

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE MATERIA
SECA EN FESTUCA BAJO PASTOREO DIRECTO,
CON DIFERENTES MANEJOS DE RIEGO**

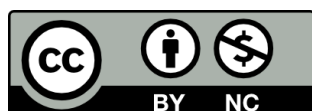
por

Federico VIGNOLO HARO

**Trabajo final de grado
presentado como uno de los
requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2025**

Este Trabajo Final de Grado se distribuye bajo licencia
"Creative Commons **Reconocimiento – No Comercial**".



PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Ing. Agr. (Dra.) Raquel Hayashi

Tribunal:

Ing. Agr. (Dra.) Lucia Puppo

Ing. Agr. (MSc.) Sara Riccetto

Ing. Agr. (Dra.) Raquel Hayashi

Fecha:

20 de marzo de 2025

Estudiante:

Federico Vignolo Haro

AGRADECIMIENTOS

A Raquel Hayashi por aceptar ser mi directora en este trabajo, le agradezco sinceramente su ayuda, buena disposición, confianza y orientación desde el primer momento.

A Lucia Puppo, Pablo Morales y Juan Manuel Ernst, que me alentaron en todo momento y compartieron sus conocimientos de manera desinteresada.

A toda mi familia y amigos. A Daniela, Jorge, Mirtha, Ignacio, Guillermo. Muy especialmente se lo dedico a Valentina y Josefina. A todos Gracias.

TABLA DE CONTENIDOS

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
TABLA DE CONTENIDOS	5
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS	7
RESUMEN.....	8
SUMMARY	9
1. INTRODUCCION.....	10
1.1. HIPÓTESIS	10
1.2. OBJETIVOS	10
1.2.1. Objetivos generales	10
1.2.2. Objetivos específicos.....	10
2. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA	12
2.1. IMPORTANCIA Y GENERALIDADES DE LA GANADERIA URUGUAYA.....	12
2.2. DEFICIT HIDRICO Y POTENCIAL DEL RIEGO EN URUGUAY	12
2.3. CARACTERISTICAS DE LA FESTUCA	13
2.4. MANEJO DEL CULTIVO DE FESTUCA	14
2.4.1. Manejo del pastoreo	16
2.4.2. Efecto del pastoreo sobre las pasturas	16
2.5. PRODUCCIÓN DE FESTUCA EN EL MUNDO	17
2.6. PRODUCCION DE FESTUCA EN EL URUGUAY	17
2.6.1. Cultivares en Uruguay	17
2.7. EFECTO DE LA SEQUIA SOBRE FESTUCA.....	19
2.8. RESPUESTA AL RIEGO DE FESTUCA A NIVEL NACIONAL.....	19
2.9. RESPUESTA AL RIEGO DE FESTUCA A NIVEL INTERNACIONAL	21
2.10. METODOS DE RIEGO	22
2.10.1. Riego por superficie	22
2.10.2. Riego Localizado	22
2.10.3. Riego por aspersión.....	22
2.11. ESTIMACIÓN DE NECESIDADES DE AGUA Y PROGRAMACIÓN DEL RIEGO	23
2.11.1. Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET _o)	24
2.11.2. Coeficiente del Cultivo (K _c).....	24
2.11.3. Evapotranspiración del cultivo (ET _c)	25
2.12. DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL SUELO	26
2.12.1. Saturación	26
2.12.2. Capacidad de campo (CC)	26

2.12.3.	Punto de marchitez permanente (PMP)	26
2.12.4.	Agua disponible total (ADT)	27
2.12.5.	Agua fácilmente disponible (AFD).....	27
2.12.6.	Umbral de riego (UR) y factor máximo de agotamiento (p)	27
2.13.	METODOS PARA MEDIR LA HUMEDAD DEL SUELO	28
3.	MATERIALES Y METODOS	30
3.1.	UBICACIÓN Y PERIODO EXPERIMENTAL	30
3.2.	CARACTERIZACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES.....	30
3.2.1.	Suelo	30
3.2.2.	Caracterización climática del periodo experimental	31
3.2.3.	Manejo de la Pastura	31
3.3.	METODOLGÍA EXPERIMENTAL.....	32
3.4.	MANEJO DEL RIEGO	32
3.5.	DETERMINACIONES EN EL CULTIVO.....	34
3.6.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	34
4.	RESULTADOS Y DISCUSION	35
4.1.	CARACTERIZACION CLIMATICA DEL PERIODO DE EVALUACION.....	35
4.2.	PRODUCCION DE FORRAJE.....	36
4.2.1.	Tasa de crecimiento estacional	38
4.2.2.	Frecuencia de pastoreos	39
4.3.	EVOLUCIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA EN EL SUELO	40
4.4.	PRODUCTIVIDAD DEL AGUA	44
5.	CONCLUSIONES	45
6.	BIBLIOGRAFIA.....	46

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla No	Pagina
Tabla 1 . Parámetros físicos e hídricos del suelo por horizonte	31
Tabla 2. Frecuencia y número de pastoreos por estación	39
Tabla 3. Precipitación (PP) total, efectiva, ETc y variación de humedad (mm) por estación	43
Tabla 4. Nro. de riegos, cantidad de riego (mm) y agua total consumida (mm) por estación	43

Figura No	Pagina
Figura 1. Curva de Kc para cultivos forrajeros	25
Figura 2. Balance de agua en la zona radicular	28
Figura 3. Ubicación del sitio experimental	30
Figura 4. Croquis del diseño experimental	32
Figura 5. Precipitaciones mensuales media histórica serie 1993-2023 y periodo 2022-2023	35
Figura 6. Temperaturas mín. y máx. para serie histórica 1993-2023 y periodo 2022-2023	35
Figura 7. ETo mensuales de la media histórica serie 1993-2023 y periodo 2022-2023	36
Figura 8. Producción de forraje acumulada (kg MS ha ⁻¹)	37
Figura 9. Producción estacional de forraje (kg MS ha ⁻¹)	38
Figura 10. Tasa de crecimiento estacional (kg MS ha ⁻¹ día ⁻¹)	39
Figura 11. Foto tomada con Drone del sitio experimental el 22/03/23	40
Figura 12. Evolución del agua total en el suelo en seco	41
Figura 13. Evolución del agua total en el suelo en T1.	42
Figura 14. Evolución del agua total en el suelo en T2.	42
Figura 15. Productividad del agua total por estación (kg MS ha ⁻¹ mm ⁻¹)	44

RESUMEN

El riego suplementario es una alternativa para promover el aumento y estabilidad del rendimiento de las pasturas, en un escenario de crisis forrajeras cada vez más frecuentes, producto de la variabilidad anual de las precipitaciones y la baja capacidad de almacenamiento de agua de nuestros suelos.

En un contexto de crecimiento de la capacidad instalada de riego en Uruguay, es imprescindible definir coeficientes técnicos para un correcto manejo del riego en pasturas, que logre una mejora en la productividad y al mismo tiempo la sostenibilidad de los recursos naturales.

Se utilizaron dos umbrales de riego para festuca en condiciones de pastoreo, con el propósito de determinar si agotamientos mayores del contenido de agua disponible en el suelo, lograban un mayor aprovechamiento de las precipitaciones, al mismo tiempo que la producción en materia seca no disminuyera.

La incorporación de riego produjo el doble de materia seca que en secano, en un año particularmente seco donde las precipitaciones fueron las menores de los últimos 30 años.

La utilización de umbrales de riego mayores, en el entorno del 65% de agotamiento, parecen ser mejor que los que dejan agotar solo el 30%, en tanto que no hubo diferencias en la producción de materia seca anual.

El agua total consumida y el agua de riego utilizada en el total del año de estudio fueron prácticamente iguales entre ambos tratamientos. En el riego frecuente se regó más de tres veces en comparación con el riego espaciado, con las implicancias desde el punto de vista operativo y de costo energético que esto puede traer aparejado.

Palabras clave: riego, festuca, pastoreo, umbral de riego

SUMMARY

Supplemental irrigation is an alternative to promote the increase and stability of pasture yield, especially in the context of increasingly frequent forage crises caused by the annual variability of precipitation and the low water storage capacity of our soils.

In a context of growing irrigation capacity in Uruguay, it is essential to define technical coefficients for the proper management of irrigation in pastures, which will achieve improvements in productivity while ensuring the sustainability of natural resources.

Two irrigation thresholds for fescue under grazing conditions were used to determine whether greater depletions of available soil water content resulted in better utilization of precipitation, while ensuring that dry matter production did not decrease.

The incorporation of irrigation produced twice the dry matter compared to rainfed conditions in a particularly dry year, where precipitation was the lowest in the last 30 years.

Using higher irrigation thresholds, around 65% depletion, seems to be better than allowing only 30% depletion, as there were no differences in annual dry matter production.

The total water consumed and the irrigation water used over the study year were practically the same between both treatments. In the frequent irrigation treatment, watering occurred more than three times compared to the spaced irrigation, which has operational implications and energy cost considerations.

