. Respuesta invernal de un campo natural a fertilización nitrogenada y ofertas de forraje. *Agrociencia (Uruguay)*. 15(1): 115-124.
209. Zaragoza, C. 1997. El laboreo de conservación en el viñedo. *Viticultura Enología Profesional*. no. 53: 6-13.
210. Zarza, R.; Durán, H.; Rossi, C.; La Manna, A. 2011. El uso estratégico de verdeos de invierno como herramienta para dar solución a la escasez de forraje. *In: Jornada Técnica (2011, La Estanzuela, Colonia, UY). Memorias*. Montevideo, Uruguay, INIA. pp. 55-61.

9. ANEXOS

Anexo No. 1.

Nitrógeno con orina previo al cultivo de moha

N-NO₃ (kg/ha) 5cm

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	1187,28	6	197,88	0,68	0,6714
Bloque	627,84	3	209,28	0,72	0,5657
Pastura	181,58	1	181,58	0,62	0,4502
Fertilización (kg N)	109,73	1	109,73	0,38	0,5546
Pastura*fertilización	268,14	1	268,14	0,92	0,3625
Error	2622,21	9	291,36		
<u>Total</u>	<u>3809,49</u>	<u>15</u>			

Test:Tukey Alfa=0,10 DMS=32,09973

Error: 291,3562 gl: 9

Bloque Medias n E.E.

3,00 22,05 4 8,53 A

1,00 10,05 4 8,53 A

4,00 8,80 4 8,53 A

2,00 5,48 4 8,53 A

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

Test:Tukey Alfa=0,10 DMS=15,64485

Error: 291,3562 gl: 9

Pastura Medias n E.E.

Raigrás 14,96 8 6,03 A

Mezcla rg+leg 8,23 8 6,03 A

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

Test:Tukey Alfa=0,10 DMS=15,64485

Error: 291,3562 gl: 9

Fertilización (kg N) Medias n E.E.

64,00 14,21 8 6,03 A

0,00 8,98 8 6,03 A

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

Test:Tukey Alfa=0,10 DMS=32,09973

Error: 291,3562 gl: 9

<u>Pastura</u>	<u>Fertilización (kg N)</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
Raigrás	64,00	21,68	4	8,53 A
Mezcla rg+leg	0,00	9,70	4	8,53 A
Raigrás	0,00	8,25	4	8,53 A
<u>Mezcla rg+leg</u>	<u>64,00</u>	<u>6,75</u>	<u>4</u>	<u>8,53 A</u>

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

Anexo No. 2.

Nitrógeno sin orina previo al cultivo de moha

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
<u>N-NO3 (kg/ha) 5cm</u>	<u>16</u>	<u>0,31</u>	<u>0,00</u>	<u>73,00</u>

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	63,81	6	10,63	0,67	0,6763
Bloque	25,49	3	8,50	0,54	0,6688
Pastura	25,50	1	25,50	1,61	0,2362
Fertilización (kg N)	7,29	1	7,29	0,46	0,5145
Pastura*fertilización	5,52	1	5,52	0,35	0,5693
Error	142,48	9	15,83		
<u>Total</u>	<u>206,28</u>	<u>15</u>			

Test:Tukey Alfa=0,10 DMS=7,48234

Error: 15,8306 gl: 9

Bloque Medias n E.E.

3,00 7,38 4 1,99 A

4,00 5,53 4 1,99 A

1,00 5,03 4 1,99 A

2,00 3,88 4 1,99 A

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

Test:Tukey Alfa=0,10 DMS=3,64676

Error: 15,8306 gl: 9

Pastura Medias n E.E.

Mezcla rg+leg 6,71 8 1,41 A

Raigrás 4,19 8 1,41 A

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

Test:Tukey Alfa=0,10 DMS=3,64676

Error: 15,8306 gl: 9

Fertilización (kg N) Medias n E.E.

0,00	6,13	8	1,41	A
64,00	4,78	8	1,41	A

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

Test:Tukey Alfa=0,10 DMS=7,48234

Error: 15,8306 gl: 9

Pastura Fertilización (kg N) Medias n E.E.

Mezcla rg+leg 0,00	7,98	4	1,99	A
Mezcla rg+leg 64,00	5,45	4	1,99	A
Raigrás 0,00	4,28	4	1,99	A
<u>Raigrás 64,00</u>	<u>4,10</u>	<u>4</u>	<u>1,99</u>	<u>A</u>

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

Anexo No. 3.

Nitrógeno sin orina posterior al cultivo de moha

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
<u>N-NO3 (kg/ha) 5cm</u>	<u>16</u>	<u>0,55</u>	<u>0,24</u>	<u>31,40</u>

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	5,58	6	0,93	1,80	0,2051
Bloque	5,22	3	1,74	3,37	0,0681
Pastura	0,06	1	0,06	0,12	0,7358
Fertilización	0,04	1	0,04	0,08	0,7869
Fertilización*past	0,25	1	0,25	0,48	0,5039
Error	4,64	9	0,52		
<u>Total</u>	<u>10,22</u>	<u>15</u>			

Test:Tukey Alfa=0,10 DMS=1,35065

Error: 0,5158 gl: 9

Bloque Medias n E.E.

