

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

**PRODUCCIÓN DE *Festuca arundinacea* cv. INIA AURORA BAJO DOS
MANEJOS DE DEFOLIACIÓN, DIFERENTES ESTRATEGIAS DE
FERTILIZACIÓN Y REGÍMENES HÍDRICOS DURANTE VERANO Y OTOÑO**

por

Micaela ALMEIDA GONZÁLEZ
Lamas Santiago TARÁN ALDERETE

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

MONTEVIDEO
URUGUAY
2022

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. (PhD.) Walter Ayala

Ing. Agr. (Dr.) Fernando Lattanzi

Ing. Agr. (PhD.) Pablo Boggiano

Fecha: 19 de diciembre de 2022

Autores:

Micaela Almeida González

Lamas Santiago Tarán Alderete

AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias por la oportunidad en la vida de realizar la carrera, por acompañarnos durante todo el proceso de formación y por darnos el entusiasmo necesario para realizar esta tesis.

A Facultad de Agronomía que nos permitió formarnos.

A nuestro tutor Ing. Agr. PhD. Walter Ayala por permitirnos el desarrollo de la tesis.

Al personal de INIA por su colaboración en la etapa de campo.

A compañeros y amigos por el apoyo brindado.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VIII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1. CARACTERIZACIÓN DE LA ESPECIE.....	3
2.1.1. <i>Festuca arundinacea</i>	3
2.1.2. <i>Festuca arundinacea</i> cv. INIA Aurora.....	6
2.2. MANEJO DEL PASTOREO.....	7
2.2.1. <u>Defoliación</u>	12
2.2.2. <u>Parámetros que definen el pastoreo: intensidad y frecuencia de defoliación</u>	14
2.2.2.1. Intensidad.....	14
2.2.2.2. Frecuencia.....	16
2.3. PERSISTENCIA Y SUPERVIVENCIA ESTIVAL DE MACOLLOS.....	17
2.4. EFECTO DEL NITRÓGENO.....	22
2.4.1. <u>Efecto de nitrógeno en pasturas sembradas</u>	24
2.4.2. <u>Efecto de nitrógeno en <i>Festuca arundinacea</i></u>	26
2.5. EFECTO DEL RIEGO.....	30
2.5.1. <u>Efecto del riego en pasturas sembradas</u>	30
2.5.1.1. Tipo de riego para las pasturas sembradas.....	33
2.5.2. <u>Efecto del riego en <i>Festuca arundinacea</i></u>	34
2.6. EFECTO RIEGO Y NITRÓGENO.....	38
2.7. ASPECTOS CLAVES.....	39
2.8. HIPÓTESIS GENERALES.....	40
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	41
3.1. CONDICIONES EXPERIMENTALES.....	41
3.1.1. <u>Localización y duración del trabajo</u>	41
3.1.2. <u>Descripción del sitio experimental</u>	41
3.1.3. <u>Antecedentes del área experimental</u>	41

3.1.4. <u>Variables en estudio</u>	42
3.1.5. <u>Diseño experimental</u>	43
3.2. DETERMINACIONES.....	43
3.2.1. <u>Variables</u>	43
3.2.1.1. Producción de materia seca.....	43
3.2.1.2. Altura del forraje disponible.....	43
3.2.1.3. Composición botánica.....	44
3.2.1.4. Biomasa de raíces y parte aérea.....	44
3.2.1.5. Conteo de macollos.....	45
3.2.1.6. Determinación cobertura del suelo.....	45
3.2.1.7. Procesamiento en el laboratorio.....	45
3.2.2. <u>Medición del sistema</u>	46
3.2.2.1. Análisis del suelo.....	46
3.2.2.2. Humedad del suelo.....	46
3.2.3. <u>Manejo del riego</u>	46
3.2.3.1. Metodología de riego.....	46
3.2.3.2. Criterio del riego.....	47
3.3. HIPÓTESIS.....	47
3.3.1. <u>Hipótesis estadística</u>	47
3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	48
3.4.1. <u>Modelo estadístico</u>	48
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	49
4.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA.....	49
4.1.1. <u>Temperatura ambiente</u>	50
4.1.2. <u>Humedad del suelo</u>	52
4.1.3. <u>Precipitación</u>	53
4.1.4. <u>Evaporación</u>	54
4.1.5. <u>Balance hídrico</u>	55
4.2. PRODUCCIÓN DE FESTUCA Y MALEZAS.....	57
4.2.1. <u>Producción de festuca y malezas en secano para la estación de verano</u>	57
4.2.1.1. Corte 1 en secano de verano (27/12-26/01).....	57
4.2.1.2. Corte 2 en secano de verano (26/01-01/03).....	57
4.2.1.3. Producción acumulada de festuca y malezas en secano de verano.....	58
4.2.2. <u>Producción de festuca y malezas en secano para la estación de otoño</u>	58
4.2.2.1. Corte 1 en secano de otoño (01/03-03/04).....	58

4.2.2.2. Corte 2 en secano de otoño (03/04-04/05).....	58
4.2.2.3. Corte 3 en secano de otoño (04/05-29/06).....	58
4.2.2.4. Producción acumulada de festuca y malezas en secano para otoño.....	59
4.2.3. <u>Producción de forraje acumulado en secano verano-otoño</u>	59
4.2.4. <u>Producción de festuca y malezas con riego para la estación de verano</u>	59
4.2.4.1. Corte 1 con riego de verano (27/12-26/01).....	59
4.2.4.2. Corte 2 con riego de verano (26/01-01/03).....	59
4.2.4.3. Producción acumulada de festuca y malezas con riego en verano.....	60
4.2.5. <u>Producción de festuca y malezas con riego para la estación de otoño</u>	60
4.2.5.1. Corte 1 con riego de otoño (01/03-03/04).....	60
4.2.5.2. Corte 2 con riego de otoño (03/04- 04/05).....	60
4.2.5.3. Corte 3 con riego de otoño (04/05-29/06).....	60
4.2.5.4. Producción acumulada de festuca y malezas con riego para otoño.....	61
4.2.6. <u>Producción de forraje acumulado con riego en verano – otoño</u>	61
4.3. ALTURA DE FORRAJE DISPONIBLE.....	61
4.3.1. <u>Altura de forraje en en secano para verano</u>	62
4.3.1.1. Corte 1 en secano de verano.....	61
4.3.1.2. Corte 2 en secano de verano.....	62
4.3.2. <u>Altura de forraje en secano en para otoño</u>	62
4.3.2.1. Corte 1 en secano de otoño.....	62
4.3.2.2. Corte 2 en secano de otoño.....	62
4.3.2.3. Corte 3 en secano de otoño.....	62
4.3.3. <u>Altura de forraje con riego para verano</u>	63
4.3.3.1. Corte 1 con riego de verano.....	63
4.3.3.2. Corte 2 con riego de verano.....	63
4.3.4. <u>Altura de forraje con riego para otoño</u>	63
4.3.4.1. Corte 1 con riego de otoño.....	63
4.3.4.3. Corte 3 con riego de otoño.....	63
4.4. PRODUCCIÓN DE PARTE AÉREA, RAÍCES Y MACOLLOS POR PLANTA EN FESTUCA.....	64
4.4.1. <u>Producción de parte aérea y raíces en festuca</u>	64
4.4.1.1. Producción de parte aérea y raíces de festuca en secano...	64
4.4.1.2. Producción de parte aérea y raíces de festuca con riego....	64
4.4.2. <u>Producción de macollos por planta en festuca</u>	64
4.5. SUPERVIVENCIA DE MACOLLOS.....	65
4.5.1. <u>Supervivencia de macollos en secano</u>	65

4.5.1.1. Conteo 1 sin riego	65
4.5.1.2. Conteo 2 sin riego	67
4.5.1.3. Conteo 3 sin riego	67
4.5.1.4. Conteo 4 sin riego	68
4.5.1.5. Conteo 5 sin riego.....	68
4.5.2. <u>Supervivencia de macollos con riego</u>	68
4.6. <u>COBERTURA DE SUELO</u>	69
4.6.1. <u>Cobertura del suelo en seco para la estación de verano</u>	69
4.6.2. <u>Cobertura del suelo en seco para la estación de otoño</u>	69
4.6.2.1. Cobertura de festuca en seco para otoño.....	70
4.6.2.2. Cobertura de restos secos en seco para otoño.....	70
4.6.2.3. Cobertura de malezas en seco para otoño.....	70
4.6.2.4. Suelo desnudo en seco para otoño.....	70
4.6.3. <u>Cobertura del suelo con riego para la estación de verano</u>	71
4.6.3.1. Cobertura de festuca con riego para verano.....	71
4.6.3.2. Cobertura de restos secos con riego para verano.....	71
4.6.3.3. Cobertura de malezas con riego para verano.....	71
4.6.3.4. Suelo desnudo con riego para verano.....	72
4.6.4. <u>Cobertura del suelo con riego para la estación de otoño</u>	72
4.6.3. <u>Consideraciones finales</u>	73
5. <u>CONCLUSIONES</u>	76
6. <u>RESUMEN</u>	77
7. <u>SUMMARY</u>	78
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	79
9. <u>ANEXOS</u>	97

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Rendimientos anuales de forraje de festuca relativos a “Estanzuela Tacuabé”	6
2. Producción estacional relativa de festuca “Estanzuela Tacuabé” y Aurora en el 2 ^{do} . año.....	7
3. Características químicas del suelo del sitio experimental.....	41
4. Estructura de los tratamientos.....	42

Figura No.	
1. Registro de temperatura ambiente media histórica en comparación a la temperatura ambiente media experimental.....	50
2. Registro de temperatura ambiente en comparación a la temperatura óptima de crecimiento para festuca en verano y otoño.....	51
3. Evolución del contenido de humedad en el suelo.....	52
4. Registro de precipitación mensual histórica y experimental.....	53
5. Registro de evaporación media histórico en comparación a la evaporación media experimental.....	54
6. Balance hídrico en zona regada representada mediante barras negras y puntos los ingresos de agua, barras grises la salida de agua y las líneas rojas la evolución del balance	

hídrico para el período de riego (27 dic. -28 abr.) en función de los mm que ingresan o salen del blanco.....	56
7. Temperatura ambiente ocurridas durante el período experimental (media y extremas), en comparación a la temperatura extrema y óptima para el crecimiento de festuca.....	66
8. Comparativo entre temperatura de suelo y temperatura media ambiente durante todo el período experimental.....	66
9. Supervivencia de macollos de festuca con riego entre diciembre y junio	68
10. Interacción de intensidad de defoliación con la aplicación de nitrógeno en la cobertura de suelo en secano de otoño...	71
11. Respuesta de la cobertura de malezas por variaciones en las unidades de nitrógeno aplicadas.....	72

1. INTRODUCCIÓN

Uruguay se caracteriza por presentar como rubro principal en superficie a la ganadería, la cual representa 13,4 millones de hectáreas en el censo 2011, representando 81,9% del área agropecuaria. La inclusión de rubros asignables a ganadería (lana, carne y leche) asume que como principal fuente de alimento a las pasturas, el campo natural es el componente más importante ocupando el 78% de la base forrajera ganadera. Sumado al campo natural se encuentran campos mejorados (fertilizados y en coberturas, praderas plurianuales y cultivos forrajeros anuales) ocupando un 13,4% del territorio (MGAP. DIEA, 2015).

La combinación de la base forrajera natural predominante y la variabilidad climática del país hace que la disponibilidad de alimento sea variable, haciendo a la ganadería inestable en cuanto a producción animal, lo cual hace pensar en la búsqueda de nuevas alternativas tecnológicas que atenúen la variabilidad y aseguren una disponibilidad de forraje más estable en el tiempo.

Dada la variabilidad climática intra-anual e inter-anual del Uruguay es común esperar deficiencias hídricas estivales ya que las precipitaciones no satisfacen la alta evapotranspiración que se da en estos meses en el promedio de los años lo cual limita el potencial productivo de los cultivos anuales y especies perennes. Asimismo, las temperaturas del verano pueden condicionar el comportamiento de especies de tipo templado.

La utilización de sistemas de riego parecería dar solución a estos problemas planteados estabilizando la producción y favoreciendo la persistencia de las pasturas.

Sumado a las limitaciones hídricas se encuentran limitaciones nutricionales por el aporte insuficiente de nitrógeno desde el suelo, influyendo en la eficiencia de utilización de recursos por las pasturas. El nitrógeno es el nutriente que con mayor frecuencia limita el crecimiento y la calidad de las gramíneas por lo cual con la fertilización nitrogenada se busca cubrir las deficiencias nutricionales y lograr entre otros, altos rendimientos y prolongar los períodos de crecimiento.

Las pasturas constituyen la fuente de alimento más barata para los rumiantes por lo cual es fundamental potencializar su productividad y eficiencia con que el forraje es cosechado por los animales y transformado en producto final. Es por esto que focalizar en el estudio de las pasturas sembradas, y en particular dando énfasis a especies como la festuca que según Carámbula (2010) es una de las gramíneas perennes más importantes utilizadas en la región y un componente esencial en la mayoría de las pasturas sembradas.

1.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la performance de *Festuca arundinacea* cv. INIA Aurora bajo dos manejos de defoliación, diferentes estrategias de fertilización y regímenes hídricos durante verano y otoño.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Cuantificar la producción del forraje bajo condiciones de secano y de riego suplementario.

Evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada bajo dos regímenes de disponibilidad de agua en la producción de forraje y la supervivencia de macollos.

Evaluar dos intensidades de defoliación bajo estrategias diferenciales de fertilización nitrogenada y de régimen hídrico en la producción de forraje y la supervivencia de macollos.

Evaluar la supervivencia de macollos de festuca.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2. 1. CARACTERIZACIÓN DE LA ESPECIE

2.1.1. Festuca arundinacea

La festuca alta es una especie nativa de la parte central y Noreste de Europa, de la región mediterránea incluida en el Norte de África, Asia central y Siberia (Maddaloni y Ferrari, 2001).

En el Uruguay es considerada como la gramínea perenne invernal más usada en el país (Formoso, 2010). Se la puede agrupar en dos grandes grupos según su capacidad de crecimiento estacional, estos son de tipo continental o tipo mediterráneo. Los más utilizados en Uruguay son los de tipo continental por su mayor adaptación en cuanto a régimen de precipitación, además éstos presentan un 20% más de rendimiento anual que los de tipo mediterráneo. Las de tipo continental no presentan latencia estival, la cual las hace más competitivas frente a malezas en el período estival (Ayala et al., 2010).

En cuanto a sus características morfogenéticas la festuca es una especie cespitosa a rizomatosa que forma la corona de la planta la cual contiene las reservas (Carámbula, 2010), pero éstos rizomas al ser muy cortos no tienen capacidad de acumularlas. Presenta un sistema radicular fibroso y muy extendido que le permite obtener agua de los horizontes profundos, y a su vez la hacen ideal para recuperar la estructura de suelos, particularmente los degradados por el uso agrícola intensivo y la erosión, aumentando la capacidad de retención de agua (Pagano y Rimieri, 2001), además esta característica le permite a la planta sobrevivir en veranos que no sean excesivamente secos (Carámbula, 2010).

La característica agronómica más relevante es su amplia adaptación geográfica (Miñon, 2013), adaptable a un rango amplio de suelos desde medios a pesados (Carámbula, 2010) y desde ácidos a alcalinos (ph: 4,7 - 9,5) (Carámbula 2010, Miñon 2013). Crece bien en lugares húmedos, encharcados y presenta a la vez resistencia a la sequía (Agnusdei et al., 2010). Además presenta resistencia al pisoteo, insectos y enfermedades. Esto la hace una especie particularmente apta para la producción pecuaria en ambientes marginales para la producción agrícola, aunque en suelos agrícolas expresa todo el potencial de crecimiento (Miñon, 2013).

Presenta precocidad otoñal, admite pastoreos relativamente intensos y frecuentes, sin reposo estival, pero requiere manejo cuidadoso en verano el cual si se realiza con éxito se puede esperar muy buena persistencia, siendo “compatible” con leguminosas agresivas. Su palatabilidad es variable según cultivar y manejo, no resebrándose naturalmente (Carámbula, 2010).

Es una especie templada con metabolismo fotosintético C₃ (Giorello et al., 2012), presentando la máxima actividad fotosintética entre 18,3 y 23,9 °C (Volesky et al., 2010).

El riego suplementario tiende a reducir la variabilidad de producción de forraje, sobre todo en verano, período de mayor déficit hídrico. Sin embargo, al ser una especie templada la producción estival puede estar limitada por otros factores climáticos como la temperatura (Cardozo y Marchelli, 2017).

Según Cowan (1956), presenta una lenta implantación dado que sus plántulas son muy poco vigorosas, y por ende fácilmente dominadas por especies anuales de crecimiento rápido. Es por esto que se debe tener especial cuidado en el manejo cuando está en estado de plántula si no se quiere perder por competencia ya sea por malezas o especies forrajeras de mayor vigor inicial, siendo una de las especies que sufre más en siembras consociadas con cereales (Carámbula, 2010).

Según Formoso (2010), la siembra en líneas favorece su implantación, encontrándose una superioridad del 56% de plantas logradas en relación a la siembra en cobertura, no encontrándose diferencias en producción cuando se siembra en forma convencional o directa.

Las macollas constituyen las unidades básicas de producción, de su número, condición fisiológica y vigor depende la capacidad de producir forraje y semillas (Formoso, 2010).

Según Miñon y Refi (1989) se encuentran variaciones en la densidad de macollos según la estación del año, con un patrón estacional con máximos otoño-invernales y mínimos estivales que reflejan las relaciones cambiantes entre tasas de nacimiento y muerte de macollos. Este patrón obedecería a causas fisiológicas y ambientales. La alta densidad otoño-invernal, asociada a condiciones ambientales favorables para el crecimiento de gramíneas, se reduce drásticamente en primavera debido a la muerte de los macollos que se reproducen y eventualmente a la mortandad de los macollos más pequeños por la sequía estival.

La falta de latencia estival y la carencia de órganos apropiados para acumular altos contenidos de reservas, pueden hacer peligrar la productividad y la persistencia de esa especie bajo regímenes de manejo intensivo. Al igual que en la mayoría de las gramíneas, ciertos períodos de descanso favorecen su buen comportamiento (López et al., 1967). Si se realizan pastoreos intensos y abusivos en verano se puede afectar desfavorablemente el rebote del otoño (Carámbula, 2010).

Al ser una especie perenne presenta picos de producción en primavera, presentando diferencias con otras especies del mismo ciclo productivo en cuanto a la distribución de producción en otras estaciones, esto es lo que hace elegir una u otra especie según el objetivo del sistema de producción.

Cabe destacar que las variaciones en la producción estacional están básicamente determinadas por las fluctuaciones climáticas de temperatura, humedad y radiación. La temperatura óptima para el crecimiento de la mayoría de las gramíneas templadas es de 20 a 25 °C, con un límite inferior de 4-5 °C y superior de 30-35 °C (Cooper y Tainton, 1968). En el Uruguay las temperaturas invernales reducen pero no detienen el crecimiento de las gramíneas templadas, mientras que en el verano las temperaturas durante parte del día están generalmente por encima del óptimo reduciendo los rendimientos y pudiendo llegar al límite superior, deteniendo el crecimiento.

Según un experimento de García (2003) evaluando el comportamiento productivo estacional de festuca con *Lolium multiflorum* (raigrás) perenne, falaris, *Dactylis glomerata* (dactilis) y *Bromus auléticus* (bromus) se observó un comportamiento intermedio de producción de la festuca junto a dactilis en el año de siembra (5 a 5,6 ton./ha MS) y en el período otoño invernal del segundo año (3,4 y 3,8 ton./ha MS). Durante el verano falaris por presentar latencia estival detiene su crecimiento, en cambio dactilis, festuca y bromus presentan mayor capacidad para crecer durante el verano dependiendo de la humedad del suelo.

Durante el segundo verano hay importantes diferencias entre especies destacándose el bromus (1,6 ton./ha MS) seguido por dactilis (1,3 ton./ha MS) que muestra sus ventajas sobre festuca (0,8 ton./ha MS) mientras que falaris y raigrás perenne presentan muy baja producción igual que en el otoño siguiente. Estas diferencias en la actividad estival de las gramíneas en el segundo verano resultan muy importantes para la estabilidad de las praderas pues la capacidad de crecer y ocupar espacios reduce el enmalezamiento y atenúa la temperatura de la superficie del suelo que puede afectar la persistencia de algunas leguminosas (García, 1995).

En el tercer año se destaca el bromus, seguido por festuca y dactilis con rendimientos similares entre sí, y el raigrás perenne con muy bajos rendimientos.

Comparando la tasa de crecimiento a través de los años se puede observar en la mayoría de las especies evaluadas que en la primavera del primer año se dan las mayores tasas de crecimiento. Cabe destacar que esto puede estar dado por el manejo previo del suelo y fertilización que hacen un ambiente más favorable en el primer año para la expresión del potencial de primavera. Para todas las especies las tasas de crecimiento durante el otoño-invierno del tercer año son menores que en el segundo, pero en ambos

casos se alcanzan similares tasas en primavera. Es decir que al avanzar la edad la producción se reduce y la distribución del forraje se hace más primaveral.

En el rendimiento anual como era de esperarse festuca junto a falaris y dactilis presentan rendimientos intermedios entre 6,8 y 7,7 ton./ha MS, en el segundo año festuca y dactilis generan producciones en torno a 7,3 ton./ha MS, en el tercer año todas las especies reducen su rendimiento permaneciendo festuca y dactilis con producciones intermedias.

En la producción acumulada de los tres años, festuca, dactilis y bromus rindieron unas 20 ton./ha MS sin mayores diferencias entre sí, le sigue el falaris con 17 ton./ha MS y finalmente el raigrás perenne con 15,5 ton./ha MS.

2.1.2. Festuca arundinacea cv. INIA Aurora

INIA Aurora es un cultivar de tipo continental el cual tiene la capacidad de crecer en todas las estaciones del año. Se obtuvo en INIA La Estanzuela luego de tres ciclos de selección sobre distintos materiales tempranos con énfasis en rendimiento y sanidad foliar. Es una festuca muy temprana que florece a fines de agosto, de hábito intermedio y hojas flexibles (Ayala et al., 2010).

En la distribución estacional de producción INIA Aurora se destaca por incrementos importantes en primavera y verano. Asimismo, INIA Aurora se destaca de todas las festucas del mercado por su excelente resistencia a roya (Ayala et al., 2010).

Según Gutiérrez y Calistro (2013) el carácter distintivo de este cultivar es su rápida implantación y altos rendimientos de forraje todo el año, con una muy buena persistencia la cual se acentúa a partir del 3^{er}. y 4^{to}. año de la pastura, aumentando su brecha de productividad sobre otros cultivares.

Cuadro No. 1. Rendimientos anuales de forraje de festucas relativos a “Estanzuela Tacuabé”

Cultivar	fecha de floración	1 ^{er} . año	2 ^{do} . año	3 ^{er} . año	Total
INIA Aurora	31-ago.	106	107	107	107
Quantum	31-ago.	107	102	101	104
Estanzuela Tacuabé	13-set.	100	100	100	100

Fuente: tomado de Gutiérrez y Calistro (2013).

En la distribución estacional “INIA Aurora” supera a “Estanzuela Tacuabé” en todas las estaciones del año con incrementos importantes en primavera y verano.

Cuadro No. 2. Producción estacional relativa de festuca “Estanzuela Tacuabé” e INIA Aurora en el 2^{do}. año

	otoño	invierno	primavera	verano
INIA Aurora	103	105	111	110
Estanzuela Tacuabé	100	100	100	100

Fuente: tomado de Gutiérrez y Calistro (2013).

Festuca “INIA Aurora” se recomienda como componente de praderas perennes que prioriza el rendimiento todo el año, la rusticidad y la persistencia. Es ideal para explotaciones intensivas que puedan sacar provecho de su mayor potencial de rendimiento. Por su mayor capacidad de crecer en verano es indicada para aquellas situaciones cuando la infestación de gramilla es un problema y dado su buen comportamiento bajo altas temperaturas estivales sería muy indicada para la zona Norte (Ayala et al., 2010).

2.2. MANEJO DEL PASTOREO

La festuca es una planta esencialmente de pastoreo, la cual presenta un ciclo de producción otoño-inverno-primaveral que tiende a cubrir si son bien manejados los requerimientos de los animales, básicamente durante el período crítico invernal. El manejo debe ser tal que no acumule demasiado forraje y pierda calidad lo que la hace menos digestible y apetecible siendo rechazada por el animal (Carámbula, 2010).

Según Formoso (2010) históricamente la festuca era rechazada por los productores ya que resaltaban su baja calidad, esto se explica por el desconocimiento de pautas de manejo adecuadas para no dejar endurecer la especie y la existencia de materiales antiguos con alta relación tallo/hoja.

Los cultivares de hojas flexibles de festuca (*Festuca arundinacea* Schreb) fueron desarrollados para mejorar la palatabilidad, el consumo y la producción animal (Hopkins et al., 2009). No obstante, el resultado productivo está asociado al manejo de la defoliación (Milne, 2009) el cual depende de la sincronización entre la frecuencia de defoliación y la dinámica del recambio de hojas (Donaghy et al., 2008).

Scheneiter (2018) sostiene que hay distintos criterios de defoliación, o variables de estado, posibles de utilizar a través del año con el objetivo de favorecer la producción, persistencia y calidad de la pastura.

Según Jáuregui et al. (2016) la gestión del pastoreo es una forma efectiva de manipular la densidad de los macollos. La dinámica de macollaje de las pasturas es definida por: la morfología de los macollos, la optimización del área foliar del canopeo y la persistencia (Matthew et al., 2000).

Al ser los macollos la unidad básica de producción, su número, condición fisiológica y vigor son determinantes en la capacidad de producción de forraje. Para comprender mejor la respuesta frente a diferentes estrategias de manejo se debe conocer cómo evolucionan en el tiempo, durante el transcurso de las diferentes estaciones del año.

Existen períodos bien definidos de incremento y disminución de densidad de la pastura, su pico máximo se da a fines de invierno-principios de primavera, en coincidencia con el comienzo de elongación de tallos. Este pico es seguido por valores mínimos al comienzo del verano y una posterior recuperación durante el otoño y el invierno siguiente. Durante la primavera, una parte de los macollos pasan al estado reproductivo (encañazón, floración y semillazón) y una vez ocurrida la floración se detiene la producción de nuevas hojas y macollos (Aperlo y Scheneiter, 2017).

En un experimento realizado por Formoso (2010) sobre *Festuca arundinacea* cv. Tacuabé se puede observar la evolución anual de macollaje en dos períodos bien diferentes, desde marzo a setiembre el cual se caracteriza por un predominio de la tasa de formación de nuevas macollas por sobre la tasa de muerte de las mismas, resultando en un aumento importante de la población de macollas. En esta etapa se observa una variación en la intensidad de producción de macollas, siendo en marzo cuando se da la mayor producción disminuyendo gradualmente, se reporta en setiembre una intensidad de macollaje del orden del 60% con respecto a la de marzo, esto podría estar explicado porque éste último período (julio-agosto) Tacuabé inicia y diferencia reproductivamente sus macollas más vigorosas (Formoso, 1995).

Durante el mes de agosto, previo al comienzo de alargamiento de entrenudos, el cultivo alcanza las mayores poblaciones de macollas de toda la estación de crecimiento.

El cultivar Tacuabé durante otoño, direcciona sus esfuerzos a incrementar notoriamente la población de macollos, aspecto que debe tenerse presente en la estrategia de pastoreo que se adopte durante este período. Pastoreos muy agresivos en esta etapa pueden disminuir la población y el vigor de los macollos, limitando el potencial de producción posterior de esta especie. El inicio del macollaje rápido y la intensidad del

mismo están muy relacionado con el vigor de los macollos vivos al inicio del otoño y es muy dependiente del manejo en las estaciones previas, especialmente en verano.

Con referencia al efecto de los cortes sobre la población de macollos, Formoso y Ugarte (1973) trabajando sobre Kentucky 31, cortada cada 45 y 90 días durante toda la estación de crecimiento, determinaron que entre los 15 y 30 días posteriores a cada corte, se produce un descenso en la población de macollos vivos, como consecuencia de un incremento en el número de macollos muertos en el tapiz. Sin embargo, con dichas frecuencias, entre los 30 y 45 días siguientes a los cortes, dependiendo de los momentos del año, la formación de nuevos macollos restableció nuevamente el número de macollos vivos a los valores considerados normales para cada momento del año. El corte realizado en Tacuabé produjo un efecto similar al comentado.

En el experimento llevado a cabo por Formoso (2010) entre setiembre y marzo se observó un predominio de la tasa de muerte de macollos por sobre la de formación de los mismos, determinando que la población de macollos vivos decreciera, esto concuerda con lo reportado por Scheneiter (2018), el cual señala que este comportamiento se acentúa con la eliminación temprana de macollos reproductivos. Los macollos reproductivos en esta etapa actúan como poderosos drenes, determinando la muerte por carencia de energía, entre otros factores de los macollos localizados en posiciones intra planta jerárquicamente inferiores.