Keywords: irrigation, fescue, grazing, irrigation threshold

1. INTRODUCCION

Las crisis forrajeras asociadas a los déficits hídricos son cada vez más frecuentes, debido a la gran variabilidad anual de las precipitaciones y están potenciadas por la baja capacidad de almacenamiento de agua disponible de nuestros suelos.

El riego suplementario es una alternativa tecnológica para promover el aumento y estabilidad del rendimiento de las pasturas, así como su persistencia.

Esta intensificación en el uso de los recursos naturales debería realizarse en forma sostenible, logrando un balance adecuado entre productividad/calidad de las pasturas y costos del riego.

Para abordar esta problemática se realizó el proyecto: “Optimización del manejo del riego suplementario en pasturas, hacia una intensificación sostenible de los sistemas productivos en pastoreo directo.” El mismo comenzó el 1 de febrero de 2020 y tuvo una duración de 4 años. Siendo de carácter interinstitucional e interdisciplinario, cofinanciado por la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII) y Facultad de Agronomía (FAGRO).

Una de las actividades del proyecto fue evaluar la respuesta en rendimiento de festuca a dos umbrales de riego con pastoreo directo. En este trabajo se pondrá foco en los resultados obtenidos para esta actividad ocurridos entre el invierno del 2022 y otoño del 2023.

1.1. HIPÓTESIS

La festuca responde al riego, produciendo mayor cantidad de materia seca por hectárea.

La festuca permite manejar umbrales de riego altos sin afectar demasiado su producción en condiciones de pastoreo.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivos generales

Definir un manejo de riego para festuca que permita obtener un alto rendimiento de materia seca que justifique la inclusión del riego en sistemas productivos con pastoreo, con un mayor aprovechamiento de las precipitaciones.

1.2.2. Objetivos específicos

Determinar el rendimiento en materia seca total y por estación, en secano y para cada tratamiento de manejo de riego.

Determinar la tasa de crecimiento por estación para cada tratamiento.

Realizar una valoración de la herramienta del balance hídrico para un manejo racional del riego en festuca.

Determinar la productividad del agua.

Determinar el mejor manejo del riego en festuca para la toma de decisiones en sistemas productivos.

2. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

2.1. IMPORTANCIA Y GENERALIDADES DE LA GANADERIA URUGUAYA

Históricamente el rubro ganadero ha ocupado un rol fundamental en el desarrollo social y económico de nuestro país (Cámara et al., 2019).

La ganadería de carne y leche ocupa el 77% del territorio nacional apto para actividad agropecuaria, con una participación del 4.5% del PIB nacional en la última década (Aguirre, 2018). Según Uruguay XXI (2023) en su informe anual de comercio exterior, la ganadería vacuna de carne generó el 18% de las exportaciones de bienes, siendo el principal producto exportado en ese año. Asimismo, según el último censo agropecuario disponible, el 53 % de todos los establecimientos agropecuarios, tenían la ganadería de carne como su fuente primaria de ingreso (Oficina de Estadísticas Agropecuarias [DIEA], 2011).

El modelo de producción ganadero predominante en Uruguay es pastoril y a cielo abierto (Montossi et al., 2019). Las alternativas de la región para producir forraje en cantidad y calidad son en primer lugar el manejo ajustado del campo natural, seguido de su fertilización e interseembra. Por último, el remplazo total de vegetación hacia pasturas sembradas (Carámbula, 2002).

La superficie total de pastoreo ocupa 14.1 millones de hectáreas de las cuales el 80% es campo natural y 20% son pasturas mejoradas (Oficina de Estadísticas Agropecuarias [DIEA], 2023). Los sistemas de rotación larga, donde se incluyen gramíneas perennes que se utilizan por más de 3-4 años, ocupan un lugar vital en las producciones animales de la región. La festuca (*Festuca arundinacea*), el dactilis (*Dactilis glomerata*) y falaris (*Phalaris aquatica*) son las gramíneas forrajeras perennes invernales que más se utilizan para la siembra de praderas asociadas con leguminosas (Carámbula, 2002).

La ganadería es un factor esencial en la dinámica social, territorial y económica del Uruguay y en ocasiones dada su escasa aplicación de tecnología, se encuentra una brecha en relación con el potencial productivo del sector (Cámara et al., 2019).

2.2. DEFICIT HIDRICO Y POTENCIAL DEL RIEGO EN URUGUAY

Entre 2020 y 2023 el país sufrió una sequía sin precedentes históricos, que provocó pérdidas y daños por un monto de 1.883 millones de dólares en todos los subsectores agropecuarios. El Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP) declaró cuatro emergencias agropecuarias en ese trienio; en octubre de 2022 se declaró la cuarta emergencia agropecuaria, que en esa ocasión abarcó todo el territorio nacional y a prácticamente todos los rubros productivos (Cortelezzi et al., 2023).

El estrés hídrico es uno de los principales factores ecológicos que impacta en los ecosistemas pastoriles de la ganadería extensiva. Existiendo una alta probabilidad de la ocurrencia de déficit hídricos en el periodo estival, que afectan negativamente su productividad, conduciendo a una reducción en la producción de forraje de las pasturas, en la producción ganadera y a drásticas reducciones de las poblaciones de especies forrajeras introducidas (Olmos, 2004).

El riego se presenta en nuestro país como una herramienta compatible con los sistemas ganaderos, donde la base es principalmente pastoril, apuntado a mejorar la estabilidad de la oferta forrajera anual y/o aumentar el rendimiento y calidad del alimento ofrecido (Cámara et al., 2019).

El incremento del precio de la tierra, de los insumos y de los productos agropecuarios han sido determinantes para hacer rentable la inclusión del riego en los sistemas de producción agrícolas, lecheros y agrícolas-ganaderos intensivos. Esto ha llevado a una rápida expansión de su uso (García Petillo, 2012).

Según Cámara et al. (2019) analizando datos del censo agropecuario de 2011, eran 166 los productores ganaderos de carne de más de 100 hectáreas, que regaban pasturas.

En los últimos 10 años se han instalado más de 700 equipos de riego de pivot central, que involucran planes de riego autorizados para regar cultivos en rotación con pasturas. Hay cerca de 200.000 hectáreas de pasturas que podrían estar regadas (Marchelli et al., 2022).

En este nuevo contexto, es imprescindible definir los coeficientes técnico-científicos para un correcto manejo del riego en pasturas, que logre el mejor balance entre la mejora en la productividad y la sostenibilidad de los recursos naturales (Puppo & Hayashi, 2023).

Según Cámara et al. (2019) dentro de los ganaderos regantes, la mayor área regada es la de praderas artificiales permanentes con 2 o más años de duración. Entre las especies que utilizan se destacan: trébol blanco, trébol rojo, lotus, raigrás y festuca.

2.3. CARACTERISTICAS DE LA FESTUCA

Según Rosengurtt et al. (1970) *Festuca Arundinacea* es una gramínea perenne inverniflora que florece desde octubre y sazona entre noviembre y diciembre. Cultivada para pradera, es originaria de Europa y tiende a naturalizarse. Es de metabolismo C-3, adaptándose a una amplia gama de zonas climáticas (Gibson & Newman, 2001).

Presenta rizomas extremadamente cortos, macollas rollizas, vaina glabra, lámina verde oscuro con la cara exterior brillante y su lígula es coroniforme. Su sistema radicular fibroso es profundo y muy extendido, lo que le permite mejorar los suelos y obtener agua de horizontes profundos. La inflorescencia es una panoja laxa (Carámbula, 1998).

Es una planta esencialmente de pastoreo que debe ser utilizada de tal manera que no crezca mucho ni que se “endurezca”, ya que si se pierde terneza, pierde digestibilidad y aceptabilidad, siendo rechazada por los animales. Exige un manejo estricto, de lo contrario se transforma en un forraje tosco y despreciable (Carámbula, 2002).

En cuanto a su adaptación, Carámbula (1998) resalta que la festuca se mantiene verde todo el año, siempre que disponga de suficiente humedad y niveles adecuados de nitrógeno. Mostrando buena tolerancia a temperaturas frías del invierno y altas del verano. Su crecimiento es más restringido en esta última época por la falta de agua más que por las altas temperaturas. Es muy “plástica” ya que se adapta a un rango amplio de suelos, prefiriendo los fértiles, húmedos y más bien arcillosos. Por su extenso y poderoso sistema radicular, tiene un buen crecimiento vegetativo en suelos con drenaje pobre o inundables.

Formoso (2010) a partir de trabajos de cuantificación de raíces a campo, concluye que la capacidad de exploración radicular de festuca a fines del segundo año puede superar los 90 cm de profundidad. Pero que el 80% del peso radical se localiza en los primeros 10 cm. Tanto el número como el peso de las raíces disminuyen fuertemente a partir de los 30 cm.

El establecimiento del cultivo de festuca es lento y por lo tanto es vulnerable a la competencia ejercida por otras especies. Como consecuencia la producción durante el primer año es baja, pero si se maneja de forma adecuada puede persistir muchos años (Langer, 1981).