4,00	3,28	4	0,36	A
3,00	2,00	4	0,36	A B
2,00	1,98	4	0,36	A B
<u>1,00</u>	<u>1,90</u>	<u>4</u>	<u>0,36</u>	<u>B</u>

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

Test:Tukey Alfa=0,10 DMS=0,65828

Error: 0,5158 gl: 9

<u>Pastura</u>	<u>Medias n</u>	<u>E.E.</u>
Raigrás	2,35	8 0,25 A
<u>Mezcla rg +leg</u>	<u>2,23</u>	<u>8 0,25 A</u>

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

Test:Tukey Alfa=0,10 DMS=0,65828

Error: 0,5158 gl: 9

<u>Fertilización</u>	<u>Medias n</u>	<u>E.E.</u>
0,00	2,34	8 0,25 A
<u>64,00</u>	<u>2,24</u>	<u>8 0,25 A</u>

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

Test:Tukey Alfa=0,10 DMS=1,35065

Error: 0,5158 gl: 9

<u>Fertilización</u>	<u>Pastura</u>	<u>Medias n</u>	<u>E.E.</u>
0,00	Raigrás	2,53	4 0,36 A
64,00	Mezcla rg +leg	2,30	4 0,36 A
64,00	Raigrás	2,18	4 0,36 A
<u>0,00</u>	<u>Mezcla rg +leg</u>	<u>2,15</u>	<u>4 0,36 A</u>

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

Anexo No. 4.

Densidad aparente con orina previo al cultivo de moha

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
Densidad aparente inicial ..	16	0,73	0,55	14,55

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	0,40	6	0,07	4,06	0,0299
Bloque	0,28	3	0,09	5,67	0,0185
Pastura	0,02	1	0,02	1,31	0,2812
Nitrógeno (kg/ha)	0,04	1	0,04	2,36	0,1592
Pastura*N	0,06	1	0,06	3,70	0,0866
Error	0,15	9	0,02		
<u>Total</u>	<u>0,55</u>	<u>15</u>			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,16678

Error: 0,0166 gl: 9

Bloque Medias n E.E.

1,00	1,03	4	0,06	A
2,00	1,00	4	0,06	A
4,00	0,77	4	0,06	B
3,00	0,74	4	0,06	B

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

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,11793

Error: 0,0166 gl: 9

Pastura Medias n E.E.

Mezcla	0,92	8	0,05	A
Raigrás	0,85	8	0,05	A

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

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,11793

Error: 0,0166 gl: 9

Nitrógeno (kg/ha) Medias n E.E.

0,00	0,93	8	0,05	A
64,00	0,84	8	0,05	A

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

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,16678

Error: 0,0166 gl: 9

Pastura Nitrógeno (kg/ha) Medias n E.E.

Mezcla	0,00	1,03	4	0,06	A
Raigrás	64,00	0,86	4	0,06	B
Raigrás	0,00	0,84	4	0,06	B
Mezcla	64,00	0,81	4	0,06	B

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

Anexo No. 5.

Densidad aparente sin orina previo al cultivo de moha

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
Densidad aparente inicial ..	16	0,56	0,26	19,53

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	0,35	6	0,06	1,89	0,1881

Bloque	0,33	3	0,11	3,55	0,0610
Pastura	6,2E-06	1	6,2E-06	2,0E-04	0,9890
Nitrógeno (kg/ha)	0,01	1	0,01	0,41	0,5394
Pastura*N	0,01	1	0,01	0,28	0,6126
Error	0,28	9	0,03		
<u>Total</u>	<u>0,63</u>	<u>15</u>			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,22857

Error: 0,0311 gl: 9

Bloque Medias n E.E.

1,00	1,10	4	0,09	A
2,00	0,98	4	0,09	AB
4,00	0,81	4	0,09	BC
<u>3,00</u>	<u>0,73</u>	<u>4</u>	<u>0,09</u>	<u>C</u>

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

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,16162

Error: 0,0311 gl: 9

Pastura Medias n E.E.

Mezcla	0,90	8	0,06	A
<u>Raigrás</u>	<u>0,90</u>	<u>8</u>	<u>0,06</u>	<u>A</u>

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

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,16162

Error: 0,0311 gl: 9

Nitrógeno (kg/ha) Medias n E.E.

0,00	0,93	8	0,06	A
<u>64,00</u>	<u>0,88</u>	<u>8</u>	<u>0,06</u>	<u>A</u>

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

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,22857

Error: 0,0311 gl: 9

Pastura Nitrógeno (kg/ha) Medias n E.E.

Mezcla 0,00	0,96	4	0,09	A
Raigrás 0,00	0,91	4	0,09	A
Raigrás 64,00	0,90	4	0,09	A
<u>Mezcla 64,00</u>	<u>0,85</u>	<u>4</u>	<u>0,09</u>	<u>A</u>

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

Anexo No. 6.