Este proceso de muerte de macollos se mantuvo hasta fines de enero. Consecuentemente en verano, Tacuabé presentó las menores poblaciones de macollos, lo que significó un período crítico de alta fragilidad para esta especie, el cual se ve aún más marcado cuando se aumenta la frecuencia de cortes, alcanzando reducciones de las 3/4 hasta 4/5 del total de macollos vivos a fines del invierno anterior.

La evolución durante la estación de crecimiento de la población de macollos presentada por Tacuabé fue similar a la reportada por Formoso y Ugarte (1973) para Kentucky 31 y por Bertín (1990) para El Palenque. En ambos trabajos los distintos tratamientos de defoliación aplicados modificaron el número de macollos, pero los modelos evolutivos estacionales siguieron siendo similares, valores máximos a fines de invierno y mínimos en verano.

Por otro lado, Bertín (1990), con cv El Palenque, obtuvo un número de macollos muy superior cuando el pastoreo se realizó en forma laxa (desde alturas de la festuca de 15 cm hasta 8 cm) con bovinos durante períodos prolongados, evitando el sobrepastoreo. Dicho autor explicó que las diferencias de macollaje se dan en función de la cantidad de luz incidente en la región basal del tapiz.

Las diversas estrategias de manejo determinan menores áreas foliares por macollo, carencias energéticas y consecuentemente una pérdida del vigor, que según la intensidad y duración del estrés por defoliación puede llegar a determinar hasta la muerte de dichos macollos, por lo que manejos agresivos de defoliación en otoño y/o invierno pueden generar menor capacidad para procesar señales del ambiente por presentar menor área foliar.

Según Scheneiter (2018) en el otoño, manejos que impliquen una mayor frecuencia de uso, o mayor intensidad de pastoreo reducen la acumulación de forraje con respecto a manejos opuestos.

En un experimento realizado por Formoso (2010) tanto en otoño como en invierno el material utilizado presentó muy alto potencial de producción de forraje, probablemente el hecho de haber mantenido el forraje imperturbado durante el verano determinó una mayor capacidad de producción de forraje otoño-invernal.

En un trabajo realizado por García (1980) se indica claramente que el potencial de producción de forraje otoño-invernal de festuca se maximiza cuando en primavera se maneja para semillas y el rastrojo se mantiene imperturbado durante el verano. Berry y Hoveland, citados por Formoso (2010) recomiendan para el cv. Kentucky 31 sin pastoreo en verano, para maximizar la producción otoño invernal de esta especie.

Según Agnusdei y Castaño (2011) tanto festuca como agropiro cuando son adecuadamente manejados pueden formar pasturas productivas y de alto valor forrajero. La forma de lograrlo es empezar el pastoreo lo más temprano posible entre fin de invierno y principio de primavera, con un pastoreo severo (a ras del suelo).

Según Davies (1988) con defoliaciones intensas en primavera se reduce la proporción de macollos reproductivos, lo que se asocia con una mayor longevidad de la pastura. En cuanto a esto, Korte et al. (1984), Sheath y Boom (1985), Huillier (1987) han demostrado que el pastoreo intenso durante la primavera promueve densidades de macollaje más altas.

Según Matthew et al., citados por Aperlo y Scheneiter (2017) experiencias realizadas en diversos países han evidenciado que la aparición de macollos desde yemas basales luego del desarrollo reproductivo es favorecida por la translocación de asimilados desde macollos en floración a los macollos hijos. En cuanto a esto Aperlo y Scheneiter (2017) señalan que la defoliación de macollos en estado reproductivo podría ser una práctica beneficiosa para mejorar el macollaje.

D'Andrea et al. (1999) reportan que la eliminación temprana del estado reproductivo resulta en bajas tasas de crecimiento primaveral de la pastura y con ello una menor carga animal.

Contrario a lo mencionado anteriormente Agnusdei y Castaño (2011) sostienen que la medida denominada “control temprano de la floración” constituye una de las medidas de manejo más aplicadas en los sistemas productores de carne y leche más exitosos, ayudando así a evitar que las pasturas se hagan altas y pierdan foliosidad y calidad, así como su posterior encañamiento, formen matas y se raleen. Los macollos inducidos no sólo inhiben la aparición de otros nuevos sino que además dominan a los vegetativos ya presentes en la pastura (los que no van a florecer), mucho de los cuales finalmente mueren.

Korte et al. (1984), Huillier (1987), Da Silva et al. (2004) definen como la ventana de oportunidad para controlar la floración desde el inicio de la inducción floral hasta la antesis.

Lafarge (2006) encontró para festuca un aumento en la densidad de macollos vegetativos cerca de macollos reproductivos cortados en antesis.

Thom et al. (1998) reportan que el pastoreo laxo en primavera da como resultado una alta proporción de plantas en floración, lo que puede comprometer la supervivencia vegetativa estival.

Scheneiter (2018) señala que el tiempo que se permita expresar el período reproductivo en primavera define la densidad de macollos desde esta estación hasta el otoño.

Según Deregibus et al. (1983) cuando se eliminan los macollos reproductivos la entrada de luz a la base de la planta estimula el macollaje, ya que, bajo condiciones de restricción lumínica, los asimilados son preferentemente dirigidos al macollo existente en lugar de crecer nuevos macollos (Deregibus et al., 1985).

Según Scheneiter (2018) en lo que respecta a la acumulación y valor nutritivo del forraje, el control del estado reproductivo es la práctica de mayor efecto sobre la distribución estacional de forraje, ya que, en coincidencia con el desarrollo de tallos y panojas desde mediados de setiembre a mediados de diciembre, se acumula entre el 50-60% del forraje anual. También sostiene que a mayor carga/frecuencia conduce a una mayor digestibilidad de la MS y menor fibra (FDN) logrando en consecuencia un mayor porcentaje de hojas cuando se limita la manifestación del estado reproductivo en

primavera y se promueve una estructura cespitosa de la pastura en otoño y menor acumulación de material muerto durante todo el año.

2.2.1. Defoliación

En Uruguay, los sistemas de producción son esencialmente pastoriles, y el resultado físico y económico de los mismos depende en gran medida del manejo de la inter fase planta-animal (Chilibroste, 1999).

La productividad de pasturas de festuca, ya establecidas, es principalmente controlada por la radiación, la temperatura, la disponibilidad de agua y de nutrientes y la frecuencia e intensidad de la defoliación. Estos últimos afectan principalmente la calidad y estructura de la pastura y, con manejos extremos, la acumulación neta de forraje y la producción secundaria (Scheneiter, 2018), así como también la maximización del crecimiento y la utilización de forraje para el consumo del animal (Formoso, 1996).

El proceso de defoliación está determinado por la frecuencia, intensidad, uniformidad y duración del pastoreo en relación con las fases de desarrollo de la pastura. Generalmente cuanto mayor es la intensidad y frecuencia de la defoliación, la producción de la pastura se reduce (Harris, 1978). Este proceso tiene un control estricto sobre la captura de la luz (Carámbula, 2010).

Según Formoso (1996) los efectos de la defoliación varían de acuerdo con la estación del año y las características morfo-fisiológicas de cada especie y/o cultivar. En cuanto a esto Carámbula (2010) sostiene que el crecimiento de gramíneas se ve estimulado generalmente por defoliaciones poco frecuentes.

Según Parsons (1998) la máxima cosecha anual de forraje se obtiene cuando el régimen de defoliación es severo y poco frecuente. Sin embargo, en pasturas base gramíneas perennes templadas, esto resulta en un deterioro de la estructura de la pastura debido a una reducción en la densidad de la población de macollos. En el otro extremo, un sistema de defoliación frecuente pero poco intenso (basado en evitar tiempos prolongados de pobre intercepción de la luz) puede resultar en períodos con altas tasas de senescencia y pérdidas de forraje, acompañado de cambios no deseados en la estructura de la pastura.

Kaufononga et al. (2017) reportan para festuca mayor densidad de macollos en defoliaciones altas (remanente 10 cm) en comparación a defoliaciones bajas (remanente 5 cm).

La altura de defoliación puede afectar las reservas para el rebrote, ubicadas con frecuencia, en las porciones aéreas de la planta (Langer, citado por Cairús y Regusci, 2013), así como también limitar el consumo animal (Gibb, 2006).

Forbes (1988) en 6 trabajos, encontró para pasturas templadas, que a medida que la altura del forraje aumenta, el tamaño del bocado aumentó linealmente en todos los casos.

Mckee et al. (1967) indican que la festuca admite defoliaciones intensas y relativamente frecuentes debido a que las sustancias de reserva se encuentran en las raíces y rizomas cortos que forman la corona de las plantas, sino también porque por lo general, y a que se logra mantener áreas foliares remanentes altas luego de los pastoreos.

No solo es importante la cantidad remanente de hojas, sino también la eficiencia de estas, es decir, el tipo y su estado (Carámbula, 2010).

Luego de una defoliación, las plantas quedan con un área foliar insuficiente para cubrir las necesidades de crecimiento y mantenimiento, debiendo recurrir a los carbohidratos solubles no estructurales (Escuder, 1996).

La optimización del pastoreo depende de la relación entre producción de pasturas y consumo de los animales, y el compromiso entre los flujos de los tejidos (crecimiento, senescencia y consumo, Parsons et al., 1999).

Según Agnusdei y Castaño (2011) el lapso entre el inicio del rebrote y el inicio de la senescencia se denomina vida media foliar (VMF). En este período festuca acumula en promedio alrededor de 2,5 hojas. En este caso la suma térmica requerida para que se cumpla la VMF es de 500-550 GDC (°Cd). Si una pastura es cosechada antes de cumplida la VMF, los animales cosecharan material verde de calidad, y el material remanente servirá para asistir el nuevo rebrote.

El rebrote de la pastura luego de la defoliación está condicionado por el tejido fotosintético residual, carbohidratos y otras reservas, la tasa de crecimiento de las raíces y la absorción de nutrientes y agua, y la cantidad y actividad de los meristemas que sobrevivieron, dependiendo de la especie (Harris, 1978).

Conocer cuánto tarda en morir el forraje producido es importante para definir el período máximo que debería extenderse el intervalo de rotación de pastoreo (Agnusdei y Castaño, 2011).

2.2.2. Parámetros que definen el pastoreo: intensidad y frecuencia de defoliación

2.2.2.1. Intensidad

La carga animal es la principal variable de manejo que afecta el resultado físico-económico de un sistema bajo pastoreo y la persistencia productiva de la pastura sembrada. A nivel predial, el efecto de la carga animal se expresa a través de la presión de pastoreo, determinando la altura y por lo tanto el tamaño de los macollos, la cual puede ser manejada a través del balance entre la tasa de crecimiento, muerte y consumo de forraje por parte del animal, y que genéricamente se denomina intensidad de pastoreo (Lemaire y Chapman, 1996).

Durante los últimos años ha sido posible caracterizar la dinámica, generación y expansión de componentes de la estructura (proporción de verde, composición botánica, cantidad de forraje y dinámica de la defoliación) de las plantas y su impacto, a través de la regulación del consumo de forraje, en la toma de decisiones de manejo del pastoreo (Lemaire y Chapman 1996, García 2006).

Según Damanet et al. (2007) la intensidad de pastoreo indica el nivel de residuos que dejan los animales una vez pastoreada la pradera. Esto genera una regulación del consumo que se realiza con los animales y es un índice de medición de la eficiencia de cosecha de la pradera. La intensidad de pastoreo puede ser controlada a través de la altura del residuo o de la cantidad de fitomasa post-pastoreo.

Perrachón (2009) sostiene que la intensidad es la altura del forraje remanente luego del pastoreo. Un pastoreo intenso, significa hacerlo en forma rasante, y dejar poco forraje remanente (menos de 2 cm). Es lo que comúnmente se define como “sobre pastoreo”. Un pastoreo poco intenso, es menos rasante, dejando un forraje remanente mayor (5 cm de altura). Dejar un remanente de 5 cm adquiere mayor importancia, cuanto más frecuentes son los pastoreos y mayor es la temperatura ambiente, o en situaciones de déficit hídrico, como por ejemplo en verano. Es más perjudicial un sobre pastoreo en verano seco que durante el invierno. Un mal manejo en verano, disminuye la producción de la pastura a la mitad en el próximo otoño-invierno.

El área foliar que puede ser mantenida se relaciona de manera inversa con la intensidad de defoliación, dado que el pastoreo representa una pérdida de energía de las plantas, junto a esto un menor nivel de luz. La optimización del área foliar a bajas alturas de defoliación se logra a través del descenso en el tamaño de los macollos y el aumento de su densidad de población. Sin embargo, con una defoliación excesiva, el área foliar y la disponibilidad de sustrato se reducen tanto que la producción de nuevos macollos se suprime y la población disminuye en la medida que los macollos existentes mueren. Una

señal para la inducción de primordios y la producción de nuevos macollos es la alta relación rojo/rojo lejano, señal que se reduce en la medida que el área foliar aumenta (Matthew et al., 2000).

En el trabajo de Herken et al. (2019) se estudió la interacción entre la altura de remanente en verano y la densidad de macollos en el otoño siguiente, se observó que a mayor altura remanente existe una tendencia a aumentos en el número de macollos/m². Los resultados presentados constatan que remanentes de 6-7 cm de altura en relación a 13-17cm en verano provocan descensos entre 800 y 1000 macollos/m² para el cultivar INIA Fortuna. Por otro parte remanentes post pastoreo entre 14 y 17 cm en relación a 6-7cm en verano, provocan aumentos en el entorno a los 2000 macollos/m² para los cultivares de festuca INIA Aurora e INIA Fortuna.

Carballo (2014) constató que el manejo de diferentes intensidades de pastoreo en función de la altura genera pasturas diferentes en términos de distribución de las alturas y composición botánica. Los animales modifican su conducta en pastoreo al variar la intensidad de pastoreo en base a la altura de la pastura. Al disminuir la altura, los animales aumentan el tiempo de pastoreo como mecanismo de compensación del consumo. Animales pastoreando en pasturas bajas en condiciones muy restrictivas, obtienen dietas de mayor calidad, debido a la mayor calidad de la pastura disponible. El aumento del tiempo de pastoreo como principal mecanismo de compensación del consumo, hace que no se expresen diferencias en consumo o producción de leche en respuesta a la intensidad de pastoreo.

Según Long y Muñoz (2014) la altura del pastoreo afecta el comportamiento ingestivo de los animales el cual se ve reflejado en la producción de leche.

Becerra (2017) evaluando la producción de forraje de diferentes cultivares de festuca bajo tres intensidades de defoliación (3, 5 y 7 cm de forraje remanente) durante el período estival encontró efectos de la intensidad de defoliación con ventajas de manejar remanentes más altos (7 cm), el crecimiento de forraje se ve maximizado en la medida que se dispone de un área de lámina de hoja mayor (mayor índice de área foliar) para reiniciar el rebrote. Las diferencias en la producción de forraje comienzan a manifestarse al tercer y cuarto corte. En los primeros cortes las plantas reaccionan tratando de recomponerse frente al forraje retirado, siendo mayor el crecimiento por unidad de forraje remanente (lo que se denomina crecimiento compensatorio). En la medida que transcurre el tiempo, comienzan a disminuir las reservas que dispone la planta y la capacidad de exploración del suelo por disminución del sistema radicular, por tanto el crecimiento comienza a maximizarse con remanentes más altos.

En cuanto a la tasa de crecimiento del forraje para el manejo intenso se registraron crecimientos tempranos (fines de diciembre – principios de enero) y posteriormente y en cierta forma asociado a condiciones climáticas los rebrotes fueron insignificantes. Para el manejo aliviado se observó en general una mayor capacidad de rebrote a lo largo del período comprendido entre diciembre y marzo (Becerra, 2017).

2.2.2.2. Frecuencia

Harris (1978) define a la frecuencia como el intervalo de tiempo entre defoliaciones sucesivas, siendo uno de los parámetros en determinar la cuantificación del pastoreo.

Según Perrachón (2009) la frecuencia es el número de veces que el animal entra a pastorear a un mismo lugar y en concordancia con Gibb (2006) sostienen que la forma de saber cuándo entrar a pastorear es a través de la altura del pasto con una regla o estimar a “ojo” la producción de materia seca, ya que la altura relaciona el estado de la pastura y la mecánica de pastoreo.

Hodgson (1990) afirma que la altura de la pastura es el indicador más útil para los propósitos de manejo, siendo esta la variable más simple para predecir la respuesta, tanto de la pastura como del animal.

En un estudio realizado por Penning et al. (1995) se concluyó que la altura puede ser usada para controlar el consumo y la performance, debido a que una estructura característica se desarrolla como resultado del manejo de pastoreo propuesto.

Perrachón (2009) sostiene que la altura ideal para entrar a pastorear depende de la especie y la época del año. Se ha demostrado que existe una correlación entre la altura del pasto y producción de MS. Se encontró para festuca que los mejores resultados en producción de forraje se logran cuando la altura del pasto al ingresar los animales es de 15 a 20 cm. Esta altura se corresponde con una disponibilidad de 1,5 a 2 ton./ha de MS.

Chamblee et al. (1983) en concordancia con Jacques y Edmond (1952) aseguran que cuanto más corto es el período entre dos cosechas, menor será la producción de forraje.

Demagnet et al. (2007) sostienen que la frecuencia de uso que transcurre entre pastoreos está determinada por la disponibilidad de forraje que existe en cada época del año. Además según Carámbula (2010) también depende de la especie y la composición de la pastura, siendo determinante la velocidad de la pastura en alcanzar el volumen adecuado de forraje, aspecto que será demostrado en teoría por el IAF óptimo.

La frecuencia de pastoreo que se utiliza en un sistema ganadero determina la cantidad y calidad de forraje consumido por las categorías animales. Demanet et al. (2007) recomiendan para el verano en pasturas permanentes una altura de 8-10 cm, con una frecuencia de 30-40 días.

El manejo del pastoreo afecta la densidad de la pastura, pastoreos frecuentes y/o bajos promueven el macollaje, sumado a esto, el estado de la nutrición nitrogenada de festuca determina el efecto del manejo del pastoreo sobre la densidad de la población de macollos. Por lo tanto, con un adecuado suministro de nitrógeno, el pastoreo frecuente promueve el macollaje, mientras lo perjudica en condiciones de deficiencia nitrogenada (Scheneiter, 2018).

La frecuencia de defoliación tiene influencia tanto en la estación que se realiza, como también sobre las estaciones posteriores (Formoso, 1996).

Tanto las características del suelo como su capacidad de almacenamiento de agua, determinan mayores o menores frecuencias en primavera y verano (Zanoniani, 1998).

Las pasturas sometidas a períodos de descansos prolongados rinden relativamente más que aquellas sometidas a intervalos entre cortes o períodos de pastoreo más cortos. A las primeras se les brinda la oportunidad de crecer a una tasa máxima durante mayor tiempo, por lo tanto, rinden más. El dejar un rastrojo alto, así como emplear un intervalo prolongado entre períodos de pastoreo, son opciones mutuamente excluyentes. Las alternativas son: pastoreo intenso (bajo) con intervalos de descanso prolongados, o pastoreo aliviado con intervalos cortos entre períodos de pastoreo (Langer, citado por Cairús y Regusci, 2013).

2.3. PERSISTENCIA Y SUPERVIVENCIA ESTIVAL DE MACOLLOS

La falta de persistencia es definida según Parsons et al. (2011) como una disminución de la presencia física de las plantas de las especies sembradas en la pastura, la cual según Edwards et al. (2011a) se asocia con el fracaso de las especies sembradas para sobrevivir o con un crecimiento reducido debido al clima adverso o manejo inapropiado.

Según Jones (1986) los diversos factores que controlan la persistencia de las especies forrajeras se agrupan, en sentido amplio, en aquellos que pueden ser manejados y controlados por el hombre, y en aquellos en los que el hombre no puede intervenir. En el primer caso por ejemplo la carga animal, el sistema de pastoreo y la aplicación de fertilizantes. En el segundo caso la persistencia depende de la especie sembrada, recurso

genético, para el cual es posible encontrar persistencia vegetativa o persistencia reproductiva (capacidad de producción de semilla y/o resiembra natural) y el efecto del medio ambiente (tipo de suelo, drenaje, precipitaciones, etc.).

Para Edwards y Chapman (2011b) cuando se considera el componente de persistencia que está relacionado con la supervivencia de las plantas y la población, es evidente que, para que un pasto persista, cada planta, punto de crecimiento o macollo debe dejar atrás solo una descendencia. La densidad de población de las plantas sembradas se mantendrá estable si se cumple esta condición.

Jáuregui et al. (2018) en coincidencia con Lattanzi (2017) sostienen que las limitantes a la persistencia de pasturas C₃ en climas subtropicales es la ocurrencia de períodos de sequía y alta temperatura. Las plantas pueden tolerar el estrés aumentando la captura de agua e incrementando el desarrollo radical que puede ser afectado por el pastoreo o por la disponibilidad de nutrientes.

La persistencia de la pastura en pastoreo es fuertemente dependiente del establecimiento y mantenimiento de poblaciones de las unidades básicas de crecimiento de la planta, siendo en el caso de las gramíneas los macollos (Valentine y Matthew, 1999).

En festuca al igual que en otras gramíneas templadas, la densidad de macollos cumple una función relevante en la persistencia y producción de la pastura (Aperlo y Scheneiter, 2017), el cual está determinado por el continuo recambio de macollos que aparecen y mueren (Saccoccia y Scheneiter, 2017). Por lo tanto, el logro de densidades de macollos adecuadas es crucial a fines de primavera y principios de verano (Valentine y Matthew, 1999), cuando las tasas de mortalidad de los macollos tienden a aumentar. Lattanzi (2017) asegura que durante el verano (15 de diciembre al 15 de febrero) cuando los días son calurosos la producción de nuevos macollos es prácticamente nula.

Como se comentó anteriormente durante la primavera, una parte de los macollos pasan al estado reproductivo (encañazón, floración y semillazón) y una vez ocurrida la floración se detiene la producción de nuevas hojas y macollos (Aperlo y Scheneiter, 2017).

El pastoreo intenso en primavera tiene como objetivo reducir o eliminar los macollos florecidos (control de floración) y, con ello, los efectos negativos de la competencia que ejercen estas estructuras florales sobre el desarrollo y supervivencia de macollos hijos (Saccoccia y Scheneiter, 2017).

La defoliación es un factor clave, determinante de la supervivencia, tamaño y densidad poblacional de macollos. La defoliación interrumpe el suministro de energía de la planta y desencadena respuestas como la redistribución de carbono y asimilados a las

zonas meristemáticas de la hoja y la movilización de reservas de carbohidratos (Briske y Richards, 1995).

La persistencia de los pastos está fuertemente ligada a cómo las unidades de crecimiento responden a la frecuencia, severidad y momento de la defoliación (Harris, 1978).

En un experimento de Jáuregui et al. (2016) en festuca en un ambiente subtropical plantearon como hipótesis que el pastoreo intenso en invierno (para eliminar los tallos reproductivos, “control de la floración”) y la fertilidad con nitrógeno en la primavera mejorarían la supervivencia del macollo durante el verano y por lo tanto aumentaría la densidad de macollos, se observó que pocos macollos aparecieron a fines de la primavera y en el verano por lo que daría a pensar que la densidad de macollos depende de la dinámica de los macollos vegetativos presentes en la primavera.

A diferencia de las gramíneas en ambiente templado, la persistencia de la festuca parecía seguir una “vía vegetativa”; es decir, los nuevos macollos vegetativos que se produjeron en el otoño fueron producto de los macollos que sobrevivieron en el verano. En este estudio la perennidad parece basarse en el corte de macollos vegetativos presentes en primavera, que constituyen más del 60% de la población de macollos vegetativos presentes en el otoño siguiente, de hecho las tasas de aparición de macollos a fines de la primavera y verano fueron bajas o muy bajas.

El período de primavera con masas bajas de forraje no solo ayuda para controlar la floración sino que también promueve una combinación de procesos que incluyen la reducción de estrés por defoliación ayudando a la supervivencia de los macollos y puntos de crecimiento, así como el tamaño general de los macollos como respuesta compensatoria de la densidad de macollos que se produce al reducir la altura de pastoreo (Matthew et al., 2000).

En cuanto a esto, Scheneiter (2018) señala que cuando se permite que los macollos reproductivos permanezcan hasta floración, el efecto sobre la aparición y supervivencia se manifiesta hasta diciembre con una depresión en la densidad de macollos en comparación a una eliminación más temprano. Si bien, con este manejo hay una elevada tasa relativa de aparición temprano en primavera, esta es seguida en octubre, en presencia de tallos florales, por una alta tasa relativa de muerte de macollos, esto puede estar dado según Korte et al. (1984), Huillier (1987) por la competencia de nutrientes de la inflorescencia en desarrollo que puede tener un efecto negativo en la supervivencia de macollo.

Luego de removidos los tallos florales, la densidad de macollos se incrementa relativamente más que con la eliminación más temprana diferenciándose claramente de los otros tratamientos en el otoño.

Según Thom (1991) los macollos vegetativos que se vuelven reproductivos tienen una probabilidad mucho mayor ($p=0,24$ por semana) de morir en comparación con los que se vuelven vegetativos ($p=0,09$ por semana).

A partir de esto el pastoreo severo ha sido recomendado como una herramienta de manejo para fomentar el crecimiento de brotes vegetativos a partir de brotes basales (Korte et al., 1984).

La mayor supervivencia se puede reflejar a partir de una mejor nutrición de macollos hijos a partir de un macollo parental con un fuerte crecimiento combinado con la reabsorción de nutrientes del macollo defoliado en desarrollo (Edwards y Chapman, 2011b).

El cambio en el manejo del pastoreo en verano para capitalizar ganancias en la densidad de macollos puede permitir una mayor expresión del potencial de crecimiento de la pastura en otros momentos del año cuando la escasez estacional de la producción es de mayor importancia (Brock y Hay, 1993).

Si se realizan pastoreos intensos y abusivos en verano se puede afectar desfavorablemente los rebrotes del otoño, el cual es un atributo en esta especie considerada como gramínea precoz (Carámbula, 2010).

Lattanzi (2017) recomienda remanentes de 8 a 10 cm a principios de diciembre, que no dejen suelo descubierto. En la misma línea, Scheneiter (2018) señala que pastoreos frecuentes con baja masa de forraje en verano conducen a un deterioro de la estructura de la pastura y la persistencia.

Becerra (2017) registra un máximo de 85% y un mínimo de 67% de sobrevivencia de macollos durante el período estival siendo el período entre el 15 de enero y el 22 de febrero cuando se dio la mayor disminución en el número de macollos vivos, coincidiendo con el período que registra las menores lluvias, por otra parte reporta las mayores pérdidas de macollos con los momentos en que ocurren altas temperaturas lo que confirma que la sobrevivencia de macollos en festuca se ve comprometida por encima de 30°C, siendo muy comprometida por encima de 35°C, lo que coincide con Lattanzi (2017), Herken et al. (2019) que atribuyen las pérdidas de macollos por efecto de altas temperaturas. En este trabajo no se registraron efectos del manejo (aliviado o intenso) en la sobrevivencia de macollos.

En el trabajo de Herken et al. (2019) se evaluó la sobrevivencia estival de macollos en dos cultivares de festuca INIA Fortuna e INIA Aurora bajo dos regímenes de forraje remanente (corte a 3 vs. 10 cm), inoculados o no con el hongo endófito AR584. Los resultados reportan mayor sobrevivencia de macollos para INIA Fortuna en tratamientos manejados a 10 cm en comparación a los manejados a 3 cm, independientemente de si fueron inoculados o no. Al finalizar el ensayo evaluado entre el 14 de diciembre de 2016 y 9 de mayo de 2017 los cortes a 10 cm mantuvieron un 17% más de sobrevivencia que los cortes a 3 cm (74 vs. 57% respectivamente) cuando la mayor pendiente de disminución se da al igual que Becerra (2017) en el período estival, para éste caso entre el 14 de diciembre y el 13 de enero (disminuyendo un 53% con 3 cm y entre 0 a 23% con 10 cm).

Herken et al. (2019) no encontraron efectos significativos por altura de corte entre 3 y 10 cm para los cultivares INIA Aurora, reportando 56 y 52% de sobrevivencia respectivamente. En los cortes 3 cm ocurrieron descensos máximos de 14% entre el 13 de enero y 30 de marzo, en el caso de 10 cm el máximo fue de 17% entre el período 14 de diciembre y 13 enero. A modo general para este trabajo en particular Fortuna presentó una sobrevivencia del 11% superior a Aurora. Cabe destacar que la disponibilidad hídrica no fue una limitante por lo que se destaca el efecto de las altas temperaturas sobre la sobrevivencia estival de macollos, asegurando que las temperaturas por encima de 30°C reducen el crecimiento y por sobre 35°C provocan la muerte de los macollos, aumentando aún más la incidencia en un 18% a nivel de césped.

En el verano se han registrado porcentajes de sobrevivencia de macollos del 80, 76 y 67% para las variedades Fortuna, Aurora y Kentucky 31 respectivamente (Becerra, 2017).

El manejo de la defoliación para mejorar la densidad de los macollos en una sequía también puede resultar en una recuperación más rápida tras el alivio de la sequía (Barker et al. 1985, Kemp y Culvenor 1994).