Luego de establecida, se destaca por su producción temprana en otoño (Carámbula, 1997). La misma es debida a que esta especie no posee mecanismo de latencia estival y por consiguiente es capaz de mantener en actividad un gran número de macollas en verano, siempre que la disponibilidad de agua no sea limitante. Es importante insistir que la persistencia de festuca depende básicamente de las posibilidades para desarrollar un buen sistema radicular desde la primavera y poder explorar así volúmenes importantes de suelo en las épocas de sequía.

Durante el otoño e invierno (hasta finales de julio o principios de agosto) los puntos de crecimiento permanecen a nivel del suelo. Posteriormente se produce el alargamiento de los entrenudos y con ello la producción de una gran masa de forraje a fines de invierno (Carámbula, 1998).

Según García (2003), la producción acumulada de festuca en sus primeros 3 años es de unas 20 toneladas de materia seca (MS) por hectárea (ha). Estos datos son extraídos a partir de información de 11 años de ensayos en Estanzuela de Festuca INIA Tacuabé donde la variabilidad medida como coeficiente de variación fue 22%. Los 2 primeros años son los más productivos variando entre 6 y 7 toneladas (t) MS ha⁻¹, para luego caer a 5 t MS ha⁻¹ en el 3er año.

Similares producciones son reportadas para el mismo cultivar por Castro et al. (2024), en los resultados experimentales de la evaluación nacional de cultivares de especies forrajeras. Donde para el periodo 2021 – 2023 la producción acumulada fue 15.713 kg MS ha⁻¹. Obteniéndose 4064 kg MS ha⁻¹ para el primer año, un pico de producción en el segundo año de 6750 kg MS ha⁻¹ y para el tercer año 4821 kg MS ha⁻¹.

Con frecuencia se discute acerca de la calidad de Festuca. Es una especie de calidad media que permite obtener ganancias de peso vivo entre 0.7 a 1 kg día⁻¹. Durante su etapa vegetativa puede alcanzar valores de digestibilidad entre 70-75%, contenidos de proteína superiores a 15% y fibra detergente neutro (FDN) de 50% (Asuaga, 2020).

2.4. MANEJO DEL CULTIVO DE FESTUCA

Se siembra pura o en mezcla con leguminosas, según Carámbula (2002) es recomendable utilizar una densidad de siembra de 10 a 15 kg ha⁻¹ y 9 a 12 kg ha⁻¹ respectivamente.

Es aconsejable adelantar la fecha de siembra lo antes posible en el otoño (fin de marzo-abril) asegurando buena humedad en suelo, para que no llegue al periodo de frío con poco crecimiento radicular. Además, cuanto más se atrasa la fecha de siembra más demora el primer pastoreo (Perrachon, 2020).

Según Formoso (2010) existen ventajas muy claras de siembra en el surco en comparación con siembras al voleo. En condiciones comerciales se logra: disminuir los riesgos de malas implantaciones, más rápida germinación y mayor precocidad.

El mismo autor, a través de diferentes ensayos concluye en términos generales que siembras con espaciamientos entre 30 a 38 cm y profundidades de siembra entre 9 y 18 mm dieron mejores resultados en producción de forraje y semillas.

También, el uso de cura semillas fungicidas y semilla de calidad (asociados a un mayor peso de mil semillas) son aspectos importantes al momento de la siembra para lograr una mejor implantación. Del mismo modo, el tipo de siembra (siembra directa vs laboreo convencional) así como el rastreo antecesor, pueden incidir en este aspecto y en la producción de forraje del 1er año. Aunque no se descarta, se debe prestar especial cuidado en la siembra sobre rastreo de sorgo.

Si se siembra de manera asociada, debe manejarse correctamente las relaciones de competencia entre el cereal y la pastura, de forma que ambos coexistan. Deben buscarse manejos del cereal que posibiliten una mayor penetración de radiación solar, ya sea mediante su corte o aumentando el espaciamiento de siembra de 19 a 38 cm. De esta forma se logra una mayor producción de forraje otoño invernal en el segundo año. En el mismo sentido, Perrachon (2020) recomienda utilizar una menor cantidad de kilos de semilla de trigo que en una siembra normal y sembrarlas de manera separada (primero el trigo y luego la festuca).

En cuanto a la fertilización, este último autor recomienda chequear niveles de Fósforo, Potasio y Azufre. Pero que el principal nutriente es Nitrógeno, el cual debe fraccionarse en el tiempo, por lo menos realizando dos aplicaciones, una en otoño y otra en primavera.

Según Formoso (2010) el control de malezas en festuca básicamente se realiza en cultivos para producción de semillas. Cuando se deben controlar hojas anchas en un cultivo puro se utiliza 2,4D amina en dosis de 480 a 672 g ingrediente activo (ia) ha⁻¹ y picloram entre 19 a 31 g ia ha⁻¹, solos o en mezcla, desde inicio de macollaje a comienzos de encañazón. Cuando se siembra en mezcla con leguminosas, se utiliza 2.4 DB en dosis de 920 a 1380 g ia ha⁻¹, solo o en mezcla con flumetsulan en dosis de hasta 48 g ia ha⁻¹. Para el control de gramíneas, especialmente raigrás, a partir de festucas de segundo año, durante otoño – invierno, se aplica diuron en dosis de 1.6 a 2.4 kg ia ha⁻¹ y/o atrazina en dosis de 1.8 a 2.7 kg ia ha⁻¹, antes que el raigrás comience a macollar.

En el control de insectos plaga, se debe estar atento a eventuales ataques de pulgón y lagartas.

Se recomienda sembrar festuca en mezcla con leguminosas para aumentar su valor nutritivo como forraje. Esta práctica es especialmente beneficiosa, ya que la festuca requiere un aporte significativo de nitrógeno, el cual puede ser proporcionado por las leguminosas a través de la fijación biológica. En particular, la mezcla con trébol blanco resulta ser muy valiosa en el contexto uruguayo (Carámbula, 1998).

2.4.1. Manejo del pastoreo

Si bien la festuca tolera el pastoreo continuo mejor que otras especies, el mejor desempeño del cultivo en cuanto a rendimiento y calidad se obtiene con pastoreos rotativos. Como norma general deben realizarse cuando la pastura alcanza los 15-18 cm de altura y dejando un remanente de 5 cm. El manejo de primavera debe prevenir la encañazón mediante pastoreos más intensos y frecuentes. Por el contrario, el manejo de verano debe ser cuidadoso, evitando pastorear hasta que la pastura alcance 15-18 cm y dejando un remanente de 7-10 cm. En períodos de sequía retirar el pastoreo (Ayala et al., 2010).

2.4.2. Efecto del pastoreo sobre las pasturas

En los sistemas de producción bajo pastoreo, la interacción planta-animal se desarrolla en condiciones muy dinámicas a través de las cuales se tiene que alcanzar un balance positivo y una gran eficiencia en el proceso productivo. Para ello se debe lograr el éxito en la producción de forraje, el consumo de este y en la producción animal.

Los animales a través del pastoreo producen en las pasturas efectos producto de la defoliación, de las deyecciones, del pisoteo y de la dispersión de semillas. Algunos de estos pueden catalogarse como perjudiciales o beneficiosos de acuerdo con su origen y grado de intensidad (Carámbula, 1997).

Según Rovira (1996) el efecto que ejercen los animales sobre las pasturas debe ajustarse a través del manejo del tiempo, periodicidad e intensidad del pastoreo, así como de la elección del tipo de animal.

Según Hodgson (1990) los problemas más importantes que los animales a través del pastoreo causan en las pasturas son: cobertura de plantas y macollas por heces, quemado por orina, arrancado de plantas por defoliaciones inoportunas, magullado de hojas y plantas por el efecto de las pezuñas y la compactación por pisoteo en suelos muy húmedos.

Por otra parte, Vallentine (1990) detalla dentro de los efectos positivos que el pastoreo: retarda la maduración y mantiene las plantas en estado vegetativo, estimula el crecimiento y el rebrote por macollaje, remueve o previene el endurecimiento, acelera el reciclaje de nutrientes, manipula la composición botánica a través del pastoreo selectivo, favorece el contacto de las semillas con el suelo, entre otras.

Según Orloff et al. (2018), las plantas de festuca que han pasado por el estrés de una sequía están débiles y por tanto son más sensibles a un exceso de pastoreo y al pisoteo de las pezuñas de los animales. Si las plantas son pastoreadas en exceso, los brotes que se están formando pueden sufrir escasez de importantes azúcares y almidones, al quedar más expuesta al clima extremo, se detiene la formación de raíces y los nuevos brotes crecen menos durante la siguiente primavera y con menos raíces para sostenerlos.

El pastoreo no solo produce modificaciones sobre las pasturas, sino que también en las características fisicoquímicas de los suelos, pudiendo afectar a su vez la dinámica del agua en este (Díaz, 2018).

2.5. PRODUCCIÓN DE FESTUCA EN EL MUNDO

Es originaria de Eurasia, ocurre naturalmente en Europa, África del Norte y en las zonas templadas de Asia. Ha sido ampliamente difundida en otras zonas templadas, jugando un papel importante en los pastizales y estepas del mundo. Su cultivo se ha extendido a otros continentes como América y Oceanía. Está bien adaptada a la sequía y puede sobrevivir en regiones con menos de 400 mm año⁻¹ (López Díaz, 2009).