Densidad aparente sin orina posterior al cultivo de moha

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
Densidad aparente final	16	0,61	0,35	19,64

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	1,02	6	0,17	2,36	0,1191
Bloque	0,74	3	0,25	3,42	0,0661
Pastura	0,05	1	0,05	0,70	0,4243
Nitrógeno (kg/ha)	0,18	1	0,18	2,50	0,1484
Pastura*nitrógeno	0,05	1	0,05	0,70	0,4243
Error	0,65	9	0,07		
Total	1,67	15			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,34851

Error: 0,0723 gl: 9

Bloque Medias n E.E.

4,00 1,73 4 0,13 A

3,00 1,35 4 0,13 B

1,00 1,23 4 0,13 B

2,00 1,18 4 0,13 B

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

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,24644

Error: 0,0723 gl: 9

Pastura Medias n E.E.

Mezcla 1,43 8 0,10 A

Raiigrás 1,31 8 0,10 A

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

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,24644

Error: 0,0723 gl: 9

Nitrógeno (kg/ha) Medias n E.E.

64,00 1,48 8 0,10 A

0,00 1,26 8 0,10 A

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

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=0,34851

Error: 0,0723 gl: 9

Pastura Nitrógeno (kg/ha) Medias n E.E.

Raigrás 64,00	1,48	4	0,13	A
Mezcla 64,00	1,48	4	0,13	A
Mezcla 0,00	1,38	4	0,13	A
<u>Raigrás 0,00</u>	<u>1,15</u>	<u>4</u>	<u>0,13</u>	<u>A</u>

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

Anexo No. 7.

Implantación

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
<u>Implantación</u>	<u>16</u>	<u>0,55</u>	<u>0,25</u>	<u>21,22</u>

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	69,88	6	11,65	1,85	0,1947
Bloque	54,69	3	18,23	2,90	0,0940
Pastura	7,56	1	7,56	1,20	0,3011
Nitrógeno (kg/ha)	7,56	1	7,56	1,20	0,3011
Pastura*N	0,06	1	0,06	0,01	0,9227
Error	56,56	9	6,28		
<u>Total</u>	<u>126,44</u>	<u>15</u>			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=3,24951

Error: 6,2847 gl: 9

Bloque Medias n E.E.

4,00	14,00	4	1,25	A
3,00	12,75	4	1,25	A
2,00	11,50	4	1,25	A B
<u>1,00</u>	<u>9,00</u>	<u>4</u>	<u>1,25</u>	<u>B</u>

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

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=2,29775

Error: 6,2847 gl: 9

Pastura Medias n E.E.

Mezcla	12,50	8	0,89	A
<u>Raigrás</u>	<u>11,13</u>	<u>8</u>	<u>0,89</u>	<u>A</u>

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

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=2,29775

Error: 6,2847 gl: 9

Nitrógeno (kg/ha) Medias n E.E.

0,00 12,50 8 0,89 A

64,00 11,13 8 0,89 A

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

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=3,24951

Error: 6,2847 gl: 9

Pastura Nitrógeno (kg/ha) Medias n E.E.

Mezcla 0,00 13,25 4 1,25 A

Raigrás 0,00 11,75 4 1,25 A

Mezcla 64,00 11,75 4 1,25 A

Raigrás 64,00 10,50 4 1,25 A

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

Anexo No. 8.

Biomasa

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
<u>Biomasa (kgMS/ha promedio)..</u>	<u>16</u>	<u>0,66</u>	<u>0,44</u>	<u>36,43</u>

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	54980922,38	6	9163487,06	2,97	0,0694
Bloque	47265666,19	3	15755222,06	5,11	0,0246
Pastura	4565700,56	1	4565700,56	1,48	0,2547
Nitrógeno (kg/ha)	93177,56	1	93177,56	0,03	0,8659
Pastura*N	3056378,06	1	3056378,06	0,99	0,3456
Error	27766143,56	9	3085127,06		
<u>Total</u>	<u>82747065,94</u>	<u>15</u>			

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=2276,72580

Error: 3085127,0625 gl: 9

Bloque Medias n E.E.

2,00 7131,75 4 878,23 A

4,00 5772,00 4 878,23 AB

3,00 3552,00 4 878,23 BC

1,00 2830,50 4 878,23 C

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

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=1609,88825

Error: 3085127,0625 gl: 9

Pastura Medias n E.E.

Mezcla 5355,75 8 621,00 A

Raiigrás 4287,38 8 621,00 A

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

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=1609,88825

Error: 3085127,0625 gl: 9

Nitrógeno (kg/ha) Medias n E.E.

64,00 4897,88 8 621,00 A

0,00 4745,25 8 621,00 A

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

Test:LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=2276,72580

Error: 3085127,0625 gl: 9

Pastura Nitrógeno (kg/ha) Medias n E.E.

Mezcla 0,00 5716,50 4 878,23 A

Mezcla 64,00 4995,00 4 878,23 A

Raiigrás 64,00 4800,75 4 878,23 A

Raiigrás 0,00 3774,00 4 878,23 A

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