Según Lattanzi (2017) el riego puede mejorar la persistencia de la festuca, pero sin respuesta clara en cuanto a mejoras en la temperatura a nivel de suelo o a mejoras en la vida de la pastura en sí.

Cruz y Boval (2000) de acuerdo con Jones (1986), Harris et al. (1996) sostienen que la fertilización también es un factor que afecta la supervivencia de los macollos, ya que se ha demostrado que el suministro de nitrógeno induce a un mayor “llenado del sitio” y mayores tasas de aparición de macollos.

En el experimento de Jáuregui et al. (2018) se constata que la supervivencia de macollos en el período estival se asocia al tamaño del sistema radicular que le permite tolerar el estrés hídrico, el cual varió con el estado nutricional de la pastura, intensidad de pastoreo y disponibilidad hídrica. Contrario a lo esperado, se observó una relación inversa entre la longitud radicular y la supervivencia estival de macollos, pareciera que los mayores costos de sistemas radiculares grandes en festuca comprometen la supervivencia de macollos. Esto indicaría que, en ambientes subtropicales, el principal factor que limita la supervivencia no es la sequía, sino probablemente la elevada temperatura.

Según Becerra (2017) las altas temperaturas podrían tener incidencia en la muerte de macollos, efecto que se vería aumentando a medida que el forraje que cubre el suelo sea menor y por ende la exposición de macollos sea mayor. Las temperaturas a nivel del suelo son mayores a las ambientales, comprometiendo muchísimo los puntos de crecimiento a 1 o 2 cm por debajo del suelo (Lattanzi, 2017).

En condiciones para el crecimiento y estructura de la planta la primavera parece ser la temporada clave, mientras que la tasa de reclutamiento de nuevos macollos es generalmente alta durante este tiempo, las tasas de muerte también son altas (Edwards y Chapman, 2011b).

2.4. EFECTO DE NITRÓGENO

El nitrógeno es el nutriente que con mayor frecuencia limita el crecimiento y la calidad de las gramíneas en pasturas monofíticas o consociadas con leguminosas (Marino y Agnusdei, 2007a), y se hace más importante su consideración cuanto más intensiva se vuelva la producción (Alesandri y Alesandri, 2009).

Es un nutriente altamente móvil e inestable en el ambiente pudiendo hallarse en estado sólido, líquido o gaseoso, y pasar de uno a otro estado rápidamente. Las plantas pueden utilizar el N disponible (bajo la forma de NO_3^- y/o NH_4^+) proveniente de diversas fuentes: la solución del suelo, la fijación simbiótica por las leguminosas, las deyecciones animales, los suplementos ofrecidos a los animales y los fertilizantes.

Por otra parte, las vías de egreso o pérdidas de N son varias, algunas deseables (como carne, leche o lana producidas a partir del consumo de la pastura) y otras indeseables (lavado de nitratos, escurrimiento del N disuelto en la solución del suelo, pérdidas gaseosas a partir de la desnitrificación o volatilización, etc.). Estas últimas pérdidas pueden reducir la cantidad de N disponible y dificultar su captura por las plantas (Marino y Agnusdei, 2007a).

La disponibilidad de nutrientes en el suelo varia a lo largo del año dado que es afectado por los factores climáticos (fundamentalmente la temperatura y la disponibilidad del agua) que controla las reacciones químicas y la actividad microbiana del suelo. En verano se registran altas tasas de mineralización de la materia orgánica y la mayor disponibilidad de N en la solución del suelo, contrariamente en invierno la disponibilidad es mínima (Echeverría y Bergonzi, 1995).

La fertilidad de los suelos es un factor clave para el crecimiento de las plantas y tiene una gran influencia sobre la productividad y la calidad del forraje, en especial con referencia a su contenido de proteína cruda (Robinson et al., 2006).

Mediante la fertilización nitrogenada se logra entre otros aspectos, buenos rendimientos, promoción de crecimiento de los cultivos más tempranos en el tiempo, con lo cual se adelanta la fecha del primer pastoreo y prolongan los períodos de crecimiento entre otras cosas. Además de esto, la utilización de fertilizantes nitrogenados permite maximizar la utilización de los recursos naturales con los que se cuenta, de manera que permite aumentar la producción de forraje manteniendo estable la superficie utilizada (Alesandri y Alesandri, 2009).

Murdock (1982) evaluando urea y nitrato de amonio como fuente de nitrógeno, en cuatro años de observaciones llegó a la conclusión que la efectividad de la urea para festuca fue dependiente del momento de aplicación. Se encontró que la baja respuesta a la urea se debió a pérdidas por volatilización de amoníaco. La respuesta relativa a la urea fue mayor cuando llovía un mínimo de 2,5 mm antes del tercer día luego de la aplicación. No se encontraron diferencias entre precipitaciones de 2,5 hasta 20 mm; y con estas condiciones, las pérdidas por volatilización fueron mínimas.

Fox y Hoffman (1981) encontraron pérdidas de urea por volatilización cuando se aplicó sin incorporarla mecánicamente las cuales fueron muy pequeñas si ocurrían precipitaciones de por lo menos 10 mm dentro de los tres días de aplicado. Las pérdidas pueden ser mayores a 30% si se dan precipitaciones en los seis días después de aplicado.

Se podría decir que el factor que más influye en las pérdidas por volatilización es el tiempo entre la aplicación y la presencia de agua, ya sea por precipitaciones o riego, independientemente de la cantidad de agua presente. El efecto del agua será incorporar la urea al suelo para que la hidrólisis ocurra debajo de la superficie para disminuir las pérdidas por volatilización del amoníaco.

Stillwell y Woodmansee (1981) encontraron que en presencia de ureasa y una adecuada humedad y temperatura del suelo, la hidrólisis de la urea se completaba en cuatro días.

Chao y Kroontje (1964) sostienen que las pérdidas de agua por evaporación son necesarias para que se dé la pérdida por volatilización del amoníaco. Estos autores encontraron que la volatilización del amoníaco en superficie depende de muchos factores durante la hidrólisis como: alta temperatura del suelo y aire, alto pH, movimiento del aire, tiempo seco y suelo secándose; pero lo más importante es la temperatura y el contenido de agua del suelo.

En este sentido, Morón (1996) explica qué en el caso de aplicar un fertilizante nitrogenado como la urea en cobertura, las mayores pérdidas de nitrógeno por volatilización se producen cuando la aplicación se realiza sobre un suelo húmedo que se seca rápidamente, que también sucede en condiciones de alto rocío. Por otro lado, las pérdidas generales no son importantes en los casos en que el fertilizante se aplica sobre suelo húmedo y éste permanece húmedo, o sobre suelo seco y permanece seco. En el primer caso porque la humedad alcanza para que el amonio penetre en el suelo, ya sea convertido en nitratos, y en el segundo caso porque la humedad no sería suficiente para disolver el gránulo.

En un experimento realizado por Gorriti y Pérez Del Castillo (1998) en el muestreo posterior a la aplicación del nitrógeno (33 días), se observó un amarillamiento en las parcelas en que se incorporó urea, constatando un menor crecimiento que podría estar explicado por el daño mecánico de la incorporación y/o el daño ocasionado a las plantas por las excesivas concentraciones de nitrógeno que pudo provocar una intoxicación por amonio. Dicho efecto se vio acentuado porque al día siguiente de la aplicación ocurrieron precipitaciones favoreciendo la absorción del nitrógeno, pero posteriormente durante un período de un mes las precipitaciones fueron de escasa magnitud, lo cual no permitió traducirse en mayor producción de materia seca.

2.4.1. Efecto de nitrógeno en pasturas sembradas

En sistemas de producción animal, la fertilización nitrogenada es una herramienta de alto impacto económico y ambiental (Lattanzi y Mazzanti, 1997). Para incrementar los niveles de producción y rentabilidad en los sistemas agropecuarios de la región, sin deteriorar el medio ambiente es importante desarrollar estrategias de fertilización tendientes a incrementar la eficiencia de uso de los nutrientes (Marino y Agnusdei, 2007a).

Según Akmal y Janssens (2004) con frecuencia la disponibilidad de nitrógeno en el suelo no es suficiente para abastecer los requerimientos de las pasturas por lo que la producción de forraje resulta inferior al potencial para un ambiente determinado. Pasturas

sin deficiencias nutricionales utilizarían más eficientemente los recursos del ambiente que aquellas con restricciones en la disponibilidad de nutrientes.

Cuando no existen deficiencias de otros nutrientes, los principales factores que afectan la respuesta a la aplicación de nitrógeno son: la temperatura (Lemaire et al., 1982) y la disponibilidad de agua (González - Dugo et al., 2005).

Variaciones estacionales en las condiciones ambientales, así como cambios en los requerimientos de N en la planta según la etapa de crecimiento modificarían la eficiencia de uso del fertilizante aplicado en distintas épocas. El conocimiento de las respuestas estacionales en el crecimiento de las pasturas a la fertilización nitrogenada permitirá ajustar dosis y momento de aplicación para aumentar la eficiencia de uso, minimizando los riesgos de perjuicio ambiental y contribuyendo a la sustentabilidad de los sistemas productivos (Marino y Agnusdei, 2007b).

Marino y Agnusdei (2005) definen el período crítico para el crecimiento de las gramíneas forrajeras perennes templadas, considerando que el crecimiento es prácticamente nulo con temperaturas inferiores a 4-5°C y crecen poco entre 5-9°C. Cuando se superan estos valores térmicos las especies templadas aumentan las tasas de crecimiento y, consecuentemente, la demanda de nutrientes en respuesta al gradual incremento de la temperatura. Hay que tener en cuenta las condiciones climáticas, ya que cuando la temperatura o el agua restringen el crecimiento de las plantas no se obtendrá la respuesta esperada de la fertilización.

Fernández (2001) en un experimento evaluando el efecto de la fertilización nitrogenada sobre pasturas anuales y perennes como *Lolium multiflorum* y especies del género *Bromus*, *Stipa* y *Piptochaetium* llevado a cabo en Balcarce, Argentina, constata que hay un aumento significativo de la acumulación de forraje lo que evidenció una alta dependencia temporal de la respuesta del crecimiento a la fertilización nitrogenada.

Según Mazzanti et al. (1994) la acumulación de forraje, que varía según las dosis de nitrógeno aplicado, podrá estar dada por diferencias en la densidad de macollos. De acuerdo con Gastal et al. (1992) es posible afirmar que distintos niveles de fertilización generan diferente longitud foliar, lo cual refleja capacidad diferencial de captar una mayor energía lumínica y por lo tanto mayor acumulación de forraje. En este experimento también fue posible constatar que frente a una fertilización nitrogenada se adelanta la acumulación de forraje, resultados que coinciden con los obtenidos por Mazzanti et al. (1994), Marino y Agnusdei (2007a).

2.4.2. Efecto de nitrógeno en *Festuca arundinacea*

La fertilización nitrogenada de festuca es una herramienta muy importante para incrementar su producción (Sardiña et al., 2009). Las gramíneas aportan el mayor volumen de forraje para la producción ganadera y la disponibilidad de nitrógeno como nutriente en ausencia de otros factores limitantes, es lo más importante para maximizar su producción (Gorriti y Pérez Del Castillo, 1998).

Carámbula (2010) señala que la festuca, dada su alta producción y rápido rebrote necesita disponer de muy buena fertilidad, si se quieren aprovechar sus características más sobresalientes. Es por ello que esta especie necesita un suministro de nitrógeno importante, ya sea a través de fertilización nitrogenada o mediante la siembra de leguminosas asociadas.

Según Tamm et al. (2018) para equilibrar la necesidad nitrógeno vía fijación biológica es favorable la incorporación de leguminosas en mezcla con las gramíneas. Al elegir la leguminosa se debe considerar la tasa de desarrollo fenológico de la especie, la persistencia y el valor nutritivo. En un experimento realizado por estos autores se pudo constatar que el fertilizante nitrogenado utilizado en agricultura convencional aumentó el rendimiento de materia seca y el contenido de proteína cruda del forraje.

Cuando la festuca no dispone de un adecuado nivel de nitrógeno, cambia radicalmente su comportamiento, se torna amarillenta, rebrota lentamente y su forraje es poco apetecido o rechazado por los animales (Carámbula, 2010).

Según Matches (1966) períodos prolongados de pastoreo intensivo pueden llegar a ser desfavorables para el crecimiento de la festuca, y con una fertilidad adecuada esta especie acepta defoliaciones más o menos severas siempre que previamente se permita crecer la pastura aproximadamente un 50% más alta que la altura del rastrojo que se piensa dejar. Según Sardiña et al. (2009) puede ser un forraje de buena calidad si es bien manejada, permitiendo incrementar la carga y mejorar la productividad del sistema.

La respuesta a la fertilización nitrogenada depende de varios factores, entre ellos la tasa de crecimiento de la pastura en las diferentes estaciones del año. Se pudo observar que a fines de invierno e inicio de la primavera las tasas de crecimiento de muchas especies resultan máximas, ya que en dicho momento se da el pasaje en la planta a estado reproductivo que encaña, florece y semilla, inducida por condiciones climáticas (Marino et al., 2001). En verano, el crecimiento disminuye ya que se encuentran en avanzado estado reproductivo y, además, en este período suele existir bajo almacenamiento de agua (Marino y Agnusdei, 2005). En otoño además de existir bajas tasas de crecimiento, el suelo cuenta con el nitrógeno mineralizado en el período estival, por lo que la respuesta a

la fertilización nitrogenada resulta menor. En invierno, por las bajas temperaturas y radiación, las tasas de mineralización disminuyen y también los niveles de nutrientes. Es esencial conocer estos aspectos a la hora de decidir fertilizar, además ayuda a orientar al productor en el momento que se adoptan prácticas de manejo (Sardiña et al., 2009).

Sardiña et al. (2009) aseguran que la remoción total de nutrientes aumenta a medida que aumenta la producción. Robinson et al. (2006) constatan que la utilización o remoción de nutrientes en los cultivos cosechados es el producto entre la concentración de nutrientes y la producción de forraje, reportando valores de remoción para festuca de 19 kg/ha de N/ton. MS.

Según Gorriti y Pérez Del Castillo (1998) la fertilización debe ser realizada de forma tal de obtener un buen balance entre el desarrollo vegetativo y reproductivo, así fertilizaciones de otoño favorecen un mayor número de macollos y permiten una buena supervivencia de los mismos en el invierno. En tanto que la fertilización de primavera provee nutrientes para el desarrollo de macollos fértiles lográndose un mayor rendimiento por inflorescencia.

Sardiña et al. (2009) evaluando la producción acumulada de materia seca y la eficiencia de uso del nitrógeno (EUN) vieron que la fertilización nitrogenada generó un incremento lineal de la producción acumulada solo durante la primavera, en cuanto a otoño y verano la producción acumulada aumentó, pero igualmente eran inferiores a las de la primavera.

Jáuregui et al. (2016) en un experimento realizado en Facultad de Agronomía. EEMAC (Estación Experimental “Mario A. Cassinoni”), en Paysandú, encuentran que la aplicación de nitrógeno incrementa el número de macollos vegetativos en otoño e invierno, así como también la población media de macollos en febrero. La fertilización con nitrógeno afectó las tasas de muerte de macollos en diciembre, para el cual el 32% de la población total de macollos murió en los tratamientos no fertilizados, mientras que este valor baja a 17% cuando se fertilizó.

La fertilización con nitrógeno y el manejo del pastoreo al final del invierno fueron factores importantes que afectaron la supervivencia de los macollos vegetativos durante el verano, las tasas de supervivencia de macollos fueron más bajas en el tratamiento que no se aplicó nitrógeno. Las tasas de muerte de macollos fueron máximas en el tratamiento sin nitrógeno durante diciembre, casi duplicando los valores en comparación a los tratamientos fertilizados, en este período fue evidente una correlación positiva de la supervivencia de tallos y el tamaño de estos. En general macollos más pesados sobreviven más. El nitrógeno incrementó el tamaño y la supervivencia de los macollos, mientras que el pastoreo laxo aumentó el tamaño de los macollos, pero disminuyó la supervivencia. La

tasa de aparición de macollos fue influenciada positivamente por la fertilización con nitrógeno, sin embargo no hubo diferencias estadísticas en la tasa relativa de macollaje en relación a la dosis de nitrógeno.

Rodríguez et al. (2007) evaluaron el efecto de la fertilización nitrogenada y el momento de aplicación (otoño o primavera), para la cual la variable analizada fue el número de macollos por planta ya que esta variable estructural refleja la respuesta morfogénica a la disponibilidad de nutrientes. Se encontró que la fertilización nitrogenada en otoño favoreció notoriamente el macollaje, siendo en los meses de julio y octubre cuando se encuentra la mayor cantidad de macollos por planta, época que se dan las condiciones térmicas (11°C de temperatura media de junio y setiembre) más propicias para la festuca, respuesta que se explica por la baja disponibilidad de nitratos en el suelo debido a la baja tasa de mineralización en la estación fría (Vázquez y Barberis, 1982) que limita el crecimiento. Esta restricción fue superada por el aporte de nitrógeno en el otoño. En primavera no hubo efecto de la fertilización nitrogenada, esto pudo deberse en parte a que en la estación cálida es mayor la disponibilidad de nitratos en el suelo (Vázquez y Barberis, 1982).

En un experimento llevado a cabo por Marino y Agnusdei (2007a) se pudo observar una interacción en la acumulación de forraje (AF, kg MS/ha) y la fertilización con N, los cuales incrementaron significativamente la AF, hasta duplicar el valor alcanzado por el tratamiento testigo (N0). Además, se constató que los tratamientos fertilizados adelantaron su máxima AF con respecto al N0, atribuible a mayores tasas de crecimiento de los fertilizados, esto concuerda con trabajos de Mazzanti et al. (1997), Lattanzi (1998).

La eficiencia de uso del nitrógeno (EUN) varía a lo largo del año, con valores mínimos en otoño, intermedios en primavera tardía y máximos en invierno y primavera temprana.

En todos los tratamientos fertilizados se registró un incremento significativo del índice de área foliar y de la radiación fotosintéticamente activa interceptada en respuesta a la aplicación de N. Los resultados experimentales confirman que, aún en condiciones ambientales que restringieron el crecimiento de las pasturas (escasas precipitaciones y/o bajas temperaturas), pudo detectarse un efecto positivo de la aplicación de N con una mayor y más rápida expansión foliar y una mayor captura de radiación que los tratamientos testigos.

Sin embargo, comparativamente con experimentos realizados en condiciones hídricas más favorables (Lattanzi, 1998) la acumulación de forraje fue de menor magnitud y/o se logró en períodos de rebrote más prolongados, particularmente en primavera tardía

y otoño. Esto podría asociarse con las escasas precipitaciones y una marcada restricción hídrica en dicho período.

Las diferencias observadas en la acumulación de forraje de cada período entre las dosis de N evaluadas sugieren una mayor eficiencia estacional de uso de precipitaciones para las pasturas fertilizadas en relación con el testigo. Según Passioura (2006) el acelerar el establecimiento de la cubierta vegetal minimiza las pérdidas por evaporación desde el suelo y esto explicaría en gran medida un aumento en la eficiencia de uso de las precipitaciones con respecto a los tratamientos con deficiencias nutricionales.

En general la eficiencia en el uso de la radiación (EUR) difirió según la época considerada, en los que tratamientos fertilizados presentaron EUR significativamente mayores que N0. La EUR en otoño y primavera tardía fueron menores a las reportadas en otros experimentos, atribuible a las escasas precipitaciones y bajas temperaturas que habían acentuado la disminución en la eficiencia de uso de los recursos.

La fertilización nitrogenada generó un incremento en la biomasa radical en un año seco con pastoreos infrecuentes y la redujo en un año húmedo con pastoreos frecuentes, observando que el tamaño del sistema radical se asocia con la tasa de supervivencia de macollos (Jáuregui et al., 2018).

Miñon (2013) determinó un aumento de la acumulación de materia seca a medida que se incrementó la dosis de nitrógeno, quienes constataron que en el primer corte todos los tratamientos fertilizados se diferenciaron significativamente del testigo (N0), obteniendo una relación de eficiencia de conversión de alrededor de 23 kg MS por kg de N aplicado.

Según Gorriti y Pérez Del Castillo (1998), parecería no haber respuesta a niveles superiores a 120 unidades de N agregado. Asimismo, estos autores observan que la aplicación de N al voleo permite tasas de crecimiento constantes a lo largo del tiempo. En la etapa vegetativa se obtuvieron diferencias significativas en cuanto a producción de materia seca entre el testigo y el resto de los tratamientos.

En un experimento llevado a cabo por Bazzigalupi y Bertín (2014), en el Norte de Buenos Aires se observó que el número de panojas, el peso de 1000 semillas, el porcentaje de germinación y el rendimiento fueron afectados significativamente por las dosis de N. Sin nitrógeno se logran rendimientos de semilla pura de 600 kg/ha, que fueron elevados por el agregado de nitrógeno hasta 66%.

Según Hampton et al. (1983) el nitrógeno es el nutriente más importante para la producción de semilla, por otra parte Hare y Rolston (1990) encontraron que el número de flores por panoja se logró incrementar con fertilización nitrogenada. Con dosis subóptimas se pierde potencial de rendimiento y el exceso ocasiona ineficiencias y pérdidas de nitrógeno por lavado, con el consecuente perjuicio económico y ambiental (Gislum et al., 2007).

2.5. EFECTO DE RIEGO

2.5.1. Efecto de riego en pasturas sembradas

El potencial de los sistemas de producción agropecuarios del Uruguay es altamente dependiente del régimen de precipitaciones. Durante el verano, y en condiciones promedio, el contenido de agua disponible de los suelos no satisface la demanda de los cultivos y pasturas (Sawchik et al., 2010) debido a las altas evapotranspiraciones (Boggiano et al., 2014), por lo que se verifican frecuentemente impactos negativos en la producción de cultivos anuales y perennes.

Los suelos uruguayos presentan una capacidad de almacenaje de agua que oscila entre 60 y 180 mm de agua disponible (Molfino y Califra, 2001), lo cual representa en el mejor de los casos el 50% de aporte para la persistencia y/o producción de materia seca en cantidad y calidad de algunas forrajeras utilizadas en los sistemas de producción del país (Sawchik et al., 2010).

Según Giorello et al. (2012) la acentuada variabilidad en las precipitaciones durante el verano genera un problema mayor en la producción ganadera ya que la imprevisibilidad de los fenómenos genera incertidumbre sobre cómo actuar en consecuencia.

Existe una alta dependencia de la recarga hídrica del suelo, tanto del momento como de la magnitud, para satisfacer las demandas de los cultivos y pasturas, lo cual según Boggiano et al. (2014) afecta directamente su producción y persistencia. Los eventos de déficit hídrico impactan muy fuertemente sobre el ingreso y la estructura de la unidad de producción encareciendo y aumentando la variabilidad de los costos de alimentación.

Según Shao et al. (2008) el estrés hídrico es el principal problema en la agricultura y la capacidad de soportar dicho estrés es de gran importancia económica. La tolerancia al estrés hídrico implica cambios en la bioquímica celular y respuestas fisiológicas los cuales varían con la severidad y la duración afectando las funciones normales de la planta.

Cuando comienza el estrés hídrico la planta disminuye o detiene sus funciones fisiológicas básicas. Al disminuir el contenido de agua en la planta, las células pierden turgencia, se detiene la expansión celular y con ello disminuye el crecimiento de las hojas, transpira menos y conserva el agua limitante en el suelo para su uso por períodos más prolongados, considerando la reducción del área foliar como la primera línea de defensa frente al estrés hídrico para el que se observa un aspecto marchito en las hojas (Moreno, 2009).

Si las condiciones de estrés hídrico continúan se reduce el consumo de carbono y energía (afectando negativamente el proceso de fotosíntesis), se da una redistribución de fotoasimilados hacia las raíces y se genera una disminución de la relación vástago/raíz, para el cual las raíces crecen preferentemente hacia capas más profundas del suelo. En la mayoría de las especies, la habilidad de traslocar fotoasimilados es el factor clave de resistencia a la sequía (Moreno, 2009).

Cuando la falta de agua es muy severa, la mayoría de las plantas poseen también la capacidad de responder mediante el ajuste osmótico, el cual consiste en direccionar el movimiento del agua mediante diferencia de potencial hídrico en relación con su ambiente. El potencial hídrico será más bajo (más negativo) cuanto mayor sea la concentración de iones y solutos en las células, lo que tiene como consecuencia la entrada de agua a la célula. Mediante el ajuste osmótico la planta es capaz de mantener la elongación celular, la turgencia de sus hojas y facilitar el intercambio gaseoso aun cuando el agua es escasa (Moreno, 2009).

Cuando el estrés hídrico se da de forma severa puede provocar la detención de la fotosíntesis, la alteración del metabolismo y finalmente la muerte (Moreno, 2009).

De acuerdo con Sawchik y Formoso (2000), Sawchik et al. (2010), Giorello et al. (2012) el riego suplementario aplicado a cultivos agrícolas y forrajeros puede ser una estrategia poderosa no sólo para atenuar las crisis en años de sequía sino fundamentalmente para estabilizar e incrementar la producción por unidad de superficie, asegurar el potencial de rendimiento y lograr el aumento de la persistencia de la pastura.

En general, las especies de clima templado tipo C₃ presentan su máxima actividad fotosintética entre 18,3 y 23,9 °C, mientras que las tropicales entre 29,4 y 37,8 °C, por lo que se siembran y se riegan más especies de clima templado ya que pueden producir a bajas tasas durante el verano, mientras que las tropicales no producen en invierno, aún bajo riego (Volesky et al., 2010). Existe información nacional y regional que registra rendimientos promedios de las pasturas regadas entre 10-17 kg de materia seca por milímetro aplicado (Formoso y Norbis, 2014).

El uso de agua para riego de pasturas es reducido y al ser una tecnología de alto costo se debe limitar a aquellas especies que presenten una alta eficiencia de uso del agua para la producción de forraje, de forma de reducir el área a regar sin sobredimensionar los equipos y los costos (Boggiano et al., 2014).

Según Giorello et al. (2012), la aplicación del riego estará determinada por el retorno económico esperado, que tendrá en cuenta el costo del volumen de agua (mm) aplicado y la respuesta productiva de las diferentes alternativas a regar.

El correcto uso de los diferentes factores de producción se hace cada vez más importante en la medida que estos son más costosos, tanto desde el punto de vista económico como energético. En los sistemas bajo riego, el correcto uso del agua es el punto central, más allá del almacenaje, conducción, aplicación y distribución del agua en las parcelas. La eficiencia de utilización del agua (kg MS producida por mm recibidos por riego más precipitaciones) es un indicador del correcto uso del recurso (Cardozo y Marchelli, 2017).

Para diseñar y operar correctamente un riego se debe conocer la lámina neta que se deberá aplicar a un determinado cultivo en determinado suelo, la cual depende de la profundidad del suelo explorado por las raíces, del abatimiento máximo permitido del agua en el suelo y de los parámetros hídricos del suelo: capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y el agua disponible (AD). Se entiende a la CC al contenido de agua que tiene un suelo después que se saturó y drenó libremente por espacio de 24 a 72 horas, éste es el límite máximo de agua utilizable por las plantas, y representa el máximo nivel de confort hídrico para los cultivos. El PMP es el contenido de agua que tiene un suelo cuando el cultivo extrajo toda el agua utilizable, en el suelo queda un cierto contenido de agua, pero tan fuertemente retenida que no es extraíble por el cultivo. El AD es el agua total que puede extraer un cultivo del suelo, es la diferencia entre el contenido de agua a CC y el contenido de agua a PMP (García et al., s.f.).

La presencia de malezas en cultivos de verano interfiere en el desarrollo de los mismos de manera muy importante, fundamentalmente a causa de la competencia por luz, nutrientes y en particular y sobre todo, agua. En condiciones de producción bajo riego, la utilización efectiva y eficiente del agua agregada es un factor relevante, no solo para el logro de altos rendimientos físicos de la pastura, sino también por los costos de la aplicación del riego y el resultado económico final del sistema de producción. Por tal motivo es que, en áreas de producción bajo riego, un buen control de malezas es un objetivo clave a alcanzar, a fines de que el agua aplicada sea utilizada mayoritariamente por la pastura y no por otras especies vegetales presentes en la chacra (Sawchik y Formoso, 2000).

2.5.1.1. Tipo de riegos para las pasturas sembradas

En los últimos años se ha dado en Uruguay un importante incremento del área de cultivos extensivos bajo riego, probablemente dado por la marcada variación climática que incrementó la probabilidad de fracasos y bajos rendimientos en los cultivos. Asimismo, se ha dado una intensificación de la producción con un aumento de las necesidades de agua por unidad de área, ya que la tierra es probablemente el factor más limitante para el crecimiento del área productiva en el presente (García, 2010).

El conocer la cantidad de agua almacenada en el perfil del suelo así como la infiltración de agua, y la cantidad de agua que aplica el equipo es de fundamental importancia para poder hacer una programación correcta durante el período que se quiere utilizar el riego.