Debido a su amplio rango de adaptabilidad, la festuca alta se ha destacado en los programas de mejoramiento de muchos países, como Estados Unidos, Gran Bretaña, Francia, Australia, Nueva Zelanda, entre otros (Langer, 1981).

La festuca es indudablemente una de las gramíneas perennes más importantes utilizadas en la región y un componente esencial en la mayoría de las pasturas sembradas (Carámbula, 2002).

En los Estados Unidos es la hierba perenne de estación fría predominante (Asay et al., 2001). Las dos variedades más conocidas son *Alta*, resistente a la sequía y con buena respuesta al riego y Kentucky 31, conocida por su verdor en invierno (Langer, 1981).

En Argentina, Rimieri (2021) indica que la festuca es la gramínea forrajera perenne de clima templado de mayor importancia y difusión en el país. En 1951 se inició la introducción de poblaciones y formación de colecciones para estudiar su adaptación a la región pampeana. En 1953 liberaron al mercado la variedad Pergamino el Palenque MAG cuya producción osciló entre 7.000 y 14.000 kg MS ha⁻¹ año⁻¹. En la década 1990 en base a la selección de germoplasma y con el objetivo de mejorar productividad y digestibilidad obtuvieron el cultivar sintético Palenque Plus Inta.

2.6. PRODUCCION DE FESTUCA EN EL URUGUAY

Es la gramínea perenne invernal más usada en el país (Formoso, 2010). En nuestras condiciones es una especie que por su productividad, estacionalidad, calidad, rusticidad y persistencia, realiza una gran contribución a la eficiencia biológica y económica de las pasturas intensivas (Asuaga, 2020).

2.6.1. Cultivares en Uruguay

Según Ayala et al. (2010) en el mercado uruguayo de festuca hay 21 cultivares inscritos en el Registro Nacional de Cultivares del Instituto Nacional de Semillas (INASE). Existen diferencias importantes entre los mismos en: potencial de rendimiento, fechas de floración, tolerancia a roya, calidad, flexibilidad y hábito de crecimiento.

Los cultivares comerciales de Festuca se puede agrupar en dos grandes tipos:

- a) Continentales: tienen capacidad de crecer en todas las estaciones del año, son en general de hojas anchas y hábito de crecimiento intermedio. Ej. Estanzuela Tacuabé.
- b) Mediterráneas: tienen muy buen potencial de crecimiento invernal pero reposan en verano (latencia estival), son de hojas finas y hábito erecto. Ej. Resolute.

Si bien estos tipos pertenecen a la misma especie, están separados por una barrera genética y en general no se cruzan entre sí. Los cultivares de tipo continental son los más usados a nivel mundial mientras que los mediterráneos son más adecuados para ambientes de menor precipitación, con periodicidad de lluvias invernales y veranos secos, dado que por su latencia estival pueden tolerar mejor las sequías de verano.

Los cultivares de tipo continental son los de mayor adaptación en Uruguay. En cambio, los cultivares mediterráneos aunque pueden crecer más durante el invierno, producen menos que los continentales en el resto del año, lo que resulta en un rendimiento anual aproximadamente un 20% menor. Además, el reposo estival de las mediterráneas las hace poco competitivas frente a las malezas estivales. Por otro lado, debido a su hábito erecto y a su menor macollaje en comparación con las continentales, presentan una buena compatibilidad con las leguminosas, aunque requieren manejos más controlados.

Los cultivares de festuca también se distinguen por su fecha de floración. En el mercado uruguayo actual, existe una variabilidad de hasta 45 días, lo que se traduce en diferencias en la distribución estacional de la producción y la calidad del forraje:

- Muy tempranas: Florecen a fines de agosto Ej. INIA Aurora
- Tempranas: Florecen a mediados de setiembre Ej. Estanzuela Tacuabé
- Tardías: florecen a fines de setiembre Ej. INIA Fortuna
- Muy tardías: florecen a mediados de octubre Ej. Vulcan.

Estanzuela Tacuabé es un cultivar de uso público, mantenido por el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). Se trata del primer cultivar mejorado originado en Uruguay. Su introducción al mercado en los años 70 marcó un importante avance, ya que superaba notablemente a Kentucky 31, una variedad estadounidense que predominaba hasta entonces. Su genética proviene de materiales recolectados en antiguas praderas uruguayas, lo que le otorga una excelente adaptación y resistencia. Fue seleccionada por su alta producción en otoño e invierno, su persistencia y su buena combinación con el Trébol Blanco. Es una festuca temprana que encaña a mediados de setiembre y aunque puede producir forraje durante todo el año, presenta sus mayores picos de producción en setiembre y en menor medida en otoño (Ayala et al., 2010).

INIA Aurora (LE 14-84) es una festuca de madurez muy temprana, con un hábito de crecimiento intermedio y mayor flexibilidad comparada con Estanzuela Tacuabé. Se destaca por establecerse rápidamente y ofrecer un alto rendimiento de forraje durante todo el año. Su producción anual supera en un 7% a la de Tacuabé y presenta una excelente persistencia. Fue desarrollada en la Estación Experimental La Estanzuela tras tres ciclos de selección realizados sobre distintos materiales de madurez temprana, priorizando el rendimiento y la sanidad foliar. Posee una destacada resistencia a la roya. Está especialmente recomendada para sistemas de producción intensivos que puedan aprovechar su mayor potencial productivo. Gracias a su capacidad de crecimiento durante el verano, es una buena opción en áreas donde la gramilla representa un problema. Además, tolera muy bien las altas temperaturas estivales, lo que la hace especialmente apta para regiones del norte del país (Ayala et al., 2010).

Ayala et al. (2010) destacan que el mejor cultivar no es el que rinde más sino el que mejor se adapta al sistema de producción y en todo caso se debe buscar la complementariedad de estos.

2.7. EFECTO DE LA SEQUIA SOBRE FESTUCA

El estrés generado por la falta de agua en las plantas puede ser el primer inhibidor de la producción de forraje durante los periodos de primavera, donde la temperatura se vuelve favorable para el crecimiento de estas (Mansfield et al., 1990).

Las pasturas perennes como la festuca responden ante una sequía reduciendo en principio el crecimiento e iniciación de las hojas, y eventualmente puede detenerse conforme progresa la misma.

Una sequía prolongada tiene un impacto de corto y largo plazo en la productividad de la pastura. Los efectos de una humedad inadecuada del suelo en la pastura incluyen: disminución en el crecimiento del follaje, decaimiento de la salud y crecimiento de la raíz, reducción en el almacenamiento de reservas de carbohidratos, baja en el crecimiento del tejido meristemático (incluyendo nuevos brotes y rizomas) y mortalidad de la planta.

Las principales estrategias de sobrevivencia que usan los pastos perennes para tolerar la sequía y evitar la muerte son retrasar la deshidratación, ya sea incrementando la absorción o reduciendo la pérdida de agua en la planta. Aun cuando puedan sobrevivir, es muy probable que la producción del siguiente año se reduzca. El impacto en la producción depende del cultivar y la duración y severidad de la sequía (Orloff et al., 2018).

Con la aplicación de tecnologías de riego el agua ya no es más un factor limitante para la producción de forraje, de modo que la producción estacional dependerá de la disponibilidad de nutrientes y la aireación del suelo, el potencial genético de la planta, la radiación solar y la temperatura (Alencar et al., 2009).

2.8. RESPUESTA AL RIEGO DE FESTUCA A NIVEL NACIONAL

La información generada por la investigación nacional es relativamente escasa, con mayor atención hacia la producción de semilla y particularmente limitada en lo referente a respuesta al riego para producción de forraje (Mas, 2004).

Los primeros estudios preliminares buscando generar información de respuesta a riego para una especie forrajera fueron realizados por Pritsch, Hofstadter y Gonnet, para trebó rojo a mediados de la década del 70 (Bourdin et al., 2015).

Es esperable que la irrigación provoque aumentos en la producción de materia seca, al mejorar el confort hídrico de la planta (Aguirre, 2018).

La magnitud de la respuesta al riego depende en primer lugar del estrés hídrico y además de que no existan otros factores limitantes del crecimiento vegetal además del agua. En este sentido en cultivos puros de festuca es frecuente que la disponibilidad de nitrógeno sea también una limitante importante, especialmente en las de mayor edad (Formoso, 2010).

En pasturas en general, es razonable esperar respuestas ubicadas entre dos y tres veces superiores al rendimiento de secano (Mas, 2004).

Arana et al. (2000) en una pastura mezcla de festuca y trébol blanco, encontraron respuestas significativas al riego durante los 4 años de evaluación. Pasaron de 15.3 t MS ha⁻¹ en secano a 32.8 t MS ha⁻¹ utilizando un riego frecuente. La eficiencia del uso del agua para el componente festuca fue de 6.62 kg MS mm⁻¹.