Es importante tener algún instrumento de verificación sobre las condiciones de humedad del suelo en la zona de crecimiento de las raíces y los mismos pueden ser tan simples como un taladro o tan complejo como una sonda de neutrones, FDR o imagen satelital dependiendo de cada situación en particular (García y Otero, 2017).

El viento afecta la homogeneidad del riego (Formoso y Norbis, 2014). Según Facil et al. (2005) en riego por superficie el viento no es un factor que afecte la calidad del riego, sin embargo en riego por aspersión el efecto del viento es mucho mayor.

El riego por aspersión efectuado en condiciones de viento no es tan eficiente como el riego hecho en condiciones de calma debido a las pérdidas de agua que se producen por el arrastre por el viento y a las desigualdades que se producen en el reparto del agua en la parcela. El manejo óptimo es dependiente de condiciones meteorológicas el cual incluye viento en calma, temperaturas suaves, y humedad relativa del aire alta. Cuanto más cerca se esté de estas condiciones, mejor será el riego (Facil et al., 2005).

Dentro de los diversos sistemas de producción se puede encontrar diferentes métodos para atenuar las limitantes hídricas a partir del riego. Según Santos et al. (2010) se entiende por método de riego al conjunto de aspectos que caracterizan al modo de aplicar el agua a las parcelas regadas, y se entiende por sistema de riego al conjunto de equipamientos y técnicas que proporcionan esa aplicación siguiendo un método dado.

Según Pereira y Trout (1999) el método de riego puede clasificarse del siguiente modo:

- Riego de superficie, o por gravedad, comprendiendo el riego por inundación, en canteros tradicionales y surcos cortos o en canteros con nivelado de

precisión, el riego por sumersión en canteros para arroz, el riego por infiltración en surcos o en fajas y el riego por escorrentía libre. Según Santos et al. (2010) es el método más utilizado ya que es el más apropiado técnicamente para suelos llanos y pesados, y económicamente para muchos sistemas de producción.

- Riego por aspersión, con sistemas estáticos y disposiciones en cuadrícula, fijas o móviles, con sistemas móviles de cañón o ala sobre carro tirada por enrollador o por cable, y sistemas de lateral móvil, pivotante o de desplazamiento lineal. Según Morales (2011) el objetivo de riego por aspersión es producir una lluvia uniforme sobre toda la parcela, y con una intensidad tal que el agua infiltre en el mismo punto que cae. Por otro lado Alonso (s.f.) afirma para que eso suceda se requiere de una red de distribución que permita que el agua de riego llegue con presión suficiente a los elementos encargados de aplicar el agua (aspersores o difusores).

- Riego localizado, o microrriego, comprendiendo el riego por goteo, por difusores o borboteadores (“bubblers”), por tubos perforados o porosos, la micro-aspersión y el riego sub-superficial por tubos perforados y tubos porosos.

- Riego subterráneo, realizado por control de la profundidad de la capa freática.

La elección del método de riego está impuesta por un gran número de factores, en lo que respecta al agua influye el precio, disponibilidad, suministro y pureza; características del suelo como infiltración y almacenamiento, topografía; factores inherentes a la pastura como ser especie, sensibilidad al déficit hídrico, producción; factores económicos como ser disponibilidad de energía, mano de obra, exigencias tecnológicas, disponibilidad de capital y sistema de producción.

2.5.2. Efecto del riego en *Festuca arundinacea*

Si bien la festuca crece en lugares húmedos y es resistente a la sequía, durante el período estival si hay grandes deficiencias hídricas la falta de agua limita más su crecimiento que las altas temperaturas. Es por ello que a fines de invierno y principios de primavera se debe insistir en promover el desarrollo del sistema radicular fibroso, profundo y muy extendido para obtener agua de los horizontes profundos favoreciendo la persistencia durante éste período que generalmente presenta como limitante al agua. La festuca se mantendrá verde siempre que disponga de buena humedad (Carámbula, 2010).

A pesar de su ciclo invierno-primaveral presenta las características de responder a la disponibilidad de agua fuera del mismo, aunque su utilización durante el verano retrasa su rebrote otoñal desplazándolo hacia el invierno, pudiendo comprometer en algunos casos su competitividad y persistencia (Sawchik et al., 2010).

En el trabajo realizado por Volaire (2017) quien evaluó las diversas estrategias de adaptación de las plantas según la disponibilidad de agua, se puede comprender el comportamiento de algunas especies perennes, como lo es la festuca en respuesta al estrés hídrico.

Cuando se presentan condiciones de estrés hídrico se pueden distinguir estrategias fisiológicas para evitar la deshidratación de tejidos como ser escape, evitación, tolerancia a la deshidratación y tolerancia a la desecación, las cuales se irán expresando a medida que el estrés hídrico se va agravando. Por otra parte la planta presenta mecanismos de resistencia para el cual frente a un estrés moderado continua con su crecimiento, a medida que el estrés hídrico se agrava la planta cesa el crecimiento y comienza el mecanismo de supervivencia, para el cual se da un uso lento del agua bajo sequía severa. En este estado la planta no crece y ya no confiere resistencia a la sequía pero puede mejorar la supervivencia. Si la situación de estrés hídrico no se revierte puede alcanzar la muerte de la pastura (Volaire, 2017).

Información recabada por Formoso (2010) muestra respuestas menores a 1 kg MS/mm aplicado hasta superiores a los 20 kg MS/mm aplicado.

En 1998 se instaló un experimento con 4 especies: festuca cv. Tacuabé, trébol rojo cv. INIA Mizar, lotus cv. Draco y alfalfa cv. Crioula (Sawchik y Formoso, 2000). Se determinó que la única especie que manifestó respuesta al riego para ese año en particular fue la festuca, en los cortes de primavera. Globalmente para el período de crecimiento analizado, el tratamiento regado para esta especie rindió solamente un 10% más que el secano. Esta especie presenta un sistema radicular más superficial que el de las leguminosas y esto puede explicar en parte la respuesta obtenida.

En el año 1999/2000 que representaba el 2^{do}. año de la pastura fue uno de los más secos de la serie histórica climática en La Estanzuela, el cual puede caracterizarse como extremo y fue cuando se notaron respuestas en producción de forraje al riego. Estas estuvieron relacionadas en parte con la capacidad de exploración radicular de cada especie, trébol rojo y festuca, de sistemas radiculares más superficiales al menos triplicaron los rendimientos de forraje en el período considerado.

Arce et al. (2013) evaluaron diferentes niveles de riego sobre *Paspalum dilatatum* subsp. *dilatatum*, *Paspalum notatum* var. *Saurae* cv. Pensacola, *Pennisetum purpureum* cv. Mott, y *Festuca arundinacea* cv. Tacuabé, en su segundo año de producción, observando diferencias en la materia seca total, encontrando diferencias en la producción de lámina pero no se encontraron efectos diferenciales en la producción de tallos para el nivel de riego, en el cual los tratamientos que recibieron riego presentaron mayores

rendimientos en materia seca total y materia seca de lámina en comparación a los tratamientos en seco.

Estos datos cobran importancia a la hora de elegir una especie a sembrar ya que según Boggiano et al. (2014) lo ideal es encontrar materiales que produzcan eficientemente grandes cantidades de materia seca de calidad. Una especie que utilice agua para producir tallos bajará la eficiencia de los sistemas de producción debido a la menor calidad de esta fracción frente a las hojas.

La fracción lámina de la planta posee mayor calidad, y diferencias de 3000 kg/ha MS de lámina entre el mayor nivel de riego y de seco, podrían significar deficiencias en desempeño animal de 200 kg/ha de peso vivo (Almeida et al., 1997). Parecería lógico buscar aquellas especies que produzcan la mayor cantidad de materia seca de calidad.

Arce et al. (2013) al comparar a la festuca con otras especies de metabolismo fotosintético C₄ destacan la mayor producción de *Pennisetum purpureum* sobre el resto, seguido por *Paspalum notatum* y *Paspalum dilatatum*, y con menores rendimientos *Festuca arundinacea*. Esto podría estar explicado por el comportamiento de la festuca que al ser una especie invernal con mecanismo fotosintético C₃ y aún en condiciones de riego y fertilización, presenta menores tasas de crecimiento y baja producción en comparación con las especies tropicales y subtropicales.

Esta especie C₃ cuando es sometida a altas temperaturas aumenta la fotorrespiración y se torna más ineficiente en el uso del agua. Sumado a esto, el alto grado de enmalezamiento estival con especies muy competitivas en este período estaría explicando la menor producción. Esto explica la mayor invasión de malezas en festuca con riego, mostrando diferencias significativas con el tratamiento de seco y con el resto de las especies (Arce et al., 2013).

Las malezas predominantes durante el período estival fueron en su mayoría C₄ como ser *Cynodon dactylon*, *Eragrostis lugens*, *Setaria geniculata* y *Sporobolus indicus*, pero también se encuentran con alta frecuencia *Conyza bonariensis*, *Cyperus eragrostis* y *Sida rhombifolia*, todas de ciclo de producción estival. Los resultados muestran que los tratamientos bajo riego se vieron más enmalezados que los de seco, dado por mejores condiciones para el crecimiento de malezas estivales, espacio, disponibilidad de agua y fertilización nitrogenada, además aunque la festuca haya tenido riego las altas temperaturas afectan su producción y competitividad frente a este tipo de malezas tan agresivas.

Según Formoso (2010), en experimentos realizados con riego de *Festuca arundinacea*, encontró que el 16% de los tratamientos bajo riego produjeron menos forraje

que los tratamientos en secano durante las estaciones posteriores a la irrigación, debido principalmente a una mayor infestación de malezas y gramíneas estivales que comprometería la persistencia de la pastura, esto concuerda con Lowe et al. (1981), que al evaluar distintas especies encontraron que la festuca fue la gramínea templada que alcanzó mayor rendimiento, sin embargo su persistencia se vio comprometida por competencia con malezas, con leguminosas, enfermedades y deficiencias de fertilidad.

Otra característica afectada por los tratamientos fue la estructura de la pastura definida por la densidad de macollos y el peso de estos.

La festuca mostró un comportamiento intermedio para la densidad de macollos/m² en los tratamientos de riego, mientras que el tratamiento de secano presentó el menor número de macollos/m², sin diferencias con *Pennisetum purpureum*. La densidad de macollos/m² encontrada para festuca (380 a 1473) muestra diferencias con la encontrada por De Souza y Presno (2013) que registraron valores de entre 2942 a 3952 macollos/m². La baja densidad obtenida es atribuible a la fecha de siembra tardía que reduce el macollaje, además de someter a las plantas con bajo desarrollo radicular a probables deficiencias hídricas de noviembre y diciembre que comprometería la sobrevivencia de los macollos.

Gonçalves et al. (2010) registraron que el número de macollos aumenta, conforme aumenta la lámina de agua aplicada, sostienen además que las mayores productividades se obtienen con el mayor número de macollos, logrado con la mayor cantidad de agua aplicada. Botrel et al. (1991), Vitor et al. (2009) también observaron que el número de macollos aumenta al aumentar la lámina de agua. Esta información concuerda con los resultados en el experimento realizado por Arce et al. (2013) quienes observaron que la población de macollos fue significativamente mayor en los tratamientos con riego en comparación al de secano.

Según Formoso (2010), festucas irrigadas aumentaron la producción de materia seca pasando de 1000 kg/ha en secano a 3000 kg/ha bajo riego.

Comparando el número de macollos entre años se puede observar una disminución poblacional al pasar al segundo año, siendo la festuca la más afectada de las especies en estudio, esto es lo que probablemente explica la disminución de la producción total de materia seca en el segundo año. Si bien los factores que afectan el macollaje son diversos, se cree que probablemente los factores de mayor repercusión hayan sido las bajas temperaturas ocurridas en el invierno 2011 que pudo determinar la muerte de estos y al estrés hídrico que puede afectar negativamente la tasa de macollaje y acelerar la muerte tanto de hojas como macollos.

En cuanto al peso de macollos no se vio efecto en el manejo del agua. En *Festuca arundinacea* los pesos de los macollos presentan un amplio rango de variación, Faber (2012) reporta pesos que variaron entre 0,09 g hasta 0,265 g por macollo. Si se compara el peso de macollos entre años se puede observar un menor peso en el primer año lo cual es esperable ya que se asocia a mayores densidades, esto concuerda con Grant et al. (1981) quienes establecen que existe una relación inversa entre la densidad y el tamaño de macollos. A pesar de haber obtenido mayores pesos de macollos debido a una menor densidad, ésta no pudo compensar la producción y lograr rendimientos máximos al primer año.

Los resultados del experimento permiten ver un efecto de superioridad en rendimiento de los tratamientos regados frente a los de secano en todas las especies. Para el caso particular de la festuca presentó alta respuesta al riego coincidiendo con lo reportado por Formoso (2010), Steve et al. (2016). El uso del riego permitió incrementar la producción de forraje, siendo su efecto significativo en los períodos de menor pluviosidad, con máximo nivel de riego se maximizaron las producciones de materia seca en todo el período y para todas las especies evaluadas.

2.6. EFECTO RIEGO Y NITRÓGENO

Según Formoso (2010) la festuca por su alta capacidad de adaptación y producción en suelos bajos, hidromórficos, su relativamente buena capacidad de producción de forraje estival fue la gramínea priorizada para evaluar su capacidad de respuesta al riego. Se verifica que cuando además del riego se aplica nitrógeno, los rendimientos aumentan en forma importante. Los rendimientos máximos en producción de forraje, superiores al 1000% ocurrieron en verano en una festuca de tercer año con riego entre el 27/12 y 23/03. Asimismo, en una festuca de quinto año en el período 27/12 al 7/3 la fertilización nitrogenada potenció la respuesta.

En un estudio realizado por Giorello et al. (2012) se observaron diferentes especies forrajeras estivales con respuesta al riego, concluyendo que la aplicación del riego debe realizarse con un adecuado manejo de la fertilización a los efectos de potenciar la producción en cualquiera de las alternativas forrajeras utilizadas.

Cardozo y Marchelli (2017) reportan que según información generada en varios años la eficiencia en el uso del agua interactúa de alguna forma con los niveles nutricionales de la pastura. Tomando como referencia el nitrógeno como macronutriente de mayor importancia, se observa que la eficiencia en el uso del agua aumenta en la medida que aumentan los kg N ingresados al sistema. Formoso (2010) encontró que los incrementos máximos en producción de forraje ocurrieron en verano, viéndose potenciada su respuesta con la fertilización nitrogenada.

Según Hebblehwaite y Mc. Laren (1979) en algunas gramíneas perennes el principal componente de rendimiento de semillas es el número de macollos fértiles y esta variable es afectada por el nitrógeno y la disponibilidad de agua.

Carámbula (2010) plantea que la respuesta al nitrógeno por parte de las gramíneas es dependiente del contenido de humedad del suelo.

2.7. ASPECTOS CLAVES

La festuca es recomendada como componente de praderas perennes priorizando el rendimiento todo el año, la rusticidad y la persistencia. Presenta un patrón estacional de producción con máximos otoño-invernales, asociada a condiciones ambientales favorables, durante la primavera una parte de los macollos pasan al estado reproductivo y una vez ocurrida la floración se detiene la producción de nuevas hojas y macollos, sumado a esto los macollos más pequeños mueren por la sequía estival siendo el verano el que presenta las menores poblaciones de macollos. En verano con la ocurrencia de períodos de sequía y altas temperaturas se genera un ambiente crítico de alta fragilidad para esta especie de metabolismo C₃. Sumado a esto, la falta de latencia estival como también la carencia de órganos apropiados para acumular grandes volúmenes de reservas puede hacer peligrar la productividad y persistencia.

Los macollos constituyen las unidades básicas de producción, de su número y condición fisiológica y vigor depende la capacidad de producir forraje durante el verano, así como también el establecimiento y mantenimiento de la pastura. El estado de estos está asociado a la carga animal que define la intensidad o presión de pastoreo, determinante de la supervivencia, tamaño y densidad poblacional de macollos.

Pastoreos intensos y abusivos en verano pueden afectar desfavorablemente los rebrotes del otoño (atributo en esta especie considerada como gramínea precoz), por lo cual hay que evitar altas cargas durante este período. En ese momento es recomendable manejar alturas de 8-10 cm con frecuencia de 30 a 40 días y evitar baja masa de forraje que conduce a un deterioro en la estructura de la pastura y la persistencia.

Si se quieren aprovechar las características más sobresalientes de la festuca se debe disponer de buena fertilidad, por lo que una mejora en la nutrición con fertilización nitrogenada permite incrementar la producción de la festuca y esperar mayor supervivencia de macollos por incremento en el tamaño, ya que un macollo más pesado sobrevive mejor. La respuesta a la fertilización nitrogenada será diferente según la estación del año y particularmente para verano la respuesta es baja ya que la planta disminuye su crecimiento y durante ese período suele existir bajo establecimiento de agua,

además durante la estación cálida la disponibilidad de nitratos en el suelo es mayor. La respuesta al nitrógeno por parte de las gramíneas es dependiente del contenido de humedad del suelo, el cual en Uruguay es altamente dependiente del régimen de precipitaciones y durante el verano el agua disponible del suelo es insuficiente para satisfacer la demanda de cultivos y pasturas.

Mediante la estrategia de riego se pueden cubrir las limitantes hídricas estivales, generando incrementos en la producción de forraje en años de sequía, así como también asegurar el potencial de rendimiento y lograr el aumento de la persistencia de la pastura ya que el número de macollos se ve favorecido por aumento en la lámina de agua. Si bien la pastura se ve favorecida por el aporte de agua, otras especies también lo hacen. Las malezas presentes en el período estival tienen alta capacidad de competencia, interfiriendo en el desarrollo de la pastura pudiendo comprometer la persistencia, es aquí cuando el uso eficiente del agua cobra importancia, debido a que el riego cubre una limitante, pero promueve otras.

El estrés hídrico y las altas temperaturas del verano pueden afectar negativamente la producción de forraje y sobrevivencia de macollos en años de sequía y mediante el riego se cubre la mayor limitante en el período, potenciando la producción con fertilización nitrogenada y sobre todo cuidando la estructura de la pastura con una carga adecuada que permita mantener viva la unidad básica de producción que es el macollo, así como también mantener o incrementar el desarrollo radicular.

En suma, las diferentes variables de manejo combinadas de una manera eficiente pueden generar efectos positivos en la producción de forraje y persistencia de la festuca obteniendo un mayor aprovechamiento de los recursos y potenciando la pastura en un período deficitario en oferta forrajera como lo es el verano para el Uruguay.

2.8. HIPÓTESIS GENERALES

- La aplicación de riego suplementario aumentará la producción de materia seca de festuca y la densidad de macollos.
- La intensidad de defoliación aliviada aumentará la producción de materia seca de festuca y la densidad de macollos.
- La fertilización nitrogenada afectará positivamente la producción de materia seca de festuca y la densidad de macollos.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. CONDICIONES EXPERIMENTALES

3.1.1. Localización y duración del trabajo

El experimento se realizó en Villa Sara (Latitud 33° 15' 06'' Sur y Longitud 54° 25' 58'' Oeste), dependencia de INIA Treinta y Tres, entre el 26 de diciembre de 2017 y el 22 de junio de 2018, correspondiendo a un período acumulado de 187 días de evaluación, comprendiendo así el verano, otoño e inicio del invierno.

3.1.2. Descripción del sitio experimental

El sitio experimental se encuentra situado sobre la unidad de suelos Vergara, formando parte del grupo coneat 4.1, el material madre está constituido por lodolitas limo arcillosas que recubren el basamento cristalino. Los suelos dominantes según la Carta de reconocimiento de suelos 1:1.000.000 (Altamirano et al., 1976) son Argisoles subeutricos, Districos Ocricos, Melánicos Abrupticos, Planosoles Districos Ocricos, con textura franco, con Argisoles, Subeutricos Ocricos Típicos como suelos asociados. Las características químicas se describen en el cuadro 3.

El suelo Argisoles Subéutricos se caracteriza por presentar la lixiviación de arcilla como proceso pedagógico dominante, una napa colgada de poca duración que se traduce en un horizonte A2 de poco espesor, CIC<20 meq./100g de suelo y porcentaje de saturación de bases de 60% o menos.

Cuadro No. 3. Características químicas del suelo del sitio experimental

ph (H ₂ O)	nitrógeno (%)	carbono orgánico (%)	fósforo ac. cítrico (ug. P./g)
5,3	0,17	2,38	16,41

3.1.3. Antecedentes del área experimental

El experimento se realizó sobre una pastura pura de *Festuca arundinacea* cv. INIA Aurora en su segundo año de producción, sembrada en abril de 2016 sobre un rastrojo de raigrás sembrado el año previo. La densidad de siembra de festuca fue a razón de 15 kg/ha, con una fertilización al momento de la siembra de 150 kg/ha de triple 15 (15-15-15), refertilizándose posteriormente con urea.

3.1.4. VARIABLES EN ESTUDIO

Incluye tres factores: el riego, intensidad de defoliación y la fertilización nitrogenada.

El riego se estudia en dos niveles: un testigo sin riego y un tratamiento que semanalmente se repone la evapotranspiración ocurrida.

La intensidad de defoliación contrasta dos intensidades de corte: alturas de remanente de 3 y 10 cm respectivamente.

La fertilización nitrogenada compara tres dosis: 0, 60 y 120 kg/ha de urea aplicados en una dosis única (29 de diciembre) y un cuarto tratamiento que estudia en la dosis de 60 kg/ha de urea la posibilidad de fraccionamiento en tres subdosis de 20-20-20 kg/ha de urea (29 de diciembre, 31 de enero y 28 de febrero).

La combinación de las distintas variables determinó 16 tratamientos que se describen en el cuadro 4.

Cuadro No. 4. Estructura de los tratamientos

Tratamiento	intensidad de defoliación (cm)	régimen hídrico	fertilización con urea (kg/ha)
T. 1	3	riego	0
T. 2	3	riego	60
T. 3	3	riego	120
T. 4	3	riego	20-20-20
T. 5	3	sin riego	0
T. 6	3	sin riego	60
T. 7	3	sin riego	120
T. 8	3	sin riego	20-20-20
T. 9	10	riego	0
T. 10	10	riego	60
T. 11	10	riego	120
T. 12	10	riego	20-20-20
T. 13	10	sin riego	0
T. 14	10	sin riego	60
T. 15	10	sin riego	120
T. 16	10	sin riego	20-20-20

3.1.5. Diseño experimental

Los 16 tratamientos se aplicaron en parcelas de 10 m² (2 x 5 m), totalizando un área experimental de 480 m², en 48 parcelas que combinaron los tratamientos en 3 repeticiones. El diseño experimental utilizado es en parcelas divididas tomando como la parcela grande el tratamiento de riego (riego vs. no riego). La parcela chica incluyó un factorial con 4 niveles de aplicación de urea (kg/ha) y 2 intensidades de defoliación.

3.2. DETERMINACIONES

3.2.1. Variables

A continuación se describe el procedimiento utilizado para llevar a cabo la medición de cada una de las variables de interés.

3.2.1.1. Producción de materia seca

Se realizó a través de cortes a 3 y 10 cm de altura según el tratamiento, utilizando una cortadora de pasto marca Honda 615. El período de evaluación comenzó el 26 de diciembre de 2017 para el cual se realizó un corte a los efectos de establecer las alturas de remanente según los tratamientos.

Los cortes se hicieron sobre una superficie de 2,65 m², determinándose el peso verde. A posteriori se extrajo una muestra para realizar la composición botánica y otra para determinar el contenido de materia seca en estufa a 60°C por 48 horas. Los cortes se realizaron en las siguientes fechas 26 de enero, 1 de marzo, 3 de abril, 4 de mayo y 29 de mayo.

3.2.1.2. Altura del forraje disponible

Uno de los métodos indirectos más utilizados para estimar la cantidad de forraje disponible es medir la altura del forraje con una regla en posición vertical (Berretta, 2015). Este método se basa en la existencia de una relación positiva entre la altura y la disponibilidad de forraje de una pastura (Jaurena et al., 2018).

La altura del forraje disponible se refiere a la altura promedio (en cm) del forraje presente en la parcela previo al corte, la misma se obtiene tomando la altura que corresponde, se anotan los valores y luego se hace un promedio. Según Berretta (2015) se debe evitar suelo desnudo, lugares cercanos a porteras, dormideros, etc., así como matas, maciegas y malezas.

La forma en que se realizó el muestreo fue a través de un rectángulo de 20 por 50 cm, el cual fue colocado en la zona más representativa de la parcela, y se tomaron 4 medidas de altura en cada parcela. Con estos datos se promedió la altura de cada tratamiento.

3.2.1.3. Composición botánica

Posteriormente a la medición de altura de las pasturas, y utilizando el rectángulo ya mencionado en el punto anterior, se realizó la cosecha del forraje, con una tijera de esquilar de aro.

Dicha muestra se llevó al laboratorio, y se analizó a partir de la separación manual de las distintas fracciones (festuca, restos secos y otras especies).

Luego se colocaron las muestras en la estufa, durante 48 horas a 60°C, obteniéndose el peso seco de las mismas. El porcentaje en MS de cada fracción se estimó de igual manera.

3.2.1.4. Biomasa de raíces y parte aérea

La biomasa de raíces y parte aérea se evaluó mediante muestreos destructivos a partir de la extracción de panes del suelo (20*20 cm) a 10 cm de profundidad en cada bloque al inicio del experimento.

Las muestras de suelo se llevaron al laboratorio, se limpió con ayuda de agua para poder separar la pastura de la tierra, y evitar que se separara la parte aérea de las raíces, luego se realizó un corte en la base de los macollos para obtener los datos por separado de la parte aérea y raíces, y se registró el peso fresco. Posteriormente se dejó secar en estufa a 60°C durante 48 hs., se pesaron nuevamente y se registró el peso seco.

Luego de transcurridos 4 meses del experimento (28 de abril) se tomaron 2 muestras de suelo por parcela con un calador de 7 cm de diámetro. Las muestras fueron llevadas al laboratorio, se lavaron, se separó la biomasa aérea y la de raíces, se registró el peso fresco y se realizó un conteo de plantas y macollos de cada muestra. Las muestras se dejaron en estufa a 60°C durante 48 hs. y posteriormente se registró el peso seco.

3.2.1.5. Conteo de macollos

Dentro de cada una de las parcelas se destinó un área representativa de 0,1 m² (20*50 cm), se midió la persistencia de los macollos, para lo cual se marcaron 20 macollos por parcela con un alambre de color para facilitar su identificación y visibilidad, los cuales fueron monitoreados como vivos o muertos en el correr del ensayo con una frecuencia de 30 días. Se calculó el % de supervivencia. Se consideró como macollos vivos aquellos que presentaban lámina o vaina de coloración verde.

3.2.1.6. Determinación cobertura del suelo

El porcentaje de cobertura del suelo se determinó con el método “punto cuadrado”, mediante un soporte con 5 varillas móviles a una distancia de 10cm entre varillas, en el cual se tomó el dato de lo primero que tocó cada varilla al bajar, el procedimiento se repitió 5 veces por parcela. La clasificación utilizada abarcó la festuca (por ser la especie en estudio), restos secos, suelo desnudo y malezas (otras especies que no eran festuca).

3.2.1.7. Procesamiento en el laboratorio

Las muestras extraídas de las parcelas fueron manipuladas de diferentes formas según la variable a medir. Las mismas fueron estudiadas tanto en base fresca como en base seca y el procedimiento de cómo se trabajó con las muestras se detalla en los puntos correspondientes.

Lo que compartieron dentro del laboratorio fue el secado.

Una vez cortada la unidad de muestreo, se pesó inmediatamente el total de lo cosechado para determinar el rendimiento de base fresca por parcela.

Se extrajo de la bolsa de la cortadora (previamente limpiada) el total de lo cosechado y se colocó sobre una bolsa de arpillera, posteriormente se pesó en una balanza que previamente se taró, obteniendo el peso verde o fresco.

Luego se subdividió la muestra, se determinó en cada muestra el contenido de materia seca y con el resto se realizó la separación de las distintas fracciones en la mezcla.

Para determinar dicha disponibilidad, se utilizó la técnica de secado en estufa que según Bruno et al. (1995) consiste en pesar una muestra de pasto verde (200 y 500 g para pasturas y forrajes conservados, respectivamente) y luego colocarla en una bandeja previamente tarada e introducirla en la estufa a 60°C hasta peso constante (48 hs.

aproximadamente). Una vez que la muestra está seca, se calcula el porcentaje de materia seca de la misma a través de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de MS} = 100 - \left(\frac{\text{peso de la muestra húmeda} - \text{peso de la muestra seca}}{\text{peso de la muestra húmeda}} \times 100 \right)$$

3.2.2. Medición del sistema

3.2.2.1. Análisis de suelo

El análisis de suelo se realizó a partir de muestras extraídas del sitio para el cual se extrajeron 10 muestras al azar por bloque (30 muestras en total) a una profundidad de 0 a 7,5 cm y 7,5 a 10 cm, el cual se envió al laboratorio de suelos de INIA La Estanzuela, se analizó el pH, contenido de nitrógeno, porcentaje de carbono orgánico y fósforo (extracción hecha con solución de ácido cítrico al 0,5%, en relación con el suelo).