En otro experimento Sawchik y Formoso (2000) para una festuca pura, obtuvieron una respuesta al riego del 10% durante el primer año. Y luego en un segundo año, donde ocurrió una seca muy severa, triplicaron los rendimientos de forraje.

Por su parte, Mas (2004) evaluando diferentes mezclas de festuca y leguminosas en la zona Este, con riegos en primavera y verano, durante 5 años, obtuvo altos rendimientos al comienzo, entre 8 y 10 t MS ha⁻¹ año⁻¹, disminuyendo hasta el cuarto año cuando el promedio de estos se ubicó en valores cercanos al 70% del máximo alcanzado el primer año. El quinto año se registra una caída importante de los rendimientos, coincidiendo con una pérdida generalizada de especies, cuya presencia y participación productiva venía deteriorándose de años anteriores.

Según Formoso (2010) tomando de referencia 16 situaciones evaluadas, la respuesta promedio al riego de festuca fue de 8.3 kg MS mm⁻¹. Observándose una variabilidad importante, desde respuestas muy bajas (menores a 1 kg MS mm⁻¹ regado) hasta respuestas elevadas superiores a los 20 kg MS mm⁻¹.

La eficiencia del uso del agua (EUA) es calculada como la productividad adicional obtenida por encima del tratamiento de secano, dividida entre los milímetros aplicados (Giorello et al., 2012).

Este último autor, en un trabajo realizado en 2010, obtuvo rendimientos con riego 4 y 8 veces mayor al rendimiento en secano, cuando se regó reponiendo el 50 % y 100% de la evaporación del cultivo de referencia (ET_o) respectivamente.

En otro experimento implantado en 2011, en el primer año de evaluación obtuvieron una respuesta significativa al riego pasando de 4202 kg ha⁻¹ a 5004 kg ha⁻¹ de MS con una eficiencia de 3.2 kg MS mm⁻¹. Pasando a ser de 7.4 kg MS mm⁻¹ en el segundo año (Giorello, 2014).

Según Giorello (2012) para un experimento con riego en festuca, las eficiencias en uso de agua fueron superiores en el periodo estival que en el total anual, siendo el cultivar Aurora significativamente superior en producción de materia seca (producción estival 2232 kg ha⁻¹) y eficiencia de uso de agua 4.86 kg MS mm⁻¹ aplicado, en comparación con los cultivares Tacuabé y Fortuna que tuvieron eficiencias de 2.67 y 2.8 kg MS mm⁻¹ aplicado respectivamente.

Aguirre et al. (2013) evaluaron la respuesta estival a riego de festuca y otras tres especies de gramíneas tropicales y subtropicales. La festuca fue la que menor respuesta tuvo, pero se debe tener en cuenta que no se implantó correctamente y presentó altos niveles de enmalezamientos.

Arce et al. (2013) reportaron respuesta significativa al riego durante el verano pasando de 861 a 4885 kg MS ha⁻¹. También aquí los niveles de infestación de malezas fueron altos por lo que deben relativizarse los resultados.

Boggiano et al. (2014) tomando como base los datos obtenidos por los dos investigadores anteriores concluye que la festuca presenta una alta respuesta al riego.

La producción obtenida bajo riego duplicó la productividad de pasturas de secano para mezclas que incluyeron festuca en un trabajo de Formoso y Norbis (2014). El primer y segundo año de festuca regada superó las 20 t MS ha⁻¹ y el tercer año fue de 14.2 t MS ha⁻¹.

Gutiérrez y Correa (2021) lograron obtener una producción anual bajo riego de 9041 kg MS ha⁻¹ de festuca, en un año con precipitaciones por encima de lo normal. Cabe aclarar que la pastura era de quinto año, observándose una importante contribución de especies espontáneas.

En el predio piloto “La Querencia”, del departamento de Artigas, Finozzi et al. (2023) regando pasturas de primer año de festuca con Lotus y trébol blanco bajo pastoreo, obtuvieron un aumento del 17% de producción de materia seca de producción en los primeros 8 meses evaluados (6862 vs 8047 kg MS ha⁻¹). El riego en este predio apunta a asegurar la sobrevivencia de las forrajeras de ciclo invernal en el verano, así como obtener una buena oferta de forraje de calidad temprano en el otoño.

2.9. RESPUESTA AL RIEGO DE FESTUCA A NIVEL INTERNACIONAL

En la zona oeste de los Estados Unidos, en la región semiárida de Nuevo México, donde anualmente llueven 208 mm, Smeal et al. (2005) encontraron una relación lineal positiva entre la cantidad de riego aplicado y el rendimiento de festuca. Siendo la respuesta obtenida del orden de 12.9 kg MS mm⁻¹ regado. Por su parte, Jensen et al. (2001) encontraron la misma relación, en un experimento de similares características en el estado de Utah, donde la precipitación anual es de 475 mm.

También en el estado norteamericano de Nuevo México, trabajando sobre 10 cultivares diferentes de Festuca, Asay et al. (2001) encontraron una respuesta significativa positiva, pero curvilínea en la producción de MS utilizando 5 niveles diferentes de riego.

En Nueva Zelanda, Martin et al. (2020) evaluaron el efecto de la sequía en festuca realizando un ensayo bajo invernáculo, de manera de aislar el efecto de las precipitaciones. Utilizaron 5 tratamientos, que iban desde confort hídrico (riego semanal que reponía el 100% de ETo) a sucesivamente tratamientos más restrictivos en el aporte de agua de riego. Obtuvieron una disminución de 12 kg MS por cada mm de riego que no aplicaron.

Simões et al. (2008) en Portugal evaluando la eficiencia del uso del agua (EUA) en festuca y dactilis (expresada en términos de rendimiento de materia seca por unidad de agua consumida) encontraron que festuca es más eficiente que dactilis. Y que hay una correlación entre el rendimiento de MS y EUA que fue de 0.487.

En Camden – Australia, con una media anual de lluvias de 572 mm y una ETo de 1117 mm, Neal et al. (2010) encontraron una respuesta positiva al riego en rendimiento de MS de festuca, en un ensayo de 3 años y utilizando 3 niveles de riego (100%, 66% y 33% de agua disponible en el suelo). Para dichos niveles obtuvieron una EUA promedio total de 22.1, 19.6 y 15.8 kg MS ha⁻¹ mm⁻¹ respectivamente.

En un trabajo realizado por Mattera et al. (2023) en Pergamino, Argentina, en un año relativamente seco para la zona, donde llovieron 678 mm, se encontró una alta

respuesta al riego. Las diferencias de producción en MS entre riego y secano son al menos del doble.

A modo de resumen puede decirse, que al igual que en la bibliografía nacional, los trabajos encontrados a nivel internacional muestran una clara respuesta al riego en el rendimiento de festuca, siendo la magnitud de esta muy variable.

2.10. METODOS DE RIEGO

De manera sucinta se describirán en este apartado los métodos de riego disponibles, entendiéndose por esto al conjunto de aspectos que caracterizan el modo de aplicar agua en las parcelas regadas (Gutiérrez & Correa, 2021).

2.10.1. Riego por superficie

Son aquellos riegos en que el agua va avanzando sobre la superficie del terreno y simultáneamente va infiltrando al suelo. La energía que mueve el proceso es la fuerza de gravedad. Puede ser por surcos o por melgas (García Petillo, 2012).

2.10.2. Riego Localizado

Comprende al riego por goteo, por difusores, la microaspersión y el riego superficial por tubos perforados y tubos porosos. El agua es aplicada donde se desarrollan las raíces de la planta, gracias a una red de tuberías que generalmente están enterradas. Esto se consideran sistemas de cobertura total. Una de las principales ventajas de este método es la reducción tanto del consumo de agua como de los costos (Gutiérrez & Correa, 2021)

2.10.3. Riego por aspersión

Son aquellos que aplican el agua en forma de lluvia. Cuando las gotas llegan al suelo, deberían infiltrar en ese punto y no escurrir sobre el terreno. Todo el sistema debe ser entubado y presurizado mediante una bomba. Las variantes encontradas aquí son: pivote central, cañón autoenrollable, sistema automático de riego (SAR), ala sobre carro, irripod, aspersión portátil (García Petillo, 2012).

En este trabajo se utilizaron aspersores fijos. Según Peralta y Simpfendörfer (2001), existen comercialmente una diversidad de tipos de aspersores en cuanto a tamaño y presión de trabajo, con las consiguientes diferencias en la intensidad de precipitación, radio, de alcance del chorro y distribución de la lluvia.

2.11. ESTIMACIÓN DE NECESIDADES DE AGUA Y PROGRAMACIÓN DEL RIEGO

Regar bien es darles a las plantas la cantidad de agua necesaria en el momento oportuno. Es decir, antes que el contenido hídrico del suelo le genere un estrés que disminuya su rendimiento. Además, debe aplicarse de forma uniforme en toda la parcela (García Petillo, 2012).

En una encuesta realizada por Cámara et al. (2019) a productores ganaderos que utilizaban riego en sus sistemas productivos, más de la mitad de los encuestados indicaron que no realizaban un cálculo preciso de cuando ni cuanto regar. El 56% tomaba la decisión de regar en base a la estimación del contenido de humedad del suelo por tacto.

La técnica más aceptada para realizar un adecuado manejo del agua es la programación de riego, la cual identifica el momento y la cantidad de agua que se debe aportar al cultivo en cada riego. Para esto, se utiliza el método de balance de agua en el suelo, el cual se apoya en el conocimiento de las condiciones climáticas (demanda evaporativa de la atmosfera y precipitación), de las características físicas e hidráulicas de los suelos, así como en aspectos relacionados con el desarrollo del cultivo (Otero et al., 2017).

En la ecuación descripta por Allen et al. (2006), se tienen en cuenta las entradas y salidas del sistema para el cálculo del balance hídrico, expresado en términos de agotamiento al final del día:

$$Dr_i = Dr_{i-1} - (P - RO)_i - L_i - CR_i + ETc_i + DP_i$$

Donde:

Dr_i : agotamiento de humedad en la zona radicular del suelo al final del día i (mm),

Dr_{i-1} : contenido de humedad en la zona radicular al final del día anterior, i-1 (mm),

P_i : precipitación en el día i (mm),

RO_i : escurrimiento superficial en el día i (mm),

L_i : lámina neta de riego en el día i que infiltra en el suelo (mm),

CR_i : ascenso capilar proveniente de la masa de agua subterránea en el día i (mm),

ETc_i : evapotranspiración del cultivo en el día i (mm),

DP_i pérdidas de agua de la zona radicular por percolación profunda en el día i [mm].

La evapotranspiración del cultivo puede ser medida directamente o ser estimada a partir del método de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) Penman-Monteith utilizando datos meteorológicos y coeficientes de cultivos (Allen et al., 2006), donde la Evapotranspiración de cultivo a regar (ETc), se calcula a partir de la evapotranspiración de un cultivo de referencia (ETo), corregida por un coeficiente de cultivo (Kc). Siendo entonces: $ETc = ETo \times Kc$. Se expresa normalmente en milímetros (mm) por unidad de tiempo.

2.11.1. Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET₀)

Es la tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia que ocurre sin restricciones de agua. Corresponde a un cultivo hipotético, muy similar a una pastura de 12 cm de altura, que sombrea totalmente el suelo, sin limitaciones de nutrientes, plagas o enfermedades.

Está determinado fundamentalmente por la radiación solar, la temperatura, la humedad relativa y la velocidad del viento.

Expresa el poder evaporante de la atmósfera en una localidad y época del año específicas y no considera ni las características del cultivo ni los factores del suelo. Los únicos factores que la afectan son parámetros climáticos. Por lo tanto, ET₀ es también un parámetro climático que puede ser calculado a partir de datos meteorológicos, según la siguiente fórmula (Allen et al., 2006).

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$$

Donde:

ET₀: evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹),

R_n: radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m⁻² día⁻¹),

G: flujo de calor del suelo (MJ m⁻² día⁻¹),

T: temperatura media del aire a 2 m de altura (m s⁻¹),

u₂: velocidad del viento a 2 m de altura (m s⁻¹),

e_s: presión de vapor de saturación (kPa),

e_a: presión real de vapor (kPa),

e_s - e_a: déficit de presión de vapor (kPa),

Δ: pendiente de la curva de presión de vapor (kPa - °C⁻¹),

γ: constante psicrométrica (kPa - °C⁻¹)

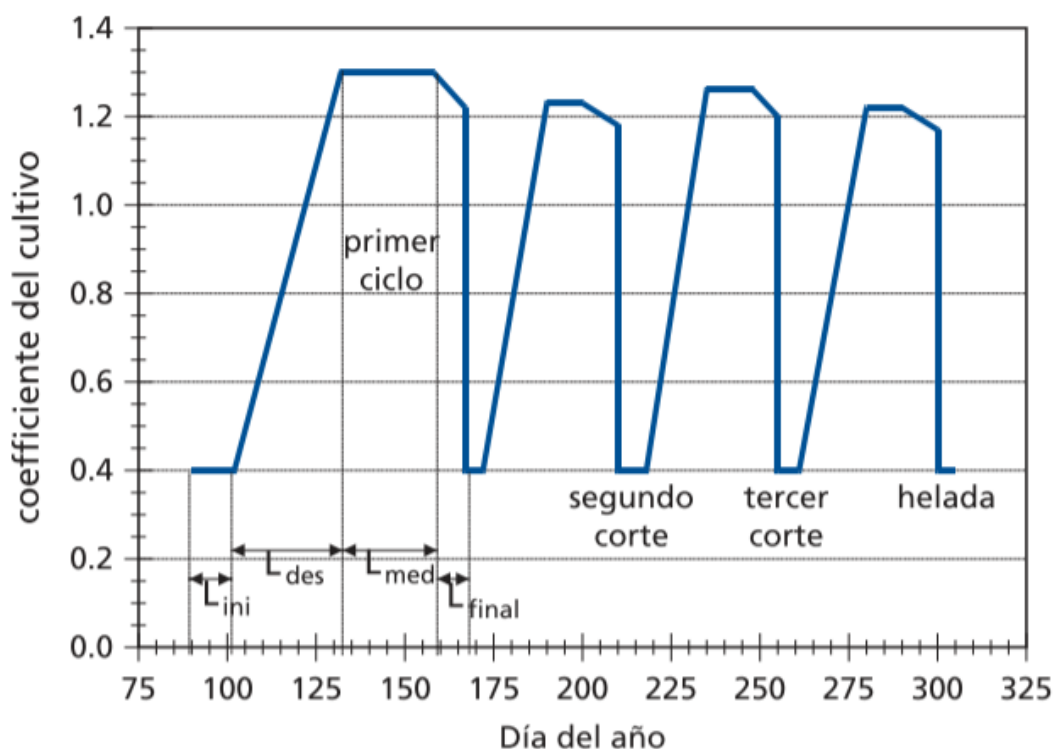
2.11.2. Coeficiente del Cultivo (K_c)

Representa el resumen de las diferencias físicas y fisiológicas entre un cultivo y el cultivo de referencia. Su valor cambia en función del tipo de cultivo, la variedad y la etapa de desarrollo. Esta determinado por la resistencia a la transpiración, la altura y la rugosidad del cultivo, el reflejo, la cobertura del suelo y las características radiculares. Se le puede realizar ajustes que tomen en cuenta desviaciones de las condiciones de desarrollo del cultivo con respecto a las condiciones estándar, tales como la presencia de estrés hídrico y salino, baja densidad de plantas, factores ambientales y las prácticas de manejo del cultivo.

Los valores de K_c cambian y se grafican en forma de curva, según la etapa fenológica del cultivo, pudiéndose distinguir una etapa inicial, una de desarrollo, mediados de cultivo y de decrecimiento que va hasta cosecha.

En pasturas para forraje o heno que son cosechadas en varias ocasiones durante la temporada, la curva resultante está compuesta por una serie de curvas asociadas con cada sub-ciclo que comienza luego de cada corte (Allen et al., 2006).

Figura 1.
Curva de K_c para cultivos forrajeros



Nota. Tomando de Allen et al. (2006).

2.11.3. Evapotranspiración del cultivo (ET_c)

Se refiere a la demanda evaporativa de la atmósfera sobre cultivos que crecen en áreas grandes, bajo condiciones óptimas de agua en el suelo, con características adecuadas tanto de manejo como ambientales, y que alcanzan la producción potencial bajo las condiciones climáticas dadas.

La cantidad de agua requerida para compensar la evapotranspiración del cultivo se define como necesidades de agua del cultivo. A pesar de que los valores de la evapotranspiración del cultivo y de las necesidades de agua del cultivo son idénticos, sus definiciones conceptuales son diferentes. Las necesidades de agua del cultivo se refieren a la cantidad de agua que necesita ser proporcionada al cultivo, como riego o precipitación. Mientras que la evapotranspiración del cultivo se refiere a la cantidad de agua utilizada a través de la evapotranspiración. La necesidad de riego básicamente representa la diferencia entre la necesidad de agua del cultivo y la precipitación efectiva (Allen et al., 2006).

2.12. DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL SUELO

A los efectos del manejo del riego, no es correcto considerar la totalidad del agua almacenada en el perfil del suelo, sino que esta queda limitada a la profundidad radicular. Por otra parte, al definir esta profundidad no se debe considerar las raíces que pueden alcanzar mayores profundidades que el resto, sino hasta donde se encuentra la masa radicular absorbente (García Petillo, 2012). Esta profundidad es la que se denomina profundidad radical efectiva.

La cantidad de agua a aplicar o lámina de riego depende de la profundidad radical efectiva del cultivo y de los parámetros hídricos del suelo que se detallan a continuación:

2.12.1. Saturación

Los poros del suelo están ocupados por aire y por agua en proporciones variables según el estado de humedad. Un suelo después de recibir lluvias abundantes tiene todos sus poros (macro y microporos) llenos de agua. Esta condición se llama suelo saturado. Por la falta de oxígeno, las raíces no están en condiciones adecuadas para absorber el agua.