3.2.2.2. Humedad del suelo

Se realizó a partir de extracción de suelo con ayuda de un taladro holandés, la frecuencia de extracción fue 2 veces a la semana, previo al riego, en la zona a regar y la zona sin riego, se realizaron 10 muestreos en la zona regada y no regada respectivamente. La muestra de suelo se llevó al laboratorio, se tomó el dato de peso fresco, luego esa misma muestra permaneció en estufa a 60°C durante 48hs., registrándose el peso seco y la humedad de suelo por diferencia de peso.

3.2.3. Manejo del riego

3.2.3.1. Metodología de riego

Como se detalló anteriormente el riego se realizó sobre la mitad del área experimental con el objetivo de generar dos ambientes contrastantes en cuanto a disponibilidad hídrica y con ello medir la respuesta productiva de la festuca.

El método de riego utilizado fue el de aspersión móvil con cañón autoenrollable permitida por el ala de riego. Los aspersores cargaron un caudal de 15 mm/pasada a una velocidad de 0,76 m/min., el caudal se reguló mediante presión y el número de pasadas varió según la cantidad de agua que se debe aplicar.

La fuente de agua se obtuvo de un tajarar a unos 100 m aproximadamente del área experimental.

El riego consistió en la aplicación de una lámina suplementaria con una frecuencia de 2 veces por semana (martes y viernes, por la mañana) totalizando 18 riegos durante todo el período. Cada riego aplicaba 15, 30 o 45 mm, dependiendo de la evaporación registrada previamente, en promedio se aplicaron 30mm/riego.

3.2.3.2. Criterio de riego

Los mm aplicados por pasada se calcularon a partir de un balance hídrico, teniendo en cuenta el ingreso y salida de agua al sistema. Los mm de agua de salida se obtuvieron mediante el dato de evaporación de agua del tanque A corregido con el coeficiente Kc. de la festuca (0,95 en base a Allen et al., 2015), y el ingreso de agua mediante el agua de lluvia que se obtuvo en la estación meteorológica más cercana a la zona del experimento (sede INIA Treinta y Tres). De esta manera se regaron los mm necesarios para alcanzar un balance 0.

El agua potencialmente disponible neta (mm) en el suelo se determinó según el grupo CONEAT, para el cual se consideró el 40% de agua útil para la planta, determinado por la profundidad de exploración radicular de la festuca que según Formoso (2010) tanto el número como el peso de las raíces se concentra en los primeros 10 cm del perfil del suelo.

Cabe aclarar que al inicio del experimento se llevó el suelo a capacidad de campo, para que estuviese completamente saturado. Se comenzó con un riego de 30 mm, el siguiente riego fue de 15 mm más el agua que se evaporó, este método permaneció 2 semanas, hasta que se evidenció mediante escurrimiento de agua que el suelo estaba saturado. A partir de ahí como se comentó anteriormente el agua aplicada con riego es en base a la evaporación, reponiendo solo el agua que sale del sistema, con el objetivo de alcanzar el balance hídrico 0.

3.3. HIPÓTESIS

3.3.1. Hipótesis estadística

Ho: $t_1=t_2=t_3=t_4=t_5=t_6=t_7=t_8=t_9=t_{10}=t_{11}=t_{12}=t_{13}=t_{14}=t_{15}=t_{16}=0$

Ha: existe al menos un tratamiento distinto de cero.

3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis de toda la información se realizó utilizando el paquete estadístico SAS (versión 9.4, licencia INIA Softron Uruguay, sitio 70096472, 2019). Se realizó análisis de varianza para un modelo de parcelas divididas, en caso de existir diferencias significativas entre tratamientos se estudió las medias mediante la prueba de diferencias mínimas significativas (DMS al 5%). Asimismo, se realizaron análisis de regresión para estudiar la respuesta al agregado de nitrógeno.

3.4.1. Modelo estadístico

El modelo corresponde a un diseño factorial con tres repeticiones de nitrógeno por intensidad de defoliación y se evaluó la diferencia de manera independiente en dos ambientes: sin riego (experimento 1) y con riego (experimento 2).

Experimento 1

$$Y_{ij} = \mu + \beta_k + \Upsilon_i + \Upsilon_j + (\Upsilon\Upsilon)_{ij} + \epsilon_{ij}$$

Experimento 2

$$Y_{ij} = \mu + \beta_k + \Upsilon_i + \Upsilon_j + (\Upsilon\Upsilon)_{ij} + \epsilon_{ij}$$

Siendo

Y = variable en estudio

μ = media del experimento

β_k = efecto de los bloques (1-3)

Υ_i = efecto del tratamiento nitrógeno

Υ_j = efecto del tratamiento defoliación

$(\Upsilon\Upsilon)_{ij}$ = efecto de la interacción nitrógeno y defoliación

ϵ_{ij} = error experimental de la parcela chica (error b)

No se registró interacción bloque por tratamiento.

Las medias de los tratamientos se separaron en base a la prueba de mínima diferencia significativa (MDS) al 5%.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

Uruguay es el único país de Sudamérica ubicado íntegramente en la zona templada. Presenta un clima húmedo, sin estación seca, la precipitación media anual es de 1250 mm, la media mensual se ubica en torno de 90 a 120 mm, con una distribución relativamente uniforme a lo largo del año (isohigro). Las temperaturas medias del verano (diciembre, enero y febrero) alcanzan el orden de 23°C, en tanto el mes más frío es junio o julio con temperaturas medias de 11,8°C. La amplitud media anual del país es de 12,4°C, siendo enero siempre el mes más cálido, la temperatura máxima media alcanza valores de 30 a 32°C en el Norte y litoral Oeste y de 27 a 28°C en el Sur, en tanto que la mínima media es del orden de 7 a 8°C en casi todo el territorio, casi sin diferencias entre el Sur y Norte (Durán y García Préchac, 2007).

Para entender mejor la respuesta de festuca es necesario hacer énfasis en los factores ambientales durante el período en estudio.

Se presentan los datos de temperatura, precipitación y evaporación obtenidos de la estación meteorológica INIA Treinta y Tres, en el período comprendido entre diciembre de 2017 y junio 2018 de los cuales se tomó como base para realizar el riego. La serie histórica para temperatura, precipitación y evaporación de la estación meteorológica de INIA Treinta y Tres en el período 1987-2016 se usó como referencia.

4.1.1. Temperatura ambiente

A continuación en la figura 1 se presenta la comparación de la temperatura ambiente de la serie histórica y el período experimental.

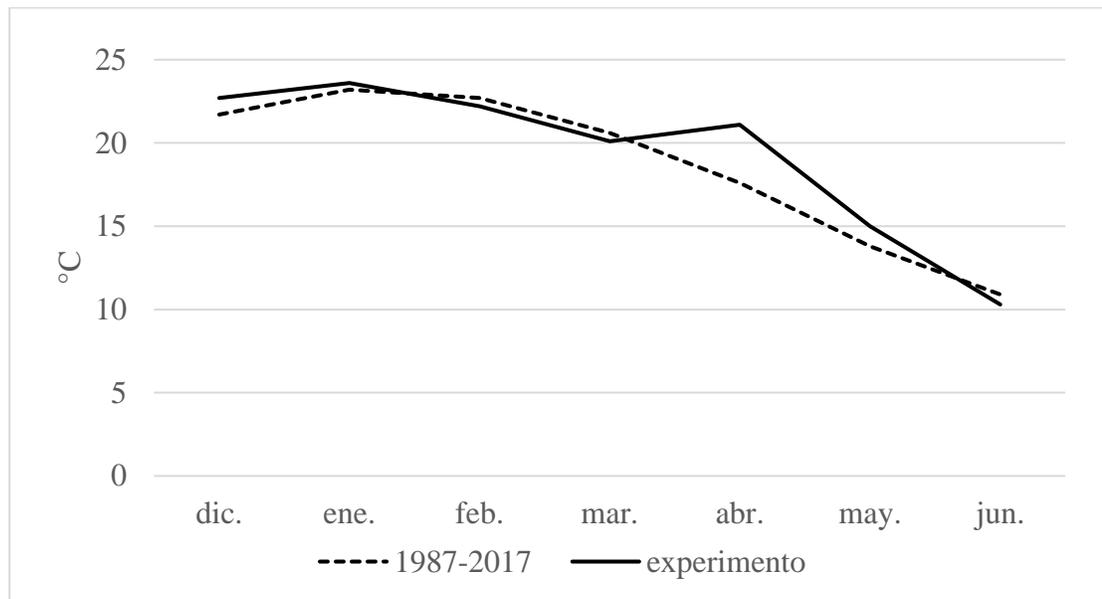


Figura No. 1. Registro de temperatura ambiente media histórica en comparación a la temperatura ambiente media experimental

Como se puede observar para los meses que se realizó el trabajo, las diferencias de temperatura con la media histórica son mínimas. Abril es el mes en que ocurre una mayor diferencia, siendo esta de 3,7°C por encima del promedio histórico.

Las temperaturas medias históricas varían en el período entre 10,9 y 23,2°C, siendo en el período experimental la temperatura media que presentó mayor amplitud, variando entre 10,3 y 23,6°C (para los meses de junio y enero respectivamente) y la temperatura media fue de 22,1°C.

Según Carámbula (2010), las especies de metabolismo C_3 como *Festuca arundinacea*, tienen buen desarrollo entre temperaturas de 15 a 20°C. Durante la mayoría del período se registraron en ambas series temperaturas por encima del óptimo, siendo en marzo-abril-mayo los meses que se dan las temperaturas óptimas de desarrollo de la especie, esto es de esperar ya que se trata de una especie invernal.

A continuación se puede observar a modo comparativo las temperaturas extremas (máximas y mínimas) ocurridas durante el período experimental y el rango de temperaturas óptimas (18,9 y 23,9°C) para el crecimiento de festuca (Volesky et al., 2010).

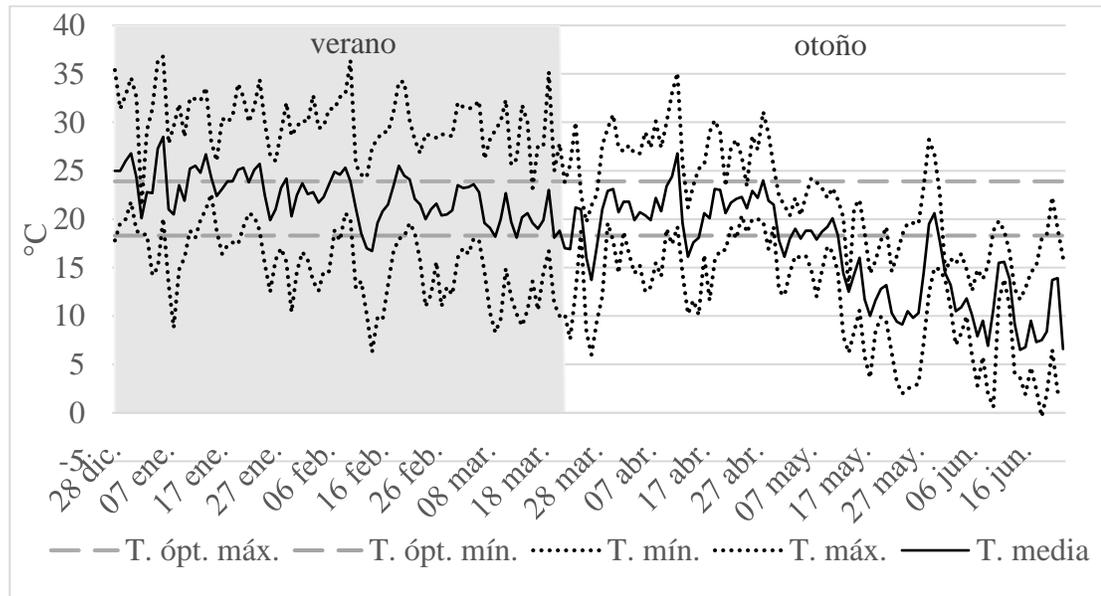


Figura No. 2. Registro de temperatura ambiente en comparación a la temperatura óptima de crecimiento para festuca en verano y otoño

En la figura 2 se puede observar que durante el verano si bien la temperatura media se encuentra dentro del rango óptimo para el crecimiento de festuca las temperaturas extremas se encontraron fuera de ese rango, generando condiciones limitantes para el crecimiento de la pastura. En el otoño se puede observar que en la primera mitad de la estación las temperaturas presentan el mismo comportamiento que durante el verano con una posterior disminución de la temperatura permaneciendo la segunda mitad del otoño por debajo de la temperatura mínima óptima para el crecimiento de festuca.

4.1.2. Humedad del suelo

En la figura 3 se presenta la evolución de la humedad del suelo expresada en contenido de agua en peso (% HP) de las dos zonas contrastantes de riego y sin riego.

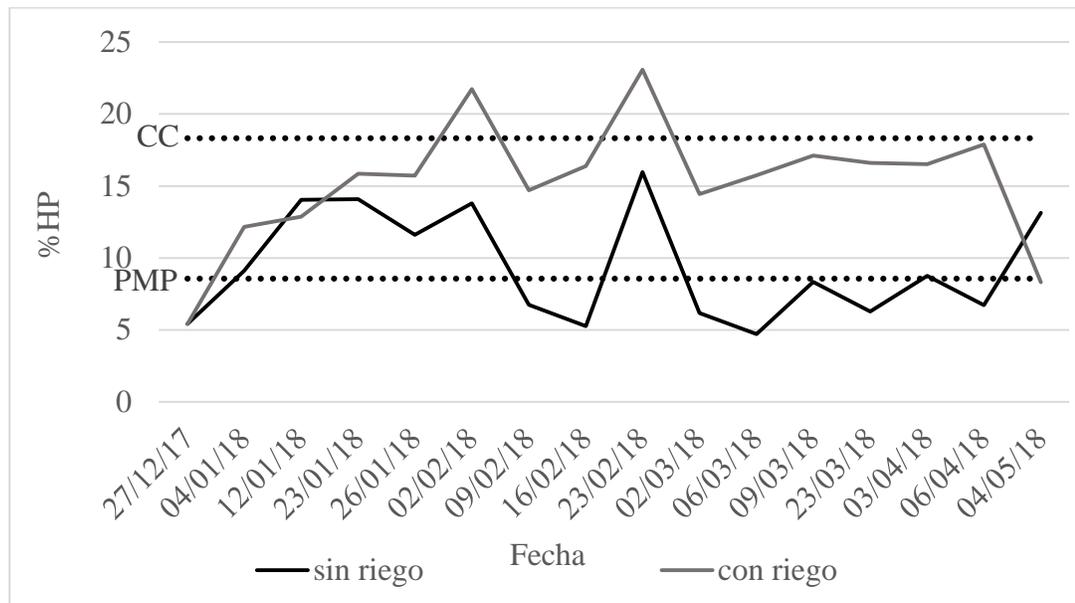


Figura No. 3. Evolución del contenido de humedad en el suelo

En la figura 3 se puede observar una superioridad en el contenido de agua en el suelo en el tratamiento con riego, con diferencias máximas de 11% dadas mayoritariamente durante el verano. Las diferencias mínimas coincidieron con el momento de ocurrencia de lluvias.

El área del gráfico de la figura 3 entre las líneas punteadas representa el contenido de agua en el suelo que se encuentra disponible para ser absorbida por la planta (AD) según lo mencionado por García et al. (s.f.) quienes definen al AD como el contenido de agua entre la capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP).

Se puede ver que la parcela regada presentó agua disponible en el suelo durante todo el período experimental. Por otra parte en la zona sin riego a medida que pasa el tiempo el agua disponible para la planta se vio disminuida por la continua evapotranspiración de agua y baja ocurrencia de lluvias, para esta zona gran parte del período experimental el agua se encontró limitante para la pastura.

4.1.3. Precipitación

Las precipitaciones totales durante el período experimental fueron de 187,2 mm.

A continuación en la figura 4 se presenta la precipitación acumulada (mm/mes) del promedio histórico mensual y la registrada para el período experimental. Como se observa, existen diferencias entre el promedio de precipitaciones mensuales del período experimental y el histórico, siendo el año experimental que se registran precipitaciones inferiores en un 45% en relación al promedio histórico.

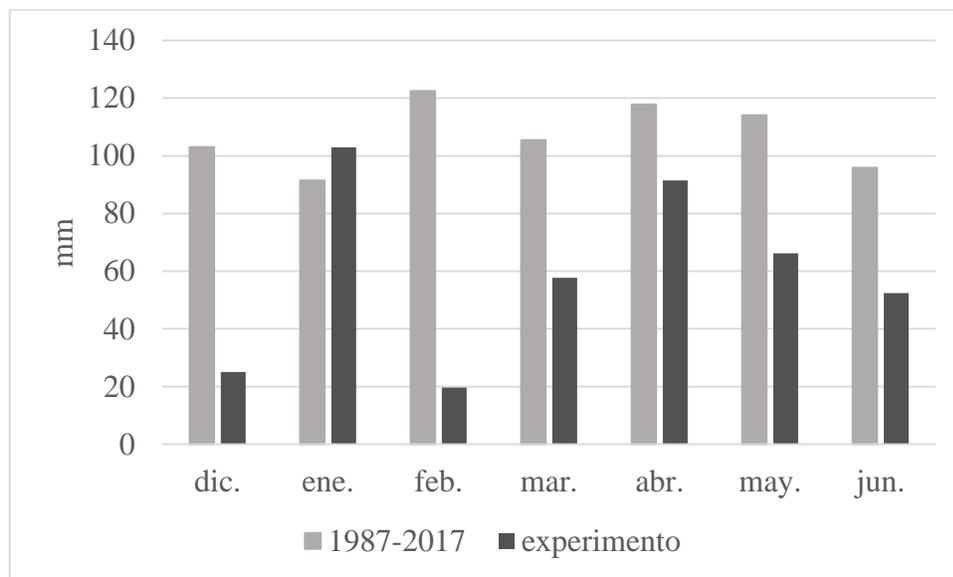


Figura No. 4. Registro de precipitación mensual histórica y experimental

Las precipitaciones promedio mensuales en el período analizado varió entre 102,9 mm y 19,6 mm, para el 2017-2018, 122,4 mm y 91,3 mm para el histórico de datos, siendo el mes de febrero que registró la mayor amplitud de variación, siendo ésta de 102,8 mm.

De lo visualizado en las figuras 1,2 y 3, el año experimental se podría considerar como un “año seco”, si se toma a la precipitación como el factor principal, ya que según Carámbula (2010) durante el período estival si hay grandes deficiencias hídricas la falta de agua limita más su crecimiento que las altas temperaturas.

La precipitación se ve influenciada por otras variables como la temperatura, el viento, la humedad del aire, la evapotranspiración, la cobertura nubosa y una mayor

radiación pueden generar condiciones de estrés hídrico que afectan el comportamiento, lo cual puede comprometer la persistencia de la festuca.

A nivel experimental el tener un período estival “seco” es dable esperar una respuesta al riego, al igual que el experimento llevado a cabo por Sawchik y Formoso (2000), el año 1999/2000 fue el más seco de la serie histórica en La Estanzuela el cual se pudo considerar como extremo y es cuando se notaron respuestas en producción de forraje al riego.

4.1.4. Evaporación

La evaporación de agua a nivel experimental se determinó en la estación meteorológica INIA Paso de la Laguna mediante datos registrados a partir del tanque A.

A nivel experimental este dato junto con el coeficiente Kc de la festuca (0,95) es útil para el manejo del riego, dado que permitió determinar cuántos mm de agua se perdían por evapotranspiración y en que magnitud se daba la deficiencia hídrica del suelo para poder reponer el agua y alcanzar el balance 0.

A continuación en la figura 5 se muestra a nivel gráfico la comparación de la evaporación media (tanque “A”) en el período experimental con la evaporación media de la serie histórica.

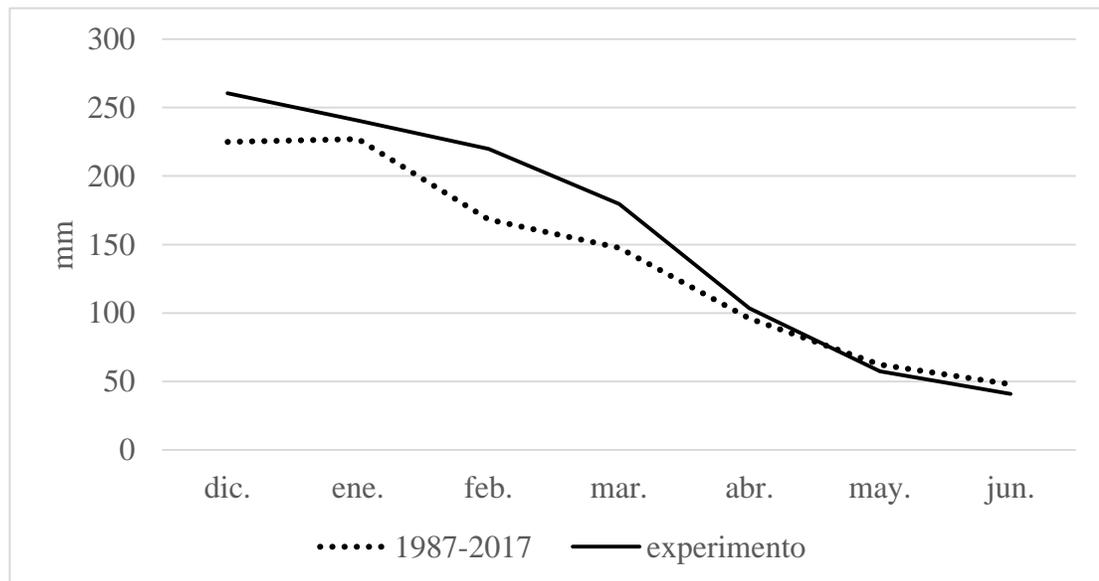


Figura No. 5. Registro de evaporación media histórico en comparación a la evaporación media experimental

Como se observa en la figura 5, en el año que se realizó el experimento durante todo el período la evaporación media fue 12% más a la media histórica, la cual varió entre 41 y 260,4 mm, con una amplitud de 220 mm.

Durante el periodo experimental se registró una evaporación diaria promedio de 5 mm, siendo por estación 7 mm en verano y 3 mm en otoño.

La evaporación de agua es el resultado de la interacción entre la radiación, la temperatura, la humedad y el viento. Si se comparan los valores históricos y los experimentales, se podría decir que estas diferencias de valores se podrían ver reflejados por la mayor temperatura que hubo durante el período del ensayo, y también en la diferencia de radiación solar que hubo en relación con los datos históricos.

4.1.5. Balance hídrico

El balance hídrico del suelo es una herramienta que permite cuantificar diversos componentes del ciclo del agua en el suelo y para un territorio, estableciendo relaciones en el corto y mediano plazo entre las distintas variables hidrológicas (INUMET, 2019).

En la figura 6 que presenta el balance hídrico durante el período experimental (diciembre 2017 - junio 2018) en la zona regada. Se representa mediante barra negra la precipitación, barra gris la evapotranspiración de la festuca, en círculos blancos el riego y línea punteada roja el balance hídrico producto de la interacción de las variables mencionadas previamente.

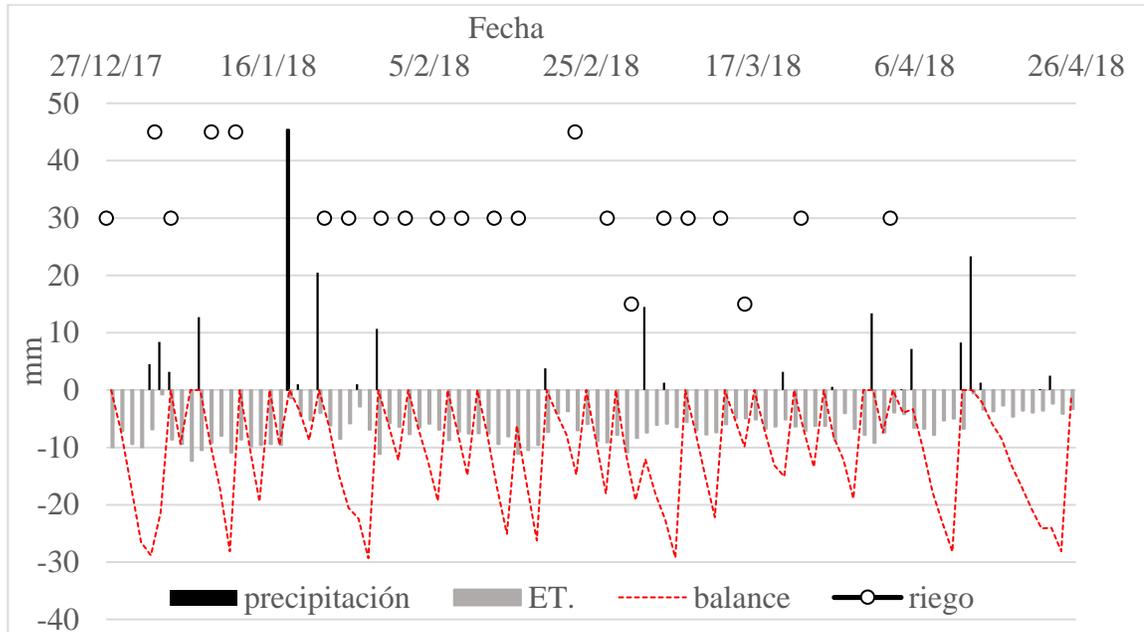


Figura No. 6. Balance hídrico en zona regada representada mediante barras negras y puntos los ingresos de agua, barras grises la salida de agua y las líneas rojas la evolución del balance hídrico para el período de riego (27 dic. – 28 abr.) en función de los mm que ingresan o salen del balance

Se puede observar que a medida que transcurren los días y no hubo ingreso de agua el balance hídrico en el suelo se fue haciendo más negativo (producto de la evapotranspiración acumulada de la pastura), tendiendo al valor 0 luego de un riego o una lluvia.

Lo que evidencian estos resultados es que el llegar al balance 0 generalmente fue por causa del riego, dado que las precipitaciones se dieron con baja frecuencia (como se mencionó anteriormente ya que el año en estudio fue considerado “año seco”).

El ingreso de agua fue de 540mm por riego y 297mm por precipitación para el periodo comprendido entre 27 de diciembre al 28 de abril.

El balance hídrico presentó variaciones entre -30 y 0 mm, ya que al inicio del riego se asume que el suelo se encontraba en capacidad de campo y se aplicaron 30 mm, considerando al balance 0.

4.2. PRODUCCIÓN DE FESTUCA Y MALEZAS

La información para las variables producción de festuca y malezas se presentará en forma separada para el experimento 1 (sin riego) del experimento 2 (con riego), agrupando dentro de las mismas el muestreo para cada estación de crecimiento y para el total acumulado en el período experimental. Las variables evaluadas fueron la intensidad de defoliación (I), los niveles de nitrógeno (N) y sus interacciones (IxN, que serán abiertas si resultan significativas).

4.2.1. Producción de festuca y malezas en secano para la estación verano

4.2.1.1. Corte 1 en secano de verano (27/12 – 26/01)

La producción de festuca al primer corte mostró diferencias significativas por efecto de la intensidad de defoliación ($p < 0,0001$), pero no por efecto de la aplicación de diferentes dosis de nitrógeno ni por la interacción (IxN). El manejo intenso produjo 100% más de festuca que el manejo aliviado (167 vs. 0 kg/ha de MS respectivamente).

Resultados similares se reportaron en el trabajo de Becerra (2017) en el cual los primeros cortes presentaron mayor crecimiento del forraje con remanentes más bajos, lo que puede estar explicado por la utilización inicial de las reservas que dispone la planta.

No se detectó respuesta a la fertilización nitrogenada, lo cual concuerda con Vázquez y Barberis (1982) que desde la primavera no hubo efecto a la fertilización nitrogenada.

La producción de malezas también mostró diferencias significativas como consecuencia de la intensidad de defoliación ($p = 0,0005$) no encontrándose diferencias significativas por efecto de la aplicación de nitrógeno ni de su interacción (IxN). El manejo intenso produjo 100% más de malezas que el manejo aliviado (30 vs. 0 kg/ha de MS).

Las especies predominantes presentes consideradas malezas fueron *Cynodon dactylon*, *Digitaria sanguinalis*, *Setaria geniculata*, *Sporobolus indicus*, *Cyperus eragrostis* y *Sida rhombifolia*, todas estivales.

4.2.1.2. Corte 2 en secano de verano (26/01-01/03)

En el corte 2 de verano en la producción de festuca no se encontraron efectos significativos para ninguna de las variables evaluadas, así como tampoco en la producción de malezas.

La producción promedio alcanzada para este corte fue de 0 kg MS/ha de festuca y 0 kg MS/ha de malezas.

4.2.1.3. Producción acumulada de festuca y malezas en secano de verano

Para la producción acumulada de festuca en verano se encontraron efectos significativos por intensidad de defoliación ($p < 0,0001$), no se registraron efectos de la aplicación de nitrógeno ni de la interacción (IxN). El manejo intenso presentó 100% más de producción de festuca que el manejo aliviado (167 vs. 0 kg MS/ha).