Si se permite que un suelo saturado drene libremente, el contenido de agua comienza a descender vaciándose primero los poros más grandes que pasan a ser ocupados por el aire. Esta fracción del agua no retenida por el suelo, se denomina agua libre o gravitacional (Pizarro, 1990).

2.12.2. Capacidad de campo (CC)

Si el drenaje continúa, llega un momento en que el suelo no pierde más agua. En este estado se dice que el suelo está a capacidad de campo (CC). Los poros más pequeños retienen el agua contra la fuerza de gravedad y los poros mayores están en buena parte ocupados por aire. Esta situación es muy favorable para el desarrollo de los cultivos, que encuentran en el suelo agua abundante retenida con una energía que es fácilmente superada por la succión de las raíces, al mismo tiempo que el suelo está suficientemente aireado para permitir la respiración radicular (Pizarro, 1990).

2.12.3. Punto de marchitez permanente (PMP)

El contenido de agua en el suelo puede seguir descendiendo por debajo de CC, como consecuencia de la evaporación y la transpiración de las plantas. La película de agua que rodea a las partículas de suelo se hace cada vez más fina y a medida que el contenido de humedad disminuye, se hace más difícil la absorción de agua por las raíces, hasta que se alcanza un estado denominado punto de marchitez permanente (PMP). Se caracteriza porque las plantas absorben el agua del suelo con mucha dificultad y experimentan marchitez irreversible (Pizarro, 1990).

2.12.4. Agua disponible total (ADT)

Se refiere a la capacidad de un suelo de retener el agua disponible para las plantas. Es la diferencia entre los contenidos de humedad a CC y PMP. La lamina ADT representa la cantidad de agua que un cultivo puede extraer de su zona radicular y cuya magnitud depende del tipo de suelo y la profundidad radicular (Allen et al., 2006).

2.12.5. Agua fácilmente disponible (AFD)

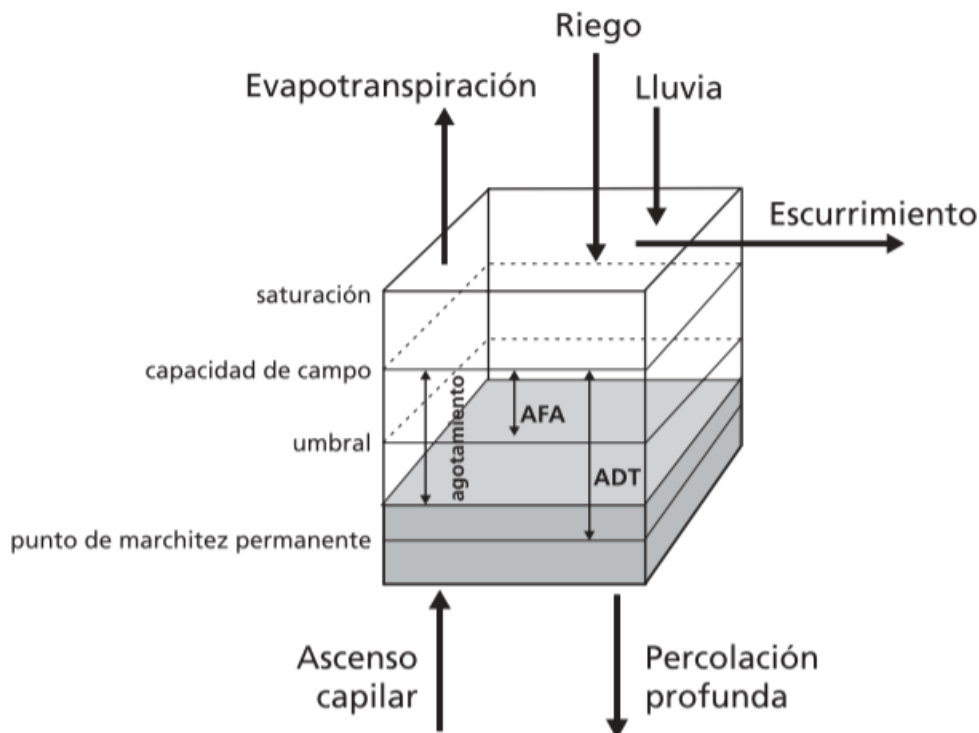
A pesar de que existe agua disponible hasta alcanzar el PMP, la cantidad de agua extraída por el cultivo se reducirá significativamente antes de alcanzar el PMP. Cuando el suelo contiene suficiente humedad, el mismo es capaz de suministrar el agua con suficiente velocidad para satisfacer la demanda atmosférica al cultivo, por lo que la extracción del agua será igual a la ETc. A medida que disminuye la cantidad de humedad en el suelo, el agua será retenida más fuertemente a la matriz del suelo y será más difícil de extraer. Cuando el contenido de humedad del suelo esté por debajo de cierto valor umbral, el agua del suelo no podrá ser transportada hacia las raíces con la velocidad suficiente para satisfacer la demanda transpiratoria y el cultivo comenzará a sufrir de estrés. La fracción de ADT que un cultivo puede extraer de la zona radicular sin experimentar estrés hídrico, es denominada agua fácilmente disponible (AFD) en el suelo (Allen et al., 2006).

2.12.6. Umbral de riego (UR) y factor máximo de agotamiento (p)

El Umbral de riego (UR) se define como el potencial de agua en el suelo en el cual se debe aplicar la lámina de riego. El mismo, se puede expresar como el porcentaje o fracción máximo de agotamiento del ADT para que la planta no sufra estrés (p).

El factor p varía normalmente entre 0.3 (para plantas de raíces superficiales y tasas altas de ETc mayores a 8 mm día⁻¹) hasta 0.7 (para plantas de raíces profundas y tasas bajas de ETc menores a 3 mm día⁻¹). Un valor de 0.5 es utilizado comúnmente para una gran variedad de cultivos, mientras que para el caso de pasturas en pastoreo se recomienda utilizar una fracción de agotamiento de 0.6 (Allen et al., 2006).

Figura 2.
Balance de agua en la zona radicular



Nota. Tomado de Allen et al. (2006).

A modo de resumen, en la figura anterior puede observarse una representación gráfica del balance del agua en la zona radicular, donde se distinguen las entradas y salidas de agua al sistema, así como los parámetros hídricos del suelo detallados anteriormente.

2.13. METODOS PARA MEDIR LA HUMEDAD DEL SUELO

Mediciones directas de la humedad del suelo a campo, son necesarias para contrastar las estimaciones efectuadas a través de la utilización de balances hídricos. Entre los métodos conocidos para medir la humedad del suelo, se pueden citar el método gravimétrico, la estimación a tacto, los sensores de capacitancia TDR/FDR, la sonda de neutrones, tensiómetros y bloques de yeso.

El método gravimétrico, también conocido como método directo, se basa en determinar la cantidad de agua presente en una muestra de suelo mediante su pérdida de peso tras el secado. Para ello, se extrae una porción de suelo a una profundidad específica y se pesa en su estado húmedo. Luego, la muestra se somete a un proceso de secado en estufa, mantenida a 105 °C durante un período de 48 a 72 horas, hasta que alcanza un peso constante. Al volver a pesar la muestra ya seca, la diferencia de peso respecto al estado inicial corresponde al contenido de agua que poseía el suelo. Este valor se expresa como porcentaje respecto al peso del suelo seco y se conoce como contenido gravimétrico de humedad (Otero et al., 2017).

Una rápida estimación a campo puede utilizarse para conocer el contenido de agua a partir del tacto y la apariencia del suelo. La textura y la humedad de la muestra pueden afectar la precisión de las estimaciones, esta técnica requiere cierta experiencia por lo que se recomienda el uso de guías (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos [USDA], 2000).

Según Otero et al. (2017), los sensores TDR (Time Domain Reflectometry) detectan el tiempo que demora un pulso eléctrico en viajar desde el inicio hasta el final de una guía de longitud conocida. Mientras más húmedo esté el suelo más tiempo tardará el pulso en viajar a lo largo de las guías. Los sensores FDR (Frequency Domain Reflectometry) miden cambios en la constante dieléctrica del suelo, los cuales son detectados por el dispositivo a través de cambios en su frecuencia de operación. Los sensores FDR tienen una respuesta más rápida que los TDR, sin embargo deben ser calibrados para diferentes tipos de suelos.

La sonda de neutrones tiene una fuente que emite neutrones de alta velocidad y energía. Dichos neutrones colisionan con los átomos de hidrógeno del suelo (asociados a las moléculas de agua) y pierden energía, retornando al sensor que los contabiliza. Este conteo por unidad de tiempo está relacionado directamente con el contenido de agua de suelo. Son caros, precisos, de fácil uso, pero requieren cuidado de manejo por tener una fuente radioactiva (Otero et al., 2017).

Según Martín y Muñoz (2017), los tensiómetros miden la intensidad de la fuerza con la que el suelo retiene el agua. La mayoría tienen una punta cerámica o porosa conectada a una columna de agua. Son instalados a la profundidad deseada y a medida que el suelo se seca, comienza a jalar el agua de la columna a través del bulbo de cerámica, provocando succión. Esta fuerza se mide con un indicador de succión.