La producción de malezas presentó diferencias significativas por efecto de la intensidad de defoliación ($p = 0,0005$) pero no por efecto de nitrógeno ni de la interacción (IxN). El manejo intenso presentó 100% más de malezas que el manejo aliviado (30 vs. 0 kg MS/ha).

4.2.2. Producción de festuca y malezas en secano para la estación de otoño

4.2.2.1. Corte 1 en secano de otoño (01/03-03/04)

En este corte ocurrió algo similar al corte 2 de verano, no se encontraron efectos significativos para intensidad de defoliación, nitrógeno ni para la interacción (IxN). Se alcanzó una producción promedio de 0 kg MS/ha de festuca y 0 kg MS/ha de malezas.

4.2.2.2. Corte 2 en secano de otoño (03/04- 04/05)

Para el corte 2 de otoño la producción de festuca no presentó efectos significativos por efecto de intensidad de defoliación ni de la aplicación de nitrógeno, ni de la interacción (IxN). La festuca alcanzó una producción promedio de 338 kg MS/ha.

Para la producción de malezas se encontraron diferencias significativas por intensidad de defoliación ($p = 0,04$), no encontrándose efectos significativos de nitrógeno ni de la interacción (IxN). El manejo intenso presentó 43% más de malezas que el manejo aliviado (282 vs. 161 kg MS/ha).

4.2.2.3. Corte 3 en secano de otoño (04/05-29/06)

En el corte 3 de otoño para festuca se encontraron diferencias significativas por efecto de la intensidad de defoliación ($p < 0,0001$), no encontrándose efectos de la aplicación de nitrógeno ni de la interacción (IxN). El manejo aliviado presentó 50% más de producción de festuca que el manejo intenso (575 vs. 288 kg MS/ha).

En el contenido de malezas se registró un efecto significativo en la intensidad de defoliación ($p=0,0007$), no encontrándose efectos significativos por efectos de nitrógeno ni de la interacción (IxN). El manejo aliviado presentó 71% más de malezas que el manejo intenso (79 vs. 23 kg MS/ha).

4.2.2.4. Producción acumulada de festuca y malezas en secano para otoño

En otoño se reportó para festuca efectos significativos por la variable intensidad de defoliación ($p=0,0275$), no se encontraron efectos por la aplicación de nitrógeno ni por la interacción (IxN). El manejo aliviado presentó 25% más de festuca que el manejo intenso (882 vs. 658 kg MS/ha).

La producción de malezas en otoño no presentó efectos significativos por intensidad de defoliación, aplicación de nitrógeno ni por la interacción (IxN), alcanzando una producción promedio de 250 kg MS/ha.

4.2.3. Producción de forraje acumulado en secano verano - otoño

Para la producción total de festuca no se encontraron efectos significativos por intensidad de defoliación, nitrógeno ni por la interacción (IxN). Festuca alcanzó una producción promedio de 853 kg MS/ha.

Tampoco se encontraron efectos significativos en la producción total de malezas por aplicación de los tratamientos, con una producción promedio de 265 kg MS/ha.

4.2.4. Producción de festuca y malezas con riego para la estación de verano

4.2.4.1. Corte 1 con riego de verano (27/12 – 26/01)

En el corte 1 de verano en festuca no se encontraron efectos significativos por la intensidad de defoliación, ni por la aplicación de nitrógeno ni por la interacción (IxN) y tampoco en la producción de malezas. La festuca en promedio produjo 362 kg MS/ha y las malezas 107 kg MS/ha.

4.2.4.2. Corte 2 con riego en verano (26/01-01/03)

En el corte 2 de verano en la producción de festuca no se encontraron efectos significativos por intensidad de defoliación, así como tampoco por aplicación de nitrógeno ni de la interacción (IxN). Festuca alcanzó una producción promedio de 199 kg MS/ha.

En la producción de malezas se reportaron efectos significativos por intensidad de defoliación ($p=0,0288$), el manejo intenso presentó 55% más de malezas que el manejo aliviado (209 vs. 96 kg MS/ha).

4.2.4.3. Producción acumulada de festuca y malezas con riego en verano

En la producción acumulada de festuca en verano no se encontraron efectos significativos para la intensidad de defoliación, nitrógeno, ni para la interacción (IxN) y tampoco en la producción de malezas. Festuca alcanzó una producción promedio de 561 kg MS/ha y las malezas 258 kg MS/ha.

4.2.5. Producción de festuca y malezas con riego para la estación de otoño

4.2.5.1. Corte 1 con riego de otoño (01/03-03/04)

En el corte 1 de otoño no se encontraron efectos significativos por efecto de los tratamientos en la producción de festuca, alcanzando una producción promedio de 351 kg MS/ha.

En la producción de malezas se encontraron efectos significativos por intensidad de defoliación ($p<0,0001$), no se registraron efectos de nitrógeno ni de la interacción (IxN). El manejo intenso presentó 71% más de malezas que el manejo aliviado (442 vs. 128 kg MS/ha).

4.2.5.2. Corte 2 con riego de otoño (03/04- 04/05)

Para el corte 2 de otoño no se reportaron efectos significativos por efecto de intensidad de defoliación, nitrógeno ni la interacción (IxN) en la producción de festuca y tampoco en la producción de malezas. Festuca alcanzó una producción promedio de 345 kg MS/ha y las malezas 133 kg MS/ha.

4.2.5.3. Corte 3 con riego de otoño (04/05-29/06)

Para el corte 3 de otoño la producción de festuca reportó efecto significativo por la variable intensidad de defoliación ($p<0,0001$), no se reportaron efectos por la aplicación de nitrógeno ni de la interacción (IxN). El manejo aliviado presentó 74% más de festuca que el manejo intenso (546 vs. 144 kg MS/ha).

La producción de malezas presentó efectos significativos por intensidad de defoliación ($p<0,0001$), no se encontró efecto significativo por la aplicación de nitrógeno

ni de la interacción (IxN). El manejo aliviado presentó 81% más de malezas que el manejo intenso (86 vs. 16 kg MS/ha).

4.2.5.4. Producción acumulada de festuca y malezas con riego para otoño

En el otoño se encontraron efectos significativos en la producción de festuca por la variable intensidad de defoliación ($p=0,0002$), no encontrándose efectos significativos por aplicación del nitrógeno ni de la interacción (IxN). El manejo aliviado presentó 46% más de festuca que el manejo intenso (1356 vs. 730 kg MS/ha).

Para la producción de malezas en otoño se reportó diferencias significativas por efecto de la intensidad de defoliación, no se encontraron efectos para la variable nitrógeno ni para la interacción (IxN). El manejo intenso produjo 47% más de malezas que el manejo aliviado (613 vs. 325 kg MS/ha).

4.2.6. Producción de forraje acumulado con riego en verano – otoño

Para la producción acumulada de festuca se encontró respuesta significativa por efecto de intensidad de defoliación ($p=0,00038$), no se encontró respuesta por la aplicación de nitrógeno ni de la interacción (IxN). El manejo aliviado presentó 33% más de festuca que el manejo intenso (1923 vs. 1286 kg MS/ha).

Para la producción de malezas se encontraron efectos significativos por intensidad de defoliación ($p=0,0103$), no se encontraron efectos significativos para la variable nitrógeno ni para la interacción (IxN). El manejo intenso presentó 48% más de malezas que el manejo aliviado (954 vs. 499 kg MS/ha).

4.3. ALTURA DE FORRAJE DISPONIBLE

Los resultados se presentarán por estación de crecimiento y para el total acumulado en el período experimental para la variable altura de forraje por separado para el experimento 1 (secano) del experimento 2 (con riego), para cada fecha de muestreo así como el acumulado en toda la estación de crecimiento. Las variables evaluadas fueron la intensidad de defoliación (I), los niveles de nitrógeno (kg/ha de urea) y sus interacciones (IxN).

4.3.1. Altura de forraje en secoano para verano

4.3.1.1. Corte 1 en secoano de verano

Para el corte 1 de verano la altura de forraje presentó una interacción significativa por efecto de la intensidad de defoliación ($p < 0,0001$), no se encontraron efectos por la aplicación de nitrógeno ni por la interacción (IxN). El manejo intenso presentó 100% más en altura de forraje que el manejo aliviado (6 vs. 0cm).

4.3.1.2. Corte 2 en secoano de verano

Para el corte 2 de verano no se encontraron efectos de los tratamientos en la altura de la pastura para ninguna de las variables evaluadas, alcanzando en promedio una altura de 0cm.

4.3.2. Altura de forraje en secoano para otoño

4.3.2.1. Corte 1 en secoano de otoño

Para el corte 3 se obtuvieron similares resultados que en el corte 2, sin efectos de los tratamientos evaluados con un promedio de altura de 0cm.

4.3.2.2. Corte 2 en secoano de otoño

En el corte 2 de otoño se encontraron efectos significativos en la intensidad de defoliación ($p = 0,0107$), no se encontraron efectos por aplicación de nitrógeno ni por la interacción (IxN).

El manejo aliviado alcanzó 22% más en la altura de la pastura que el manejo intenso (17 vs. 13 cm).

4.3.2.3. Corte 3 en secoano de otoño

En el corte 2 de otoño se reportaron efectos significativos por la intensidad de defoliación ($p < 0,0001$), no se encontraron efectos por la variable nitrógeno ni por la interacción (IxN).

El manejo aliviado presentó 60% más en altura de la pastura que el manejo intenso (12 vs. 5 cm).

4.3.3. Altura de forraje con riego para verano

4.3.3.1. Corte 1 con riego de verano

Para el corte 1 de verano se reportaron efectos significativos por efecto de la intensidad de defoliación ($p < 0,0001$), no se encontraron efectos por aplicación de nitrógeno ni por la interacción (IxN). El manejo aliviado presentó 37% más de altura que el manejo intenso (15 vs. 9 cm).

4.3.3.2. Corte 2 con riego de verano

Para el corte 2 de verano se encontraron efectos significativos por efecto de la intensidad de defoliación ($p < 0,0001$), no se encontraron efectos por aplicación de nitrógeno ni por la interacción (IxN). El manejo aliviado presentó 47% más de altura que el manejo intenso (18 vs. 10 cm).

4.3.4. Altura de forraje con riego para otoño

4.3.4.1. Corte 1 con riego de otoño

Para el corte 1 de otoño se encontraron efectos significativos por efecto de la intensidad de defoliación ($p < 0,0001$), no se encontraron efectos por aplicación de nitrógeno ni por la interacción (IxN). El manejo aliviado presentó 40% más de altura que el manejo intenso (18 vs. 11 cm).

4.3.4.2. Corte 2 con riego de otoño

Para el corte 2 de otoño se reportaron efectos significativos por efecto de la intensidad de defoliación ($p < 0,0001$), no se encontraron efectos por aplicación de nitrógeno ni por la interacción (IxN). El manejo aliviado presentó 36% más de altura que el manejo intenso (19 vs. 12 cm).

4.3.4.3. Corte 3 con riego de otoño

Para el corte 3 de otoño se reportaron efectos significativos en altura de la pastura únicamente por efecto de la intensidad de defoliación ($p < 0,0001$), sin efectos por aplicación de nitrógeno ni por la interacción (IxN). El manejo aliviado presentó 65% más de altura que el manejo intenso (13 vs. 5 cm).

4.4. PRODUCCIÓN DE PARTE AÉREA, RAÍCES Y MACOLLOS POR PLANTA EN FESTUCA

La información se presenta para la producción de parte aérea, raíces y macollos por planta en festuca durante el período estival y parte del otoñal por separado para el experimento 1 (secano) del experimento 2 (con riego). El período considerado abarcó desde el 27 de diciembre de 2017 hasta el 24 de abril de 2018. Se realizaron 2 mediciones una al inicio del experimento: 27 de diciembre de 2017 y la segunda medición: 24 de abril de 2018. Las variables evaluadas fueron intensidad de defoliación (I), niveles de nitrógeno (N) y sus interacciones (IxN).

4.4.1. Producción de parte aérea y raíces de festuca

4.4.1.1. Producción de parte aérea y raíces de festuca en secano

La relación parte aérea/raíz mostró diferencias significativas por efecto de intensidad de defoliación ($p=0,0525$), pero no por la aplicación de diferentes dosis de nitrógeno ni por sus interacciones (IxN). El manejo intenso presentó 21% más de parte aérea en relación con la producción de raíces que el manejo aliviado (relación parte aérea/raíz 0,89 vs. 0,70).

4.4.1.2. Producción de parte aérea y raíces de festuca con riego

En condiciones con riego no se encontraron diferencias significativas por efecto de intensidad de defoliación ni por la aplicación de diferentes dosis de nitrógeno ni por sus interacciones (IxN). Con riego se alcanzó una relación promedio de parte aéreo/raíz de 1,16.

4.4.2. Producción de macollos por planta en festuca

En cuanto a la producción de macollos por planta no se encontraron efectos significativos para las variables simples ni para la interacción (IxN) en ninguno de los 2 experimentos. La producción promedio reportada fue de 28 macollos por m^2 .

Contrario a los resultados obtenidos, en la bibliografía consultada Brock y Hay (1993) encontraron diferencias en la densidad de macollos por variaciones en el manejo del pastoreo en verano, por otra parte Cruz y Boval (2000) concuerdan con Jones (1986), Harris et al. (1996), sosteniendo que el suministro de nitrógeno induce a un mayor “llenado del sitio” y mayores tasas de apariciones de macollos.

4.5. SUPERVIVENCIA DE MACOLLOS

Al inicio del experimento se marcaron 20 macollos de festuca en cada tratamiento a los cuales se les realizó el seguimiento de supervivencia totalizando 5 fechas de monitoreo luego de marcados, los que se realizaron a intervalos mensuales por separado para el experimento 1 (secano) del experimento 2 (con riego). Los macollos se marcaron el 27 de diciembre de 2017, y los siguientes relevamientos se realizaron el 20 de enero de 2018 (conteo 1), 27 de febrero de 2018 (conteo 2), 27 de marzo de 2018 (conteo 3), 7 de mayo (conteo 4) y 22 de junio de 2018 (conteo 5).

A continuación se presenta la información de la supervivencia de macollos de festuca por momento de conteo para las variables intensidad de defoliación (I), niveles de nitrógeno (N) y sus interacciones para los experimentos 1 y 2.

4.5.1. Supervivencia de macollos en secano

4.5.1.1. Conteo 1 sin riego

A los 24 días de iniciado el monitoreo la supervivencia promedio de macollos en el ensayo de secano era de 81%. En este primer conteo la supervivencia mostró diferencias significativas para las variables intensidad de defoliación ($p=0,0332$), no encontrándose efectos de la aplicación de diferentes niveles de nitrógeno ni de sus interacciones (IxN).

Con un manejo aliviado se reportó 16% más de supervivencia de macollos que en el manejo intenso (88 vs. 74%). Cabe destacar que durante este período se registraron las temperaturas más altas de todo el período experimental alcanzando niveles de temperatura para la cual según la bibliografía consultada la supervivencia de macollos en festuca se ve comprometida.

En la figura 7 se puede observar la evolución de la temperatura ambiente durante todo el período experimental y en particular para cada período en el que se registró el dato de supervivencia de los macollos, así como también las temperaturas extremas ocurridas y su comparación con el rango de las temperaturas extremas de crecimiento (5 y 30°C) según Cooper y Tainton (1968) y temperaturas óptimas para festuca (18,9 y 23,9°C) según Volesky et al. (2010).

Herken et al. (2019) aseguran que las temperaturas por encima de 30°C reducen el crecimiento de festuca y por sobre 35°C provocan la muerte de los macollos.

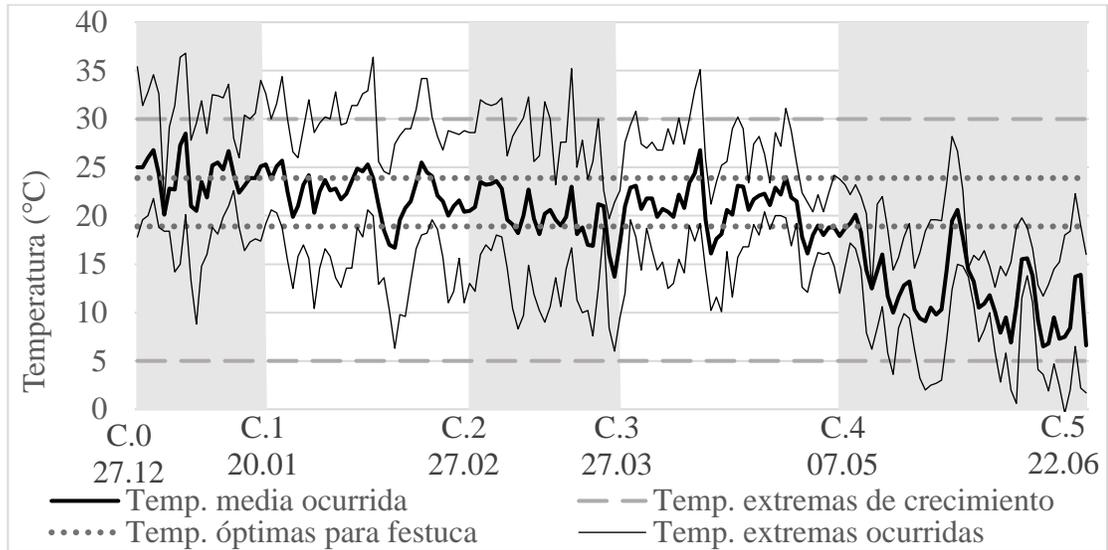


Figura No. 7. Temperatura ambiente ocurridas durante el período experimental (media y extremas), en comparación a la temperatura extrema y óptima para el crecimiento de festuca

A continuación en la figura 8 se puede observar como difiere la temperatura del aire con la temperatura del suelo cubierto de forraje y del suelo desnudo, ambos tomados a 10 cm de profundidad del suelo.

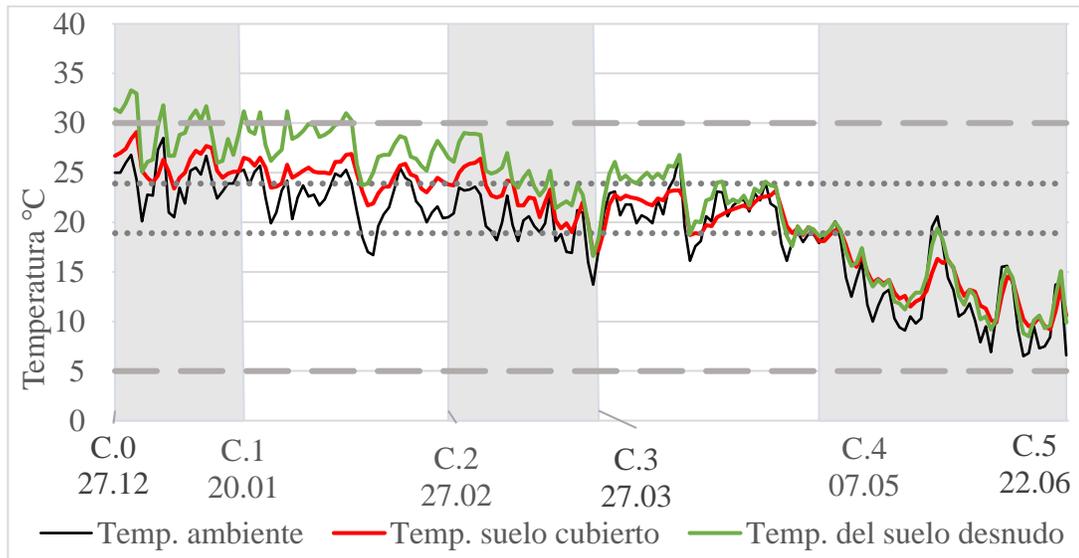


Figura No. 8. Comparativo entre temperatura de suelo y temperatura media ambiente durante todo el período experimental

A modo general se puede ver una superioridad de temperatura en el suelo en relación a la del ambiente, lo cual concuerda con los hallados por Herken et al. (2019) quienes reportan aumentos de 18% en la incidencia de la temperatura a nivel de césped. En el período estival las diferencias en valores absolutos de temperatura son mayores, difiriendo en 5°C cuando el suelo está cubierto de forraje (25 vs. 20°C) y 9°C cuando el suelo está desnudo (24 vs. 33°C).

Las temperaturas de los primeros cm del suelo son las que indican las condiciones de crecimiento de la pastura ya que es el lugar que se encuentran los puntos de crecimiento.

Se puede observar las mayores temperaturas en el suelo cuando no hay forraje, permaneciendo fuera del rango de temperaturas de crecimiento de festuca para todo el conteo 1. Se podría pensar que las mayores temperaturas a nivel de suelo alcanzadas bajo pastoreo aliviado (3 cm) fueron las que provocaron mayor pérdida de macollos.

Estos resultados concuerdan con los reportados por Becerra (2017), Herken et al. (2019), quienes encontraron mayor disminución de macollos entre los meses diciembre y febrero, atribuyéndoles las causas de muerte de macollos a las altas temperaturas estivales.

Dentro del período de diciembre y enero Herken et al. (2019) reportaron para el cultivar INIA Fortuna 23% de disminución en la sobrevivencia de macollos cuando el manejo fue intenso (3 cm) y disminuciones del 7% cuando el manejo fue aliviado (10 cm), sin embargo para el cultivar INIA Aurora se encontraron disminuciones de 14% con manejos intensos y 17% con manejos aliviados.

4.5.1.2. Conteo 2 sin riego

En este período la sobrevivencia promedio fue de 76%, disminuyendo un 5% en relación al conteo 1. En el segundo conteo en secano no se encontraron diferencias por efectos significativos de los tratamientos.

4.5.1.3. Conteo 3 sin riego

En el conteo 3 la supervivencia promedio de macollos fue de 70%, con una disminución de 6% de sobrevivencia de macollos en relación al conteo 2. Al igual que el anterior no se encontraron efectos para la intensidad de defoliación, ni para las diferentes unidades de nitrógeno aplicadas ni para la interacción (IxN).

4.5.1.4. Conteo 4 sin riego

En este período la supervivencia promedio fue de 69%, con una disminución de 1% en relación al conteo 3. En este conteo tampoco se reportaron efectos significativos en los tratamientos evaluados.

4.5.1.5. Conteo 5 sin riego

En el conteo 5 en seco se mantiene la misma población de macollos del conteo 4, permaneciendo con una supervivencia promedio de 69%.

4.5.2. Supervivencia de macollos con riego

Los resultados de la evaluación en la supervivencia de macollos con riego no presentaron efectos significativos de los tratamientos intensidad de defoliación, aplicación de diferentes unidades de nitrógeno ni para la interacción (IxN) en ninguno de los 5 conteos que se realizó la medición.

En la figura 9 se presenta la información de la supervivencia de macollos promedio de festuca con riego a lo largo del período experimental.

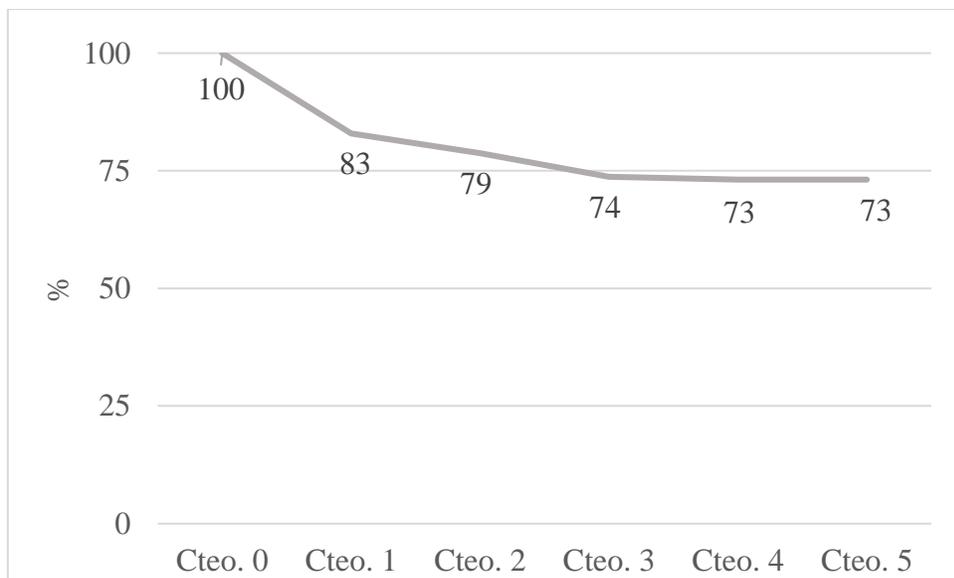


Figura No. 9. Supervivencia de macollos de festuca con riego entre diciembre y junio

4.6. COBERTURA DEL SUELO

Los resultados se presentarán por estación de crecimiento para la cobertura de suelo representada por festuca, restos secos, malezas y suelo desnudo por separado para los experimentos 1 y 2. Las variables evaluadas fueron la intensidad de defoliación (I), unidades de nitrógeno (N) y su interacción (IxN).

Los valores reales se representan mediante porcentajes de cobertura analizados a través del método punto cuadrado. Se tomaron 5 puntos por vez por lo que cada toque de aguja representa 1/5 toque por ciento. La variable a analizar se transformó en porcentaje cumpliendo con los principios de normalidad y distribución. Los valores reales son expresados como frecuencia que se expresan en términos de porcentaje de cobertura en un rango que va de 0-100%.

4.6.1. Cobertura del suelo en seco para la estación de verano

En este período se realizó una única medición el 6 de febrero de 2018.

A modo general se observó que la cobertura del suelo en verano en seco se conformó por 58% de festuca, 11% de malezas, 22% de restos secos y 9% de suelo desnudo.

En el verano sin riego solo se reportaron efectos significativos en la cobertura festuca ($p=0,0039$) y suelo desnudo ($p=0,0003$) por efecto de la intensidad de defoliación. No se encontró diferencia significativa en la cobertura de resto secos ni malezas por efecto de la intensidad de defoliación, aplicación de diferentes dosis de nitrógeno, ni para la interacción (IxN).

El manejo aliviado presentó 32% más de cobertura de festuca que el manejo intenso (68% vs. 46%).

El manejo intenso presentó 94% más de suelo desnudo que el manejo aliviado (18 vs. 1%).

4.6.2. Cobertura del suelo en seco para la estación de otoño

En otoño la cobertura del suelo se monitoreo el 22 de junio de 2018, una única medición al finalizar el período.

Se observó que la cobertura de festuca disminuyó un 11% en relación al registrado en verano en seco (58 vs. 51%) y también la proporción de restos secos en

23% (22 vs. 17%), al mismo tiempo se observaron aumentos en la cobertura de malezas en 94% (11 vs. 21%) y suelo desnudo con 17% (11 vs. 9%).

4.6.2.1. Cobertura de festuca en secano para otoño

En otoño, la festuca en secano presentó diferencias significativas para la variable intensidad de defoliación ($p=0,0001$). No se encontraron diferencias significativas para la variable simple (N) ni para la interacción (IxN). El manejo aliviado presentó 35% más de cobertura con festuca que el manejo intenso (62 vs. 40% de cobertura de festuca).

4.6.2.2. Cobertura de restos secos en secano para otoño

La cobertura de restos secos varió significativamente por efecto de la intensidad de defoliación ($p=0,0011$). No se encontraron efectos significativos para la aplicación de unidades de N ni para la interacción (IxN). El manejo aliviado presentó 44% más de restos secos que el manejo intenso (22 vs. 12% de cobertura de restos secos).

4.6.2.3. Cobertura de malezas en secano para otoño

La variable malezas presentó efectos significativos únicamente por intensidad de defoliación ($p=0,0011$). No se encontró diferencia significativa para la aplicación de nitrógeno ni para la interacción (IxN). El manejo intenso presentó 89% más de malezas que el manejo aliviado (28 vs. 3% de cobertura de malezas).

4.6.2.4. Suelo desnudo en secano para otoño

La proporción de suelo desnudo presentó una interacción significativa IxN ($<0,0001$). En la figura 10 se puede observar la proporción de suelo desnudo según la interacción.

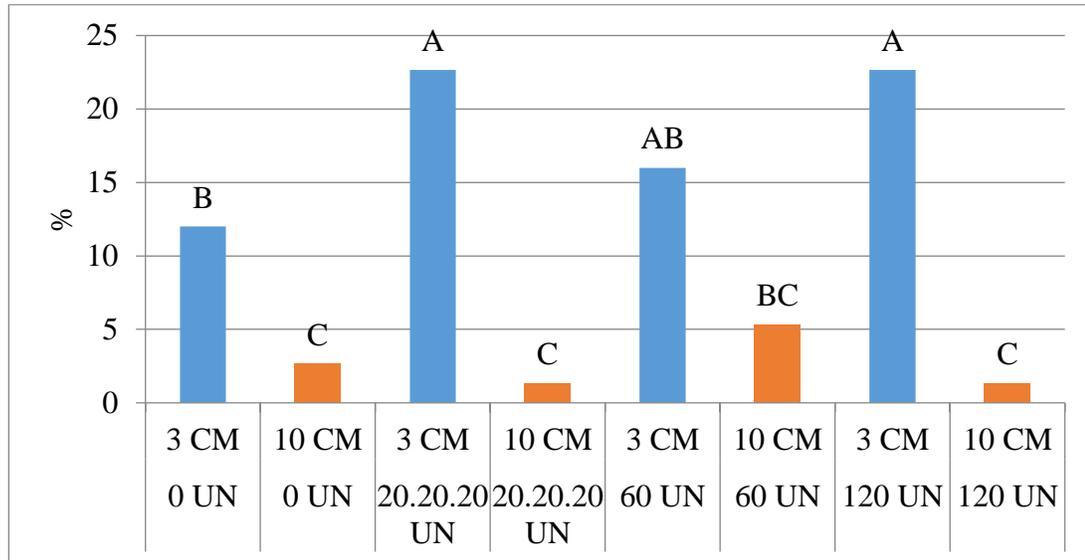


Figura 10. Interacción de intensidad de defoliación con la aplicación de nitrógeno en la cobertura de suelo en secano de otoño

4.6.3. Cobertura del suelo con riego para la estación de verano

La cobertura de suelo en verano bajo riego se conformó por 69% de festuca, 6% de restos secos, 18% de malezas y 7% de suelo desnudo.

4.6.3.1. Cobertura de festuca con riego para verano

No se encontraron efectos significativos en la cobertura de festuca con riego para ninguna de las variables simples (I; N) ni para la interacción (IxN).

4.6.3.2. Cobertura de restos secos con riego para verano

Para la cobertura de restos secos con riego tampoco se reportaron efectos significativos por la intensidad de defoliación, aplicación nitrógeno ni por la interacción (IxN).

4.6.3.3. Cobertura de malezas con riego para verano

Se encontraron efectos significativos en la cobertura de malezas con riego por efecto de la aplicación de nitrógeno ($p=0,0566$). No se encontraron efectos por intensidad de defoliación ni para la interacción (IxN).

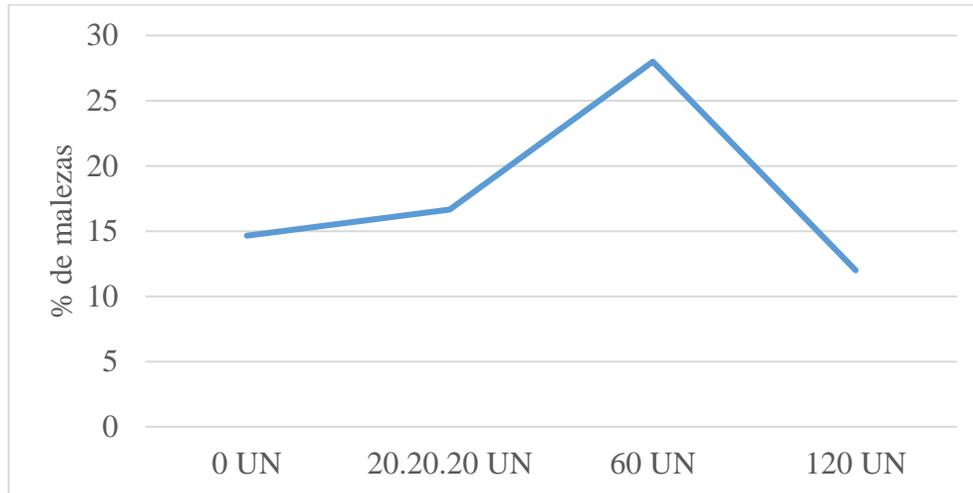


Figura 11. Respuesta de la cobertura de malezas por variaciones en las unidades de nitrógeno aplicadas

4.6.3.4. Suelo desnudo con riego para verano

La variable suelo desnudo presentó efecto significativo únicamente por intensidad de defoliación ($p=0,0484$). No se encontraron diferencias significativas para la aplicación de nitrógeno ni para la interacción (IxN). El manejo intenso presentó 92% más de suelo desnudo que el manejo aliviado (13 vs. 2% de cobertura de malezas).

4.6.4. Cobertura del suelo con riego para la estación de otoño

La cobertura de suelo en otoño vario proporcionalmente en relación al verano cuando festuca disminuyó 24% (69 vs. 53%), así como también la proporción de malezas disminuyó 10% (18 vs. 16%) y restos secos 3% (7 vs. 6%), en cambio la proporción de suelo desnudo se vió aumentada en 303% (6 vs. 25%).

En el otoño con riego solo se reportó efecto significativo para la proporción de suelo desnudo por efecto de la intensidad de defoliación ($p<0,0001$). No se encontraron efectos en la cobertura de festuca, resto secos ni para la cobertura de malezas por variaciones en la intensidad de defoliación, aplicación de diferentes dosis de nitrógeno, ni para la interacción (IxN).

El manejo intenso presentó 97% más de suelo desnudo bajo riego que el manejo aliviado (13% vs. 0,33%).

4.6.3. Consideraciones finales

Sobre la información analizada se pudo concluir que durante el verano en un año seco, la aplicación del riego sobre festuca permitió aumentar la producción de materia seca, así como también la altura de forraje, relación hoja tallo y sobrevivencia de macollos.

Estos resultados eran esperables ya que según la bibliografía consultada se evidenció respuesta en la producción de festuca por aplicación de riego, aún más durante el verano cuando la disponibilidad hídrica junto a las altas temperaturas son los factores que más influyen en la producción y persistencia de esta especie.

Productivamente la promoción de forraje por aplicación de riego durante el período estival fue determinante en tener o no tener forraje en ese momento del año, ya que se evidenció aumentos del 100% en la producción de festuca por aplicación del riego.

Al cubrir la limitate hídrica estival se ve promovida también la producción de malezas, con aumentos en la producción de materia seca y cobertura de suelo, lo que puede estar explicado por el tipo de especies presentes de metabolismo C₄ más eficientes en la utilización del agua y más competitivas ya que se ven favorecidas por altas temperaturas y las radiaciones ocurridas en verano.

Por otra parte, analizando los resultados desde el punto de vista económico no fue rentable realizar el riego, ya que si bien se obtuvieron diferencias significativas en la producción de forraje los kg de MS adicionales (748 kg MS/ha) no cubrieron los costos de aplicación de riego (ver anexos). Sin embargo, se podría pensar que, si bien año a año la producción de MS adicional por riego no justifica los costos, el riego podría aumentar la persistencia de la pastura contando con producción de forraje por más tiempo y de esa forma diluir los costos de instalación de la pastura, ya que se evidenció un 24% más en la supervivencia de macollos en los tratamientos regados, suposición que se ve limitada por el período acotado de tiempo de evaluación.

Para evaluar la fertilización nitrogenada se aplicaron pulsos de nitrógeno en forma de urea. En términos generales no se encontró respuesta en la producción de materia seca de festuca por la aplicación de urea en cada corte evaluado ni en el acumulado sin obtener efecto de la dosis ni el fraccionamiento, así como tampoco se encontró respuesta en la supervivencia de macollos independientemente de los kg/ha de urea aplicados y su fraccionamiento.

Se podría pensar que las altas temperaturas ocurridas durante el verano neutralizan el efecto de la fertilización por mayor disponibilidad de nitrógeno orgánico en

el suelo, o que la baja disponibilidad de agua limite su absorción o movilización, ya que tampoco se evidenció aumentos significativos en cada corte en la producción de malezas.

Observando éstos resultados y teniendo en cuenta que la festuca es una especie invernal con menor eficiencia en la utilización del nitrógeno durante el período estival por su metabolismo fotosintético C₃, la práctica de fertilización nitrogenada en festuca durante el verano no sería razonable.

En cuanto a la intensidad de defoliación, en el manejo intenso (3 cm) se registraron crecimientos tempranos en el primer corte en seco, con mayor producción de MS y posteriormente asociado a condiciones climáticas los rebrotes fueron insignificantes constatándose mayor suelo desnudo durante el verano para el manejo intenso.

Durante el período de corte 2 al 4 no se reportan efectos significativos, pero a medida que pasa el tiempo se comienzan a manifestar efectos de la intensidad de defoliación con diferencias significativas a favor del manejo aliviado (10 cm) en el último corte de otoño (corte 5) para los experimentos 1 y 2 (secano y riego respectivamente).

En cuanto a la sobrevivencia de macollos se observan diferencias significativas únicamente en el primer conteo en seco a favor del manejo aliviado (10 cm).

La defoliación durante el verano es determinante en la productividad y persistencia de la festuca, ya que como se pudo constatar bajo pastoreo intenso la producción de forraje es netamente menor por presentar menor masa foliar para reiniciar el rebrote y mayor pérdida de productividad por menor sobrevivencia de macollos.

La pérdida de macollos durante el verano da lugar a la instalación de malezas. Se registran efectos significativos en la producción de malezas a favor del manejo intenso (3 cm) durante todo el período experimental, lo que puede estar dado por la mayor proporción de suelo desnudo por pérdida de macollos y menor cobertura de festuca generada en este manejo.

La producción y persistencia de festuca durante el período estival está determinada por las condiciones climáticas, entre ellas la disponibilidad hídrica y las altas temperaturas.

El riego parecería ser la variable más importante en la producción de festuca durante el verano, ya que en ausencia de riego se reportó nula producción de materia seca, independientemente del manejo de defoliación y la aplicación de nitrógeno.

Luego de cubierta la limitante hídrica el manejo del pastoreo pareció ser el factor que le sigue en importancia, ya que permitió amortizar el estrés generado en la pastura por las altas temperaturas a nivel del suelo en el verano.

Por último, la fertilización nitrogenada para las condiciones en que se realizó el experimento parecería ser el factor de menor importancia en la producción de festuca, ya que no se encontró respuesta en la producción de materia seca de festuca y tampoco interacción con las otras variables de manejo durante el verano.

A partir de los resultados obtenidos se puede concluir que la disponibilidad hídrica y el manejo de la defoliación en el verano condicionaron el estado y composición de la pastura durante el otoño.

Uno de los aspectos más importantes que afectan la performance productiva y persistencia de la pastura de festuca es la sobrevivencia de macollos en verano.

Se encontró mayor % de macollos vivos durante el otoño por efecto de aplicación de riego durante el verano, por lo que si bien regar para estas condiciones experimentales no fue rentable permitió disminuir la variabilidad de forraje entre estaciones y mejorar la persistencia de la pastura, permitiendo tener forraje por más tiempo.

La pérdida de macollos por manejos inapropiados durante el verano genera mayor proporción de suelo desnudo y restos secos lo que da lugar a la instalación de otras especies consideradas malezas, esto podría explicar los efectos significativos en la producción de malezas a favor del tratamiento sin riego y manejo intenso.

No se encontró efectos significativos en la supervivencia de macollos por la fertilización nitrogenada.

5. CONCLUSIONES

Las limitantes hídricas y altas temperaturas ocurridas en verano son las que limitan y condicionan la producción y persistencia de festuca.

Cubriendo la limitante hídrica mediante el riego durante el período estival se logró aumentar y mantener la producción de forraje, aunque para éstas condiciones experimentales económicamente no fue rentable.

Con el manejo diferencial del pastoreo se logró mejorar la producción, composición y persistencia de la pastura. Mediante manejos aliviados (10 cm) la mayor cobertura de forraje logró atenuar las altas temperaturas de suelo ocurridas en verano, mejorando las condiciones de crecimiento del forraje y disminuir espacios para la instalación de malezas estivales.

Se evidenció deterioro de la pastura y pérdida de macollos bajo pastoreos intensos (3 cm), así como también mayor proporción de restos secos y suelo desnudo que dio lugar a la presencia de malezas.

No se encontraron efectos positivos en producción ni en la persistencia de festuca por aplicación de nitrógeno.

La producción de malezas se ve promovida por el riego y manejos intensos que mejoran la calidad de la luz alcanzada, sumado a que las condiciones climáticas como ser altas temperaturas del verano son favorables para el desarrollo de las malezas de metabolismo C₄ presentes en el experimento.

Se destaca la importancia del riego para contar con forraje durante el verano y mejorar la supervivencia de macollos, aumentando la persistencia de la pastura.

El manejo aliviado durante el verano es un buen mecanismo para mejorar la supervivencia de macollos y aumentar persistencia de la pastura.

Realizar fertilización nitrogenada sobre festuca que es una especie invernal y de metabolismo C₃, no sería razonable durante el período estival.

Utilizar tecnologías durante el período estival como el riego y manejo aliviado permite mantener en el largo plazo pasturas con mayor densidad, estables, productivas y con mayor capacidad competitiva.

6. RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar la performance de *Festuca arundinacea* cv. INIA Aurora bajo dos manejos de defoliación, diferentes estrategias de fertilización nitrogenada y regímenes hídricos durante verano y otoño, evaluando la producción de forraje y supervivencia de macollos de la pastura. Los manejos de defoliación (I) consistieron en intensidades de 3 y 10 cm como manejo intenso y aliviado respectivamente. La estrategia de fertilización (UN) fue mediante pulsos de nitrógeno de 0, 20, 60 y 120 kg/ha aplicado en una única vez y una dosis de 60 kg/ha fraccionado en tres subdosis de 20 kg/ha cada una. El régimen hídrico fue mediante riego (R), reponiendo los mm de agua mediante balance hídrico calculado al momento de aplicar en contraste a un testigo en secano. El experimento se llevó a cabo en el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, estación Villa Sara, Treinta y Tres, Uruguay; 33° 15' 06'' de latitud Sur y 54° 25' 58'' de latitud Oeste, sobre la unidad de suelos Vergara. El período experimental comprendió del 26 de diciembre de 2017 al 22 de junio de 2018, siendo el período entre 26 de diciembre y 1 de marzo la estación de verano y el comprendido entre 1 de marzo al 29 de mayo la estación de otoño. Para la producción estacional de festuca en verano se hallaron efectos significativos de I únicamente en secano a favor del manejo intenso (167 vs. 0 kg/ha MS). En el otoño se constató un efecto significativo por I en la producción de festuca a favor de defoliaciones aliviadas para los tratamientos en secano (882 vs. 658 kg MS/ha para 3 y 10 cm respectivamente) y también con R (1356 vs. 730 kg MS/ha para 3 y 10 cm respectivamente). No se encontraron efectos significativos para la UN en ninguna de las dos estaciones evaluadas. En la producción total acumulada de festuca durante verano y otoño se encontraron diferencias significativas únicamente por efecto de I con R a favor del manejo aliviado (1356 vs. 730 kg/ha MS para 10 y 3 cm respectivamente), en cambio para la producción acumulada de malezas se encontró efecto significativo de I con ventajas de defoliación intensa y riego (613 vs. 325 kg MS/ha). En cuanto a la altura de forraje se encontró un efecto únicamente por I la cual se vio promovida por manejo aliviado en los experimentos 1 y 2. Se encontró efecto significativo de la producción aérea en relación a las raíces únicamente por efecto I en secano, con mayor producción de parte aérea con defoliación intensa (relación parte aérea/raíz: 0,89 vs. 0,70). No se encontró efecto en ningún tratamiento evaluado para la producción de macollos/m². En cuanto a la supervivencia de macollos se encontró efecto significativo únicamente para I en secano con supervivencia de 88% aliviado y 74% intenso. La cobertura de forraje de festuca acompañó los resultados de MS predominando en el experimento con riego y manejo aliviado, por el contrario en el experimento en secano y manejo intenso se vio promovida la producción de restos secos y suelo desnudo.

Palabras clave: Festuca; Supervivencia estival; Riego; Intensidad de defoliación; Fertilización nitrogenada.

7. SUMMARY

The objective of this work was to evaluate the performance of *Festuca arundinacea* cv. INIA Aurora under two defoliation handles, different nitrogen fertilization strategies and water regimes during summer and autumn, evaluating the production of fodder and survival of tillers of the pasture. Defoliation handles (I) consisted of intensities of 3 and 10 cm as intense and relieved management respectively. The fertilization strategy (UN) was via nitrogen pulses of 0, 20, 60 and 120 kg/ha applied at one time and a dose of 60 kg/ha fractioned into three 20 kg/ha subdose each one. The water regime was by irrigation (R), replenishing the water mm by calculated water balance when applying a drying witness in contrast. The experiment was carried out at the National Institute of Agricultural Research, Villa Sara Station, Thirty -Three, Uruguay; 33° 5' 06'' of southern latitude and 54° 25' 58'' of west latitude, on the Vegara Soil Unit. The experimental period included from December 26th., 2017 to June 22nd., 2018, being the period between December 26th. and March 1st. the summer season and the period from March 1st. to May 29th. the autumn station. For the seasonal production of fescue in summer, significant effects of I were found only in dry land in favor of intense management (167 vs. 0 kg/ha DM). In autumn, a significant effect by I on fescue production was found in favor of alleviated defoliation for rainfed treatments (882 vs. 658 kg DM/ha for 3 and 10 cm respectively) and also with irrigation (1356 vs. 730 kg DM/ ha for 3 and 10 cm respectively). No significant effects were found for the application of UN in any of the two stations evaluated. In the total cumulative production of fescue during summer and autumn, significant differences were found only due to the effect of I with R in favor of eased management (1356 vs. 730 kg/ha DM for 10 and 3 cm respectively), on the other hand for the accumulated weed production, a significant effect of I was found with advantages of intense defoliation and irrigation (613 vs. 325 kg DM/ ha). Regarding the height of forage, an effect was found only due to the I, which was promoted by eased management in experiments 1 and 2. A significant effect of aerial production was found in relation to roots only due to the effect of I in dry land, with greater production of aerial part with intense defoliation (relationship aerial part/root: 0.89 vs. 0.70). No effect was found in any treatment evaluated for the production of tillers/m². Regarding the survival of tillers, a significant effect was found only for the I in dry land with survival of 88% relieved and 74% intense. The fescue forage cover accompanied the DM results, prevailing in the experiment with irrigation and eased management, on the contrary, in the dryland experiment and intense management, the production of dry remains and bare soil was promoted.

Keywords: Fescue; Summer survival; Irrigation; Defoliation intensity; Nitrogen fertilization.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Agnusdei, M.; Di Marco, O.; Marino, A.; Errecart, P.; Insúa, J. 2010. Pasturas base festuca: producción y manejo. In: Reunión Anual de Forrajeras (12^a., 2010, Pergamino). Actas. Pergamino, INTA. pp. 1-17.
2. _____.; Castaño, J. 2011. Manejo de pasturas templadas para suelos no agrícolas. (en línea). In: Expo Suipacha (21^o., 2011, Suipacha, Buenos Aires). Síntesis del material de las charlas técnicas. Balcarce, INTA. pp. 2-7. Consultado may. 2019. Disponible en <https://docplayer.es/81639770-Manejo-de-pasturas-templadas-para-suelos-no-agricolas.html>
3. Akmal, M.; Janssens, M. 2004. Productivity and light use efficiency of perennial ryegrass with contrasting water and nitrogen supplies. *Field Crops Research*. 88(2-3):143-155.
4. Alesandri, D.; Alesandri, G. 2009. Seminario sobre fertilización nitrogenada en pasturas. Montevideo, Uruguay, Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 25 p.
5. Allen, R.; Pereira, L.; Raes, D.; Smith, M. 2015. Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma, FAO. 322 p. (FAO. Riego y Drenaje no. 56).
6. Almeida, E. X.; Maraschin, G. E.; Ludtke, O. E.; Nunes, H.; Apesteguía, E. 1997. Oferta de forragem de capim-elefante año “Mott” e o rendimento animal. Tesis de Posgrado. Porto Alegre, Brasil. Universidad Federal do Rio Grande do Sul. Facultad de Agronomía. 112 p.
7. Alonso, D. s.f. El riego por aspersión. (en línea). Valladolid, INEA. Escuela Universitaria de Ingeniería. 5 p. Consultado abr. 2019. Disponible en <https://docplayer.es/21626228-Autor-diego-alonso-una-red-de-tuberias-principales-que-llevan-el-agua-hasta-los-hidrantes-que-son-las-tomas-de-agua-en-la-parcela.html>
8. Altamirano, A.; Da Silva, H.; Durán, A.; Echeverría, A.; Panario, D.; Puentes, R. 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay. (en línea). Montevideo, MAP. DSF. Esc. 1:1.000.000. Consultado 14 ago. 2019. Disponible en <http://bibliotecadigital.bibna.gub.uy:8080/jspui/handle/123456789/5486>

9. Aperlo, D.; Scheneiter, J. 2017. ¿Son necesarios los cortes post pastoreo en pasturas de festuca alta? *Revista de Tecnología Agropecuaria. Forrajes*. 10(33):50-54.
10. Arce, M.; Fernández, P.; Riccetto, 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. 81 p.
11. Ayala, W.; Bemhaja, M.; Cotro, B.; Docanto, J.; García, J.; Olmos, F.; Real, D.; Rebuffo, M.; Reyno, R.; Rossi, C.; Silva, J. 2010. Forrajeras: catálogo de cultivares 2010. Montevideo, INIA. 131 p.
12. Barker, D.; Chu, A.; Korte, C. 1985. Some effects of spring defoliation and drought on perennial ryegrass swards. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*. 46:57-63.
13. Bazzigalupi, O.; Bertín, O. 2014. Fertilización nitrogenada en gramíneas forrajeras: fertilización nitrogenada en *Festuca arundinacea* Schreb. para producción de semilla con riego en el Norte de Buenos Aires, Argentina. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. 40(3):290-295.
14. Becerra, O. 2017. Producción de forraje y sobrevivencia de macollos en festuca en verano con o sin la inclusión del hongo endófito AR584. Tesis Técnico en Producción Agrícola Ganadera. La Carolina, Flores, Uruguay. ANEP. UTU. 32 p.
15. Berretta, E. 2015. Aspectos de manejo en situaciones críticas de forraje. *In*: Gómez, R.; Albicette, M. eds. Alternativas tecnológicas para enfrentar situaciones de crisis forrajera. Montevideo, INIA. pp. 15-17.
16. Bertin, D. 1990. Efectos de la defoliación y de la asociación con *Trifolium repens* L. en *Festuca arundinacea* Schreb: número y destino de los macollos. INTA Pergamino. Informe Técnico no. 245. 23 p.
17. Boggiano, P.; Zanoniani, R.; Cadenazzi, M.; Giménez, L.; Formoso, D.; Aguirre, S.; Irazabal, N.; Otegui, I.; Arce, M.; Fernández, P.; Riccetto, S. 2014. Riego suplementario en cultivos y pasturas. Evaluación de la respuesta al riego suplementario de las gramíneas perennes durante el período estival.

In: Giménez, L. ed. Riego suplementario en cultivos y pasturas. Montevideo, INIA. pp. 29-43 (FPTA no. 55).

18. Botrel, M.; Alvim, M.; Xavier, D. 1991. Efeito da irrigação sobre algumas características agronômicas de cultivares de capim-elefante. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 26(10):1731-1736.
19. Briske, D.; Richards, J. 1995. Plant responses to defoliation, a physiological, morphological and demographic evaluation. Davis, Texas, Texas A&M University. Department of Rangeland Ecology and Management. pp. 3-26.
20. Brock, J.; Hay, R. 1993. An ecological approach to forage management. In: International Grassland Congress (17th., 1993, Palmerston North, New Zealand). Proceedings. Wellington, SIR. pp. 837-842.
21. Bruno, O.; Castro, H.; Comerón, E.; Días, M.; Guaita, S.; Gaggiotti, M.; Romero, L. 1995. Técnicas de muestreo y parámetros de calidad de los recursos forrajeros. Santa Fé, INTA. pp. 7-8 (Publicación Técnica no. 56).
22. Cairús, M. C.; Regusci, M. A. 2013. Producción invierno-primaveral de mezclas forrajeras de tercer año bajo pastoreo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 87 p.
23. Carámbula, M. 2010. Pasturas y forrajes: potenciales y alternativas para producir forraje. Montevideo, Hemisferio Sur. t.1, 186 p.
24. Carballo, C. 2014. Conducta y consumo de vacas lecheras en pasturas mixtas con *Festuca arundinacea* bajo diferentes intensidades de pastoreo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 101 p.
25. Cardozo, G.; Marchelli, J. 2017. Producción intensiva de carne en pasturas regadas con pivot central. In: Formoso, D.; García, C. eds. Pasto y carne en pasturas regadas. Montevideo, INIA. pp. 13-21 (Serie Técnica no. 231).
26. Chamblee, D.; Lucas, L.; Campbell, W. 1983. Ladino clover persistence as affected by physical management and use of pesticides. In: International Grassland Congress (14th., 1981, Lexington, Kentucky). Proceedings. Boulder, Colorado, Westview. pp. 584-587.

27. Chao, T.; Kroontje, W. 1964. Relationships between ammonia volatilization, ammonia concentration and water evaporation. *Soil Science Society of American Journal*. 28(3):393-395.
28. Chilibroste, P. 1999. Grazing Time: the missing link. A study of the plant-animal interface by integration of experimental and modelling approaches. Thesis PhD. Wageningen, The Netherlands. Wageningen University. 190 p.
29. Cooper, J.; Tainton, N. 1968. Light and temperature requirements for the growth of tropical and temperate grasses. *Herbage Abstracts*. 38(3):167-176.
30. Cowan, J. R. 1956. Tall fescue. *Advances in Agronomy*. 8:283-320.
31. Cruz, P.; Boval, M. 2000. Effect of nitrogen on some morphogenetic traits of temperate and tropical perennial forage grasses. *In*: Lemaire, G.; Hodgson, J.; de Moraes, A.; Carvalho, P. C. De F.; Nabinger, C. eds. *Grassland ecophysiology and grazing ecology*. Oxfordshire, OX, UK, CABI. pp. 151-168.
32. D'Andrea, F.; Scheneiter, O.; Pagano, E. 1999. Crecimiento del trébol blanco asociado con festuca alta y cebadilla criolla en pasturas utilizadas con dos alturas del pastoreo. *Revista de Tecnología Agropecuaria*. 6(12):34-37.
33. Da Cunha, F.; Alves, A.; Chartuni, E.; Chohaku, G.; Gomes, O.; De Souza, F. 2008. Produtividade do capim tanzania em diferentes níveis e frequências de irrigação. *Maringá*. 30(1):103-108.
34. Da Silva, S.; Hodgson, J.; Matthew, C.; Matthews, P.; Holmes, C. 2004. Herbage production and animal performance ryegrass/white clover dairy pastures under alternative spring grazing managements. *Journal of Agricultural Science*. 142:97-108.
35. Davies, A. 1988. The regrowth of grass swards. *In*: Jones, M. B.; Lazenby, A. eds. *The grass crop*. London, Chapman and Hall. pp. 85-127.
36. De Souza, P.; Presno, J. 2013. Productividad invierno-primaveral de praderas mezcla con *Festuca arundinacea* o *Dactylis glomerata* en su tercer año pastoreadas con novillos Holando con distintas dotaciones. Tesis Ing.

Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 110 p.

37. Demanet, F.; Canseco, M.; Reyes, A.; Cantero, E. 2007. Programa desarrollo de proveedores. Técnicas de manejo de pastoreo para praderas permanentes. (en línea). Temuco, Universidad de La Frontera. 1 p. Consultado 10 sep. 2019. Disponible en <https://www.consorciolechero.cl/chile/documentos/fichas-tecnicas/24junio/tecnicas-de-manejo-de-pastoreo-para-praderas-permanentes.pdf>
38. Deregibus, V.; Sanchez, R.; Casal, J. 1983. Effects of light quality on tiller production in *Lolium* spp. *Plant Physiology*. 72(3):900-902.
39. _____.; _____.; _____.; Trlica, M. 1985. Tillering responses to enrichment of red light beneath the canopy in a humid natural grassland. *Journal of Applied Ecology*. 22(1):199-206.
40. Donaghy, D.; Turner, L.; Adamczewski, K. 2008. Effect of defoliation management on water-soluble carbohydrate energy reserves, dry matter yields, and herbage quality of Tall Fescue. *Agronomy Journal*. 100(1):122-127.
41. Durán, A.; García Préchac, F. 2007. Factores ambientales. In: Suelos del Uruguay. Montevideo, Hemisferio Sur. v.1, pp. 46-60.
42. Echeverría, H.; Bergonzi, R. 1995. Estimación de la mineralización de nitrógeno en suelos bonaerense. INTA. Boletín Técnico no. 135. 15 p.
43. Edwards, G.; Chapman, D.; Nie, Z. 2011a. Plant responses to climate and relationships with pasture persistence. *Grassland Research and Practice Series*. 15:99-108.
44. _____.; _____. 2011b. Plant responses to defoliation and relationships with pasture persistence. *Grassland Research and Practice Series*. 15:39-45.
45. Escuder, J. 1996. Crecimiento de las pasturas cultivadas, algunos factores que lo afectan. In: Cangiano, C. ed. Producción animal en pastoreo. Balcarce, INTA. pp. 15-26.

46. Faber, A. 2012. Estructura espacial y selectividad de parches en pastura de festuca alta pastoreadas a diferente altura remanente. Tesis Magister en Ciencias Agrarias. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 87 p.
47. Facil, J.; Playán, E.; Zapata, N.; Martínez, A.; Dechmi, F.; Salvador, R. 2005. El manejo del riego por aspersión en zonas ventosas. (en línea). Zaragoza, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Estación Experimental de Aula Dei. 22 p. Consultado 30 sep. 2019. Disponible en http://digital.csic.es/bitstream/10261/87403/1/MCob_Tierras_2005.pdf
48. Fernández, R. 2001. Efecto de la fertilización nitrogenada invernal sobre la acumulación de forraje de un pastizal natural de La Pampa deprimida. (en línea). Agricultura Técnica (Chile). 61(3):19-325. Consultado mar. 2019. Disponible en https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072001000300007
49. Forbes, T. 1988. Researching the plant-animal interface: the investigation of ingestive behavior in grazing animals. *Journal of Animal Science*. 66(9):2369-2379.
50. Formoso, F.; Ugarte, G. G. 1973. Algunos estudios sobre producción, manejo, calidad y utilización de forraje en *Festuca arundinacea* Schreb y *Phalaris tuberosa* L. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 234 p.
51. _____. 1995. Época de diferenciación floral y alargamiento de entrenudos en *Festuca arundinacea* cv. Estanzuela Tacuabé, *Falaris aquatica* cv Estanzuela Urunday y *Dactylis glomerata* cv INIA LE Oberon. Montevideo, INIA. 16 p. (Serie Técnica no. 59).
52. _____. 1996. Producción de semillas de especies forrajeras. In: Risso, D.; Berretta, E.; Morón, A. eds. Producción y manejo de pasturas. Montevideo, INIA. pp. 40-46 (Serie Técnica no. 80).
53. _____. 2010. *Festuca arundinacea*: manejo para producción de forraje y semillas. Montevideo, INIA. 200 p. (Serie Técnica no. 182).

54. _____.; Norbis, H. 2014. El riego de pasturas en la producción animal. In: Seminario Internacional (3°, 2014, Paysandú). Trabajos presentados. Montevideo, INIA, pp. 96-108.
55. Fox, R.; Hoffman, L. 1981. The effect of N fertilizer source on grain yield, N uptake, soil pH, and lime requirement in no-till corn. *Agronomy Journal*. 73(5):891-895.
56. García, C. 2010. Potencial del riego extensivo en cultivos y pasturas: estrategias para la incorporación del riego en sistemas de producción extensivos. In: Seminario Internacional Potencial del Riego Extensivo en Cultivos y Pasturas (1°, 2010, Paysandú). Estrategias para la incorporación del riego en sistemas de producción extensivos. Montevideo, INIA. pp. 135-140.
57. _____.; Otero, A. 2017. Riego y estabilidad. Necesidades de agua de las pasturas. (en línea). In: Jornada de Riego (6ª., 2017, Salto). Trabajos presentados. Salto, INIA. s.p. Consultado jun. 2019. Disponible en <http://inia.uy/Documentos/P%C3%BAblicos/INIA%20Las%20Brujas/Riego/Expo%20Prado%202018/INIA%20Riego%20Garc%C3%ADa.pdf>
58. García, G. 2006. Efecto de la carga animal y época del año sobre la conducta y performance de vacunos en pastoreo de *Festuca arundinacea*. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 73 p.
59. García, J. 1995. Gramilla y praderas. Montevideo, INIA. 15 p. (Serie Técnica no. 67).
60. _____. 2003. Crecimiento y calidad de gramíneas forrajeras en La Estanzuela. Montevideo, INIA. 35 p. (Serie Técnica no. 133).
61. García, L. 1980. Noticias de la investigación: manejo estival de *Festuca arundinacea*. *Revista del Plan Agropecuario*. no. 23:44-49.
62. García, M.; Puppo L.; Hayashi, R.; Morales, P. s.f. Metodología para determinar los parámetros hídricos de un suelo a campo. (en línea). Montevideo, Facultad de Agronomía. Departamento de Suelos y Agua. s.p. Consultado feb. 2022. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/Metodologia%20para%20determinar%20los%20parametros%20hidricos%20de%20%20un%20suelo%20a%20campo.pdf>

63. Gastal, F.; Belanger, G.; Lemaire, G. 1992. A model of the leaf extension rate of tall fescue in response to nitrogen and temperature. *Annals of Botany*. 70(5):437-442.
64. Gibb, M. 2006. Grassland management with emphasis on grazing behaviour. *Fresh Herbage for Dairy Cattle*. 15:141-157.
65. Giorello, D.; Jaurena, M.; Boggiano, P.; Pérez Gomar, E. 2012. Riego en cultivos y pasturas: respuesta al riego suplementario en pasturas y forrajes. In: Seminario Internacional (2º., 2012, Salto). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 45-54.
66. Gislum, R.; Rolston, P.; Hart, J.; Chynoweth, R.; Mc Cloy, B.; Young, W. 2007. Economical optimal nitrogen (ECO-N) application rate is all that matters for the growers. In: International Herbage Seed Conference (6th., 2007, Gjenestad). Proceedings. Akershus, Bioforsk Fokus. pp. 206-210.
67. Gómez, P. 1997. Producción animal en pastoreo: aspectos relevantes a tener en cuenta en los sistemas de producción animal en pastoreo. Balcarce, INTA. 145 p.
68. Gonçalves, V.; Tavares, S.; Junqueira, E.; Rocha, V.; Gonçalves, F.; Walker, S.; Martins, C; Cóser, A. 2010. Lâminas de irrigação e doses de nitrogênio em pastagem de capim-elefante no período seco do ano no Norte de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 39(6):1191-1199.
69. González-Dugo, V.; Durand, J.; Gastal, F.; Picon-Cochard, C. 2005. Short-term response of the nitrogen nutrition status of tall fescue and Italian ryegrass swards under water deficit. *Australian Journal of Agricultural Research*. 56:1269-1276.
70. Gorriti, O.; Pérez Del Castillo, M. 1998. Respuesta a fuentes, niveles y localización del nitrógeno en la producción y calidad de semilla de *Festuca arundinacea* Schreb cv. Tacuabe. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 65 p.
71. Grant, A.; Barthram, G.; Torvell, L. 1981. Components of regrowth in grazed and cut *Lolium multiflorum* swards. *Grass and Forage Science*. 36(3):155-168.

72. Gutiérrez, F.; Calistro, E. 2013. *Festuca arundinacea* INIA Aurora e INIA Fortuna: nuevos cultivares para aumentar la estabilidad de las pasturas perennes. (en línea). El Tambo. no. 193:70-74. Consultado 17 sep. 2018. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/971/1/112761060613150330.pdf>
73. Hampton, J. ; Clemence, T. ; Hebblethwaite, P. 1983. Nitrogen studies in *Lolium perenne* grown for seed. IV. Response of amenity types and influence of a growth regulator. Grass and Forage Science. 38(2):97-105.
74. Hare, M.; Rolston, M. 1990. Nitrogen effects on tall fescue seed production. Journal of Applied Seed Production. 8:28-32.
75. Harris, S.; Thom, E.; Clark, D. 1996. Effect of high rates of nitrogen fertiliser on perennial ryegrass growth and morphology in grazed dairy pasture in northern New Zealand. New Zealand Journal of Agricultural Research. 39(1):159-169.
76. Harris, W. 1978. Defoliation on as a determinant of the growth persistence of pasture. In: Wilson, J. R. ed. Plants relations in pastures. Melbourne, CSIRO. pp. 67-85.
77. Hebblethwaite, P.; Mc Laren, J. 1979. Nitrogen studies in *Lolium perenne* grown for seed III: The effect of nitrogen and water stress. Grass and Forage Science. 34(3):221-227.
78. Herken, G.; Olano, I.; Ruete, R. 2019. Sobrevivencia estival y dinámica poblacional de cultivares de *Festuca arundinacea* con inclusion del hongo endófito AR584. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 64 p.
79. Hodgson, J. 1990. Grazing management: science into practice. New York, Longman. 203 p.
80. Hopkins, A.; Saha, M.; Wang, Z. 2009. Breeding, genetic and cultivars. In: Fribourg, H. A.; Hannway, D. B.; West, C. P. eds. Tall fescue for the twenty-first century. Madison, WI, ASA/CSSA/SSSA. pp. 339-366 (Agronomy Monograph no. 53).

81. Huillier, P. 1987. Tiller appearance and death of *Lolium perenne* in mixed swards grazed by dairy cattle at two stocking rates. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 30(1):15-22.
82. Insua, J.; Agnusdei, M.; Di Marco, O. 2012. Calidad nutritiva de láminas de dos cultivares de festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb). *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. 38(2):190-195.
83. INUMET (Instituto Uruguayo de Meteorología, UY). 2019. Definición de balance hídrico. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado nov. 2019. Disponible en <https://www.inumet.gub.uy/clima/agricultura/balance-hidrico>
84. Jacques, W.; Edmod, D. 1952. Root development in some common New Zealand pasture plants: the effect of defoliation and root pruning on cocksfoot (*Dactylis glomerata*) and perennial ryegrass (*Lolium perenne*). *New Zealand Journal of Science and Technology*. 34(3):230-248.
85. Jáuregui, J.; Michelini, D.; Agnusdel, M. G.; Baudracco, J.; Sevilla, J. H.; Chilibroste, P.; Lattanzi, F. 2016. Persistence of tall fescue in a subtropical environment: tiller survival over summer in response to flowering control and nitrogen supply. *Grass and Forage Science*. 72(3):454-466.
86. _____.; _____.; Baudracco, J.; Lattanzi, F.; Berhongaray, G. 2018. Sistemas radicales más grandes no incrementan la supervivencia estival de macollos de festuca alta. In: Congreso Asociación Uruguaya Producción Animal (6º., 2018, Tacuarembó, Uruguay). Resúmenes. Tacuarembó, AUPA. p. 68.
87. Jaurena, M.; Porcile, V.; Baptista, R.; Carriquiry, E.; Díaz, S. 2018. La regla verde: una herramienta para el manejo del campo. *Revista INIA*. no. 54:26-29.
88. Jones, R. 1986. Persistencia de especies forrajeras bajo pastoreo. In: Lascano, C.; Pizarro, E. eds. *Evaluación de pasturas con animales: alternativas metodológicas*. Cali, Colombia, CIAT. pp. 167-200.
89. Kaufononga, S.; Donaghy, D.; Hendriks, S.; Matthew, C.; Kemp, P.; Cranston, L. 2017. Comparative response of tall fescue and perennial ryegrass

swards to variation in defoliation interval and height. New Zealand Journal of Agricultural Research. 60(4):363-375.

90. Kemp, D.; Culvenor, R. 1994. Improving the grazing and drought tolerance of temperate perennial grasses. New Zealand Journal of Agricultural Research. 37(3):365-378.
91. Korte, C.; Watkin, B.; Harris, W. 1984. Effects of the timing and intensity of spring grazing on reproductive development, tillering and herbage production of perennial ryegrass dominant pasture. New Zealand Journal of Agricultural Research. 27(2):135-149.
92. Lafarge, M. 2006. Reproductive tillers in cut tall fescue swards: differences according to sward age and fertilizer nitrogen application, and relationships with the local dynamics of the sward. Grass and Forage Science. 61(2):182-191.
93. Lattanzi, F.; Mazzanti, A. 1997. Fertilización nitrogenada de pasturas en *Festuca arundinacea* de tipo templado y mediterráneo: 2. Recuperación del nitrógeno aplicado. (en línea). Revista Argentina de Producción Animal. 17 (supl.1):167-168. Consultado 10 mar. 2018. Disponible en <http://www.wzw.tum.de/public-html/lattanzi/Lit/Lattanzi%20&%20Mazzanti%201997b.pdf>
94. _____. 1998. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento de festuca de tipo templado y mediterráneo. Tesis Magister Scientiae. Balcarce, Argentina. Universidad Nacional de Mar del Plata Facultad de Ciencias Agrarias. 116 p.
95. _____. 2017. Festuca, manejo para persistencia. (en línea). In: Jornada de Pasturas (10^a, 2016, Soriano). De la semilla a la producción: innovaciones forrajeras para sistemas agrícolas diversificados y sustentables. Montevideo, PGG. Wrightson Seeds. s.p. Consultado ene. 2022. Disponible <https://www.youtube.com/watch?v=ZaPBqb2m8is&t=21s>
96. Lemaire, G. ; Salette, J. Sigogne, M. ; Terrasson, J. 1982. Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prelevement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères. I. Etude de l'effect du milie. Agronomie, EDP Sciences. 4(5):423-430.

97. _____; Chapman, D. 1996. Tissue flows in grazed plant communities. In: Hodgson, J.; Ilus, A. W. eds. The ecology and management of grazing systems. Wallingford, UK, CABI. pp. 3-35.
98. Lombardo, S. 2012. Asignación de forraje: ¿cuánto pasto hay que ofrecer a los animales? Revista Plan Agropecuario. no. 142:32-35.
99. Long, E.; Muñoz, S. 2014. Efecto del control temprano de la floración y la fertilización nitrogenada de festuca alta en primavera sobre comportamiento ingestivo, producción y composición de leche de vaca Holando durante el otoño siguiente. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 57 p.
100. López, R.; Matches, A.; Baldrige, J. 1967. Vegetative development and organic reserves of tall fescue under conditions of accumulated growth. Crop Science. 7(5):409-412.
101. Lowe, K.; Bowdler, T.; Mulder, J. 1981. Effect of sowing time on the establishment and early production of tropical and temperate pasture mixtures under irrigation in south-eastern Queensland. Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry. 21(111):410-416.
102. Mckee, W.; Brown, R.; Blasser, R. 1967. Effect of clipping and nitrogen fertilizer on yield and stand of tall fescue. Crop Science. 7(6):567-570.
103. Maddaloni, J.; Ferrari, L. 2001. Forrajeras y pasturas del ecosistema templado húmedo de la Argentina: especies utilizadas actualmente en las pasturas. 2ª. Ed. Lomas de Zamora, INTA. pp. 165-182.
104. Marino, A.; Cassanello, M.; Agnusdei, M. Echeverría, H. 2001. Crecimiento de festuca y su respuesta a la fertilización fosfatada en distintos ambientes. Visión Rural. 10(46):8-9.
105. _____; Agnusdei, M. 2005. ¿Quiere más pastos a la salida del invierno? Fertilice con nitrógeno. (en línea). Balcarce, Sitio Argentino de Producción Animal. 2 p. Consultado 2 ago. 2019. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_fertilizacion/29-nitrogeno.pdf

106. _____.; _____. 2007a. Conceptos básicos para el manejo de la nutrición nitrogenada y fosfatada de las pasturas. (en línea). Engormix. s.p. Consultado 6 abr. 2019. Disponible en <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/conceptos-basicos-manejo-nutricion-t26358.htm>
107. _____.; _____. 2007b. Manejo estacional del suministro de nitrógeno en pasturas de *Festuca arundinacea* Schreb (Sudeste bonaerense, Argentina): crecimiento y eficiencia en el uso de recursos. (en línea). Mar del Plata, Universidad Nacional de Mar del Plata. 6 p. Consultado 18 set. 2018. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_fertilizacion/33-Marino-Festuca_alta.pdf
108. Matches, A. 1966. Influence of intact tillers and height of stubble on growth responses of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.). *Crop Science*. 6(5):484-487.
109. Matthew, C.; Assuero, S.; Black, C.; Sackville, N. 2000. Tiller dynamics of grazed swards. In: Lemaire, G.; Hodgson, J.; Moraes, A.; Nabinger, C.; Carvalho, P. eds. *Grassland ecophysiology and grazing ecology*. Oxfordshire, OX, UK, CABI. pp. 127-150.
110. Mazzanti, A.; Lameire, G.; Gastal, F. 1994. The effect of nitrogen fertilization upon the herbage production of tall fescue swards continuously grazed with sheep. 1. Herbage growth dynamics. *Grass and Forage Science*. 49(2):111-120.
111. _____.; Marini, M.; Lattanzi, F.; Echeverría, H.; Andrade, F. 1997. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento y la calidad del forraje de avena y raigrás anual en el Sudeste bonaerense. INTA. Boletín Técnico no. 143. 28 p.
112. MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigación Estadísticas Agropecuarias, UY). 2015. Regiones agropecuarias del Uruguay. Montevideo. 38 p.
113. _____. RENARE (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección General de Recursos Naturales Renovables, UY). 2016. Carta de suelos. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 14 ago. 2019. Disponible en <http://web.renare.gub.uy/js/visores/coneat/>

114. Milne, G. 2009. Tall fescue for the Twenty-first Century. *Agronomy Monographs*. 53(1):101-118.
115. Miñon, D.; Refi, R. 1989. Producción de carne y capacidad de carga en pasturas de *Festuca arundinacea*, *Trifolium repens* y *Lotus tenuis* bajo pastoreo continuo. *Revista Argentina de Producción Animal*. 9(1):51-56.
116. _____. 2013. Festuca alta, producción de forraje y carne en los valles regados patagónicos: respuesta a la fertilización nitrogenada de pasturas de festuca. *INTA. Información Técnica*. no. 32:20-21.
117. Molfino, J.; Califra, A. 2001. Agua disponible de las tierras del Uruguay: segunda aproximación (versión corregida). Montevideo, MGAP. DSA. RENARE. 12 p.
118. Morales, P. 2011. Riego por aspersión. (en línea). Montevideo, Facultad de Agronomía. 174 p. Consultado 10 oct. 2015. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/hidrologia/riego/>
119. Moreno, L. 2009. Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. *Agronomía Colombiana*. 27(2):179-191.
120. Morón, A. 1996. Manejo y fertilidad de suelos: el ciclo del nitrógeno en el sistema suelo-planta-animal. *In*: Risso, D.; Berretta, E. J.; Morón, A. eds. Producción y manejo de pasturas. Montevideo, INIA. pp. 21-32 (Serie Técnica no. 80).
121. Murdock, L. 1982. Comparative effectiveness of urea, ammonium nitrate, and urea ammonium polyphosphate on fescue production. *Agronomy Notes*. 15(2):1-5.
122. Pagano, E.; Rimieri, P. 2001. Genética y mejoramiento de especies forrajeras. *In*: Maddaloni, J.; Ferrari, L. eds. Forrajeras y pasturas del ecosistema templado húmedo de la Argentina. Buenos Aires, INTA/Universidad de Lomas de Zamora. pp. 357-388.
123. Parsons, J. 1998. The grass crop: the effect of season and management on the growth of grass swards. Dordrecht, Springer. pp. 129-177.

124. _____.; Carrere, P.; Schwinning, S. 1999. Grassland ecophysiology and grazing ecology: dynamics of heterogeneity in a grazed sward. In: Simposio Internacional Grassland Ecophysiology and Ecology (1999, Curitiba). Proceedings. Lincoln, AgResearch. pp. 187-214.
125. _____.; Edwards, G.; Newton, P.; Chapman, D.; Caradus, J.; Rasmussen, S.; Rowarth, J. 2011. Past lessons and future prospects: plant breeding for yield and persistence in cool-temperate pastures. *Grass and Forage Science*. 66(2):153-172.
126. Passioura, J. 2006. Increasing crop productivity when water is scarce-from breeding to field management. *Agricultural Water Management*. 80(1-3):176-196.
127. Penning, P.; Parsons, A.; Orr, R.; Harvey, A.; Champion, R. 1995. Intake and behaviour responses by sheep, in different physiological states, when grazing monocultures of grass or white clover. *Applied Animal Behaviour Science*. 45(1):63-78.
128. Pereira, L.; Trout, T. 1999. Métodos y sistemas de riego, indicadores de fundamento. In: Pereira, L.; De Juan, J.; Picornell, M.; Tarjuelo, J. eds. *El riego y sus tecnologías*. Albacete, Universidad de Castilla. pp. 13-35.
129. Perrachon, J. 2009. Manejo del pasto. *Revista del Plan Agropecuario*. no. 130:42-45.
130. Robinson, D.; Scheneiter, O.; Melgar, R. 2006. Fertilización y utilización de nutrientes en campos forrajeros de corte. (en línea). Santa Rosa, INTA. 4 p. Consultado 13 abr. 2019. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_fertilizacion/27-fertilizacion.pdf
131. Rodríguez, A.; Jacobo, E.; Cornaglia, P.; Levantini, S. 2007. Efecto de la fertilización nitrogenada y de la frecuencia de defoliación sobre el macollaje de pasturas consociadas de *Paspalum dilatatum* Poir y *Festuca arundinacea* Schreb. (en línea). Buenos Aires, Sitio Argentino de Producción Animal. 4 p. Consultado 17 ene. 2021. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_fertilizacion/32-Rodriguez-Fertilizacion.pdf

132. Saccoccia, M.; Scheneiter, J. 2017. El macollaje en festuca alta y agropiro alargado según la defoliación durante el estado reproductivo. *Forrajes*. 10(33):55-59.
133. Santos, L.; De Juan, J.; Picornell, M.; Tarjuelo, J. 2010. El riego y sus tecnologías: métodos y sistemas de riego, indicadores de funcionamiento. (en línea). Lisboa, Universidad de Castilla-La Mancha. Centro Regional de Estudios del Agua. pp. 112-125. Consultado 17 ene. 2021. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/272171215_El_riego_y_sus_tecnologias
134. Sardiña, C.; Ceconi, I.; Bandera, R. 2009. Producción ganadera: fertilización nitrogenada y respuesta productiva de festuca (*Festuca arundinacea*) y agropiro (*Tynopirum ponticum*). (en línea). INTA. Memoria Técnica 2009-2010. pp. 83-85. Consultado sep. 2019. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-mt_2010.pdf
135. Sawchik, J.; Formoso, F. 2000. Tecnología de producción de cultivos y pasturas bajo riego: inserción del riego en rotaciones de cultivos y pasturas. In: Jornada de Cultivos de Verano (2000, Colonia). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 13-25 (Actividades de Difusión no. 227).
136. _____.; Mas, C.; Pérez, E.; Bermúdez, R.; Pravia, V.; Giorello, D.; Ayala, W. 2010. Potencial del riego extensivo en cultivos y pasturas: riego suplementario en pasturas, antecedentes de investigación nacional. In: Seminario Internacional Potencial del Riego Extensivo en Cultivos y Pasturas (1°. 2010, Paysandú). Estrategias para la incorporación del riego en sistemas de producción extensivos. Montevideo, INIA. pp. 141-154.
137. Scheneiter, J. O. 2018. Festuca alta, distribución, utilización y mejoramiento: el manejo del pastoreo para optimizar la productividad de pasturas de festuca alta. In: Reunión Anual de Forrajeras (18ª., 2018, Pergamino). Actas. Buenos Aires, INTA. pp. 15-28.
138. Shao, H.; Chu, L.; Jaleel, C.; Zhao, C. 2008. Water deficit stress induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies*. 331(3):215-225.

139. Sheath, G.; Boom, R. 1985. Effects of November-April grazing pressure on hill country pastures 1. Pasture structure and net accumulation rates. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture*. 13(4):317-327.
140. Steve, B.; Orloff, E.; Brummer, C.; Shrestha, A.; Putnam, D. 2016. Cool-season perennial grasses differ in tolerance to partial-season irrigation deficits. *Agronomy Journal*. 108(2):692-700.
141. Stillwell, A.; Woodmansee, R. 1981. Chemical Transformations of urea-nitrogen and movement of nitrogen in a shortgrass prairie soil. *Soil Science Society of American Journal*. 45(5):893-898.
142. Tamm, U.; Meripold, H.; Tamm, S.; Edesi, L. 2018. The nutritive value of Alaska brome and tall fescue forage using different growing technologies. In: *Sustainable Meat and Milk Production from Grasslands (27th, 2018, Cork, Ireland)*. Proceedings. Fermoy, Teagasc, Animal & Grassland Research and Innovation Centre. pp. 363-365 (Grassland Science in Europe v. 23).
143. Thom, E. 1991. Effect of early spring grazing frequency on the reproductive growth and development of a perennial ryegrass tiller population. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 34(4):383-389.
144. _____; Waugh, C.; McCabe, R. 1998. Growth and persistence of perennial and hybrid ryegrasses when grazed by dairy cows in the central Waikato region of New Zealand. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 41(4):477-486.
145. Valentine, I.; Matthew, C. 1999. Plant growth, development and yield. In: White, J. G. H.; Hodgson, J. eds. *New Zealand pasture and crop science*. Oxford, Oxford University. pp. 11-27.
146. Vázquez, M.; Barberis, L. 1982. Variación estacional de la concentración de nitratos en el suelo. *Revista de Investigación Agropecuaria*. 17(1):13-22.
147. Vitor, C.; Miranda, D.; Cóser, A.; Martins, C.; Do Nascimento, D.; Ribeiro, J. 2009. Produção de matéria seca e valor nutritivo de pastagem de capim-elefante sob irrigação nitrogenada. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 38(3):435-442.

148. Voltaire, F. 2017. A unified framework of plant adaptive strategies to drought: crossing scales and disciplines. *Global Change Biology*. no. 24:2929-2938.
149. Volesky, D.; Anderson, E.; Nichols, J. 2010. Perennial forages for irrigated pasture. (en línea). Lincoln, University of Nebraska. Lincoln Extension. Institute of Agriculture and Natural Resources. s.p. (Nebguide G 1502). Consultado sep. 2019. Disponible en <http://extensionpublications.unl.edu/assets/pdf/g1502.pdf>
150. Zanoniani, R. 1998. Mejoramiento y manejo de bajos. Montevideo, Plan Agropecuario. 10 p. (Cartilla no. 13).

9. ANEXOS

Costos de estructura de riego		U\$\$	
Represa	Movimiento de tierra m ²	Terraplén	14750
		Limpieza vegetal	2600
		Dentellón anclaje	1435
		Total movimiento de tierra/m ²	18785
	Costo m ² movido (U\$\$)	3	
	Honorarios profesionales	2452	
Total represa		58807	
Equipo de bombeo			
		Estación de bombeo	5112
		Tuberías distribución de agua	2000
		Total equipo	7112
Instalación eléctrica (800m) y otros			
		Instalación eléctrica	11959
		Instalación UTE	1040
		Gastos diversos	3000
		Total instalación y otros	30223
Pívor			
		Inversión pívor (año 2010)	37944

Costo anual de riego					
Costo anual de amortización (U\$\$/ha/año)					
	inversión (U\$\$)	vida útil (años)	área a regar (ha)	U\$\$/año	U\$\$/ha/año
Represa	58807	30	45	1960	44
Estación bombeo y cañerías	7112	15	15	474	32
Instalación eléctrica y otros	15999	20	15	800	53
Pívor	37944	10	15	3794	253
total costo anual de amortización					381
Costo anual de mantenimiento (2%)					
	inversión (U\$\$)	mantenimiento anual	ha	U\$\$ anual/ha	
Represa	58807	1176	45	26	
Estación bombeo y cañerías	7112	142	15	9	
Instalación eléctrica y otros	15999	320	15	21	
Pívor	37944	759	15	51	
Total costo anual de mantenimiento				108	

Mano de obra riego pívor					
año	U\$\$/jornada	jornales	costo/año	ha	mano de obra U\$\$/ha
17/18	29,316	18	527,69	15	35,18
18/19	29,316	18	527,69	15	35,18
19/20	29,316	18	527,69	15	35,18
21/22	29,316	18	527,69	15	35,18
22/23	29,316	18	527,69	15	35,18

Costo de bombeo de agua		U\$\$/ha
mm regados/ha		539
Consumo de energía eléctrica (kilowatts), incluyendo impuestos y cargos fijos por potencia contratada		1,57
Costo bombeo (energía x mm regados)		847

Costo de riego por pívot		Año				
		17/18	18/19	19/20	21/22	22/23
		U\$\$/ha				
Amortización de equipo	Represa	44	44	44	44	44
	Estación bombeo y cañerías	32	32	32	32	32
	Instalación eléctrica y otros	53	53	53	53	53
	Pívot	253	253	253	253	253
	Total amortización	381	381	381	381	381
Mantenimiento de equipo	Represa	26	26	26	26	26
	Estación bombeo y cañerías	9	9	9	9	9
	Instalación eléctrica y otros	21	21	21	21	21
	Pívot	51	51	51	51	51
	Total mantenimiento	108	108	108	108	108
Mano de obra		35	35	35	35	35
Costo bombeo		847	847	847	847	847
Total costo riego		1371	1371	1371	1371	1371
mm regados		539	539	539	539	539
Costo del mm aplicado		2,54	2,54	2,54	2,54	2,54

Producción de festuca por aplicación de riego		
	con riego	1601,08
Producción total acumulada de festuca (kg MS/ha)	sin riego	852,90
Producción adicional de festuca con riego (kg MS/ha)		748,18
Riego (total de mm aplicados)		539
kg MS producida/mm aplicado		1,39
consumo animal para convertir el pasto a carne		
*kg MS/ha que consume el animal para ganar 1 kg de carne.		13
Kg de Carne producida por MS generada con el riego		0,11
**precio de la carne (U\$\$/kg de novillo en pie)		1,9
Precio de la carne producida por mm aplicado (U\$\$/ha)		0,20

Balance económico para aplicar 1mm de agua	
	U\$\$/HA
Costos de riego	2,54
Producción	0,20
Balance	-2,34

* Valor utilizado considerando del animal la especie, edad y estado animal. De la festuca la digestibilidad en verano-otoño.

** Precio promedio de 5 años.