El contenido de humedad del suelo se puede determinar por la resistencia al paso de corriente eléctrica entre dos electrodos en contacto con el suelo. Este es el principio físico que utilizan algunos dispositivos como los bloques de yeso. Su uso práctico es limitado ya que miden muy bien con contenidos altos de humedad, pero su precisión disminuye cuando la misma es baja (Martín & Muñoz, 2017).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. UBICACIÓN Y PERIODO EXPERIMENTAL

El experimento se localizó en el Centro Regional Sur (CRS) de la Facultad de Agronomía, en la zona de Juanico, departamento de Canelones, Uruguay. En las coordenadas geográficas Latitud $34^{\circ}36'57.28''\text{S}$ y Longitud $56^{\circ}13'3.46''\text{O}$.

El periodo de evaluación experimental comenzó en invierno del 2022 (1/06/2022), extendiéndose hasta el otoño de 2023 (31/05/2023).

Figura 3.

Ubicación del sitio experimental



Nota. Adaptado de Google (2024).

3.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES

3.2.1. Suelo

El suelo del sitio del experimento es un Brunosol Eutrítico Típico, correspondiente a un Argiudol Típico según la clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2014). Su ubicación topográfica es una ladera media – alta, con una pendiente local de 1-2%. Es moderadamente bien drenado y tiene un riesgo de inundación nulo.

El mismo corresponde al grupo CONEAT 10.8a, con índice de productividad de 105, el cual se describe como un grupo al que corresponden la mayoría de las tierras onduladas suaves de los departamentos de Canelones y San José. Está sobre la unidad de suelo Tala-Rodríguez correspondiente a la Formación Geológica Libertad, en referencia a la carta de reconocimiento de suelos del Uruguay escala 1:1.000.000 (Durán, 1976).

Se determinó densidad aparente (Dap) y capacidad de campo (CC) según la metodología descrita por García Petillo et al. (2012). La misma consiste en saturar una porción representativa del suelo, permitir el drenaje durante 48–72 horas, extraer muestras de distintos horizontes, pesalas y secarlas hasta peso constante y calcular el contenido de agua retenida como porcentaje del peso del suelo seco.

El punto de marchitez permanente (PMP) se estimó mediante la regresión propuesta por Silva et al. (1988), según la siguiente formula:

$$PMP \%ps = -5 + 0,74 CC \%ps$$

Tabla 1.

Parámetros físicos e hídricos del suelo por horizonte

Profundidad (cm)	CC (% vol.)	PMP (% vol.)	D _{Ap} (g.cm ⁻³)	ADT (mm/horiz.)
00-19	44.9	27.4	1.15	33.0
20-36	45.6	27.7	1.20	28.6
37-80	43.2	25.9	1.20	74.1

Nota. CC: Capacidad de campo, PMP: Punto de Marchitez Permanente, D_{Ap}: Densidad Aparente, AD: Agua Disponible.

3.2.2. Caracterización climática del periodo experimental

Para la caracterización del clima, se analizó la ETo y las precipitaciones para el año en estudio (2022-2023) y el promedio histórico desde el año 1993 hasta el 2023 (30 años). Para dicha comparación se utilizaron datos de la estación agrometeorológica de INIA Las Brujas (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria [INIA], s.f.), ubicada a 15 km en línea recta del experimento (34° 40' S., longitud: 56° 20' W., altura: 32 m.s.n.m). y datos de precipitación que se midieron con un pluviómetro instalado en el sitio del experimento.

3.2.3. Manejo de la Pastura

La evaluación se realizó sobre una pastura de Festuca Arundinacea (cv. Aurora), en su tercer año de producción. Fue sembrada el 2 de agosto del 2020, en línea, a 17 cm de distancia entre surcos, con sembradora directa sobre suelo laboreado, a una densidad de 20 kg ha⁻¹ y una fertilización de base de 150 kg ha⁻¹ de Fosfato Diamónico (18-46-0). Se realizó un tratamiento con herbicidas (glifosato 2.5 lts ha⁻¹ y Starane 0.4 lts ha⁻¹) en barbecho previo a la siembra. El cultivo antecesor fue una pradera de achicoria (*Chichorium Intybus*).

La misma se refertilizó con 70 kg ha⁻¹ de Urea (46% N) después de cada pastoreo. Adicionalmente en cada otoño se tomaron muestras de suelos de los primeros 20 cm del suelo para corregir el nivel de fósforo (P), utilizando un nivel crítico de 12 ppm P Bray.

Las evaluaciones se realizaron en condiciones de pastoreo para que el resultado sea extrapolable a los sistemas de producción pastoriles del país. Se utilizaron dos vacas por parcela, de 600-700 kg, raza Holando, Jersey y sus cruza. Los animales entraban a pastorear cuando la festuca (en el 75% del área de las cuatro parcelas de cada tratamiento) tenía 2.5 hojas y salían cuando había un remanente de 5 cm. Posteriormente se empajaba la pastura con corte mecánico a la misma altura.

3.3. METODOLGÍA EXPERIMENTAL

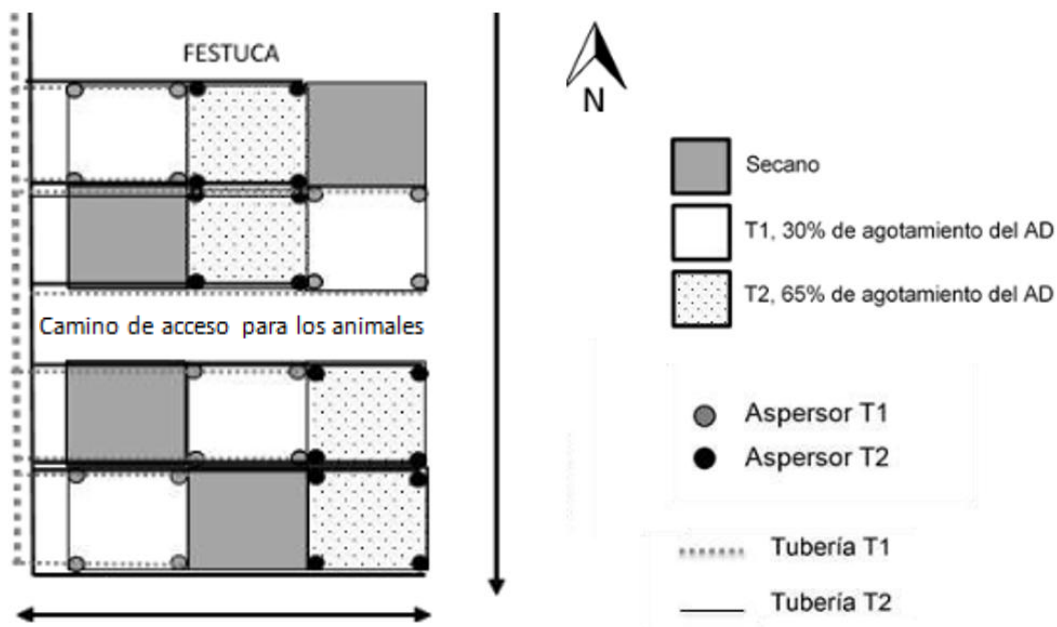
El diseño experimental fue de bloques completos con parcelas al azar, con 3 tratamientos y 4 repeticiones. El tamaño de las parcelas fue 11 x 11 metros. Se previeron caminos de entrada y salida de los animales a las parcelas.

Los tratamientos fueron:

- Riego Frecuente (T1): se agota el 30% (21 mm) del agua disponible en la profundidad de las raíces absorbentes. Se repone 11 mm de lámina de riego.
- Riego Espaciado (T2): se agota el 65% (46 mm) del agua disponible en la profundidad de las raíces absorbentes. Se repone 36 mm de lámina de riego.
- Secano: El aporte de agua al sistema es únicamente a través de las lluvias.

Figura 4.

Croquis del diseño experimental



3.4. MANEJO DEL RIEGO

El riego fue aplicado con aspersores fijos modelo RPS75, colocados en cada una de las esquinas de las parcelas y sectorizados a 90°. La tasa de aplicación fue de 5.5 mm h⁻¹, cuando el sistema alcanzaba su presión operativa. El equipo de riego se instaló completamente enterrado y los aspersores emergentes se elevaban cuando el sistema se presurizaba al iniciar el riego, para minimizar daños al pastorear.

Se determinó el coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU) utilizando la metodología propuesta por Tarjuelo (2005). El valor obtenido fue del 70%. Según el autor este es considerado aceptable para el riego por aspersión fija, utilizado en este experimento.

La fuente de agua para las aplicaciones de riego fue una represa ubicada a metros del lugar del experimento.

El inicio de los tratamientos de riego fue el 5 de noviembre de 2020 y el último riego aplicado fue el 15 de abril de 2023.

Se realizó un balance hídrico de paso diario para cada tratamiento de manera de poder determinar los momentos de riego, utilizando la siguiente fórmula:

$$D_{acum.} = D_{i-1} + ET_c - R_i - P_{p ef}$$

Donde: *D_{acum.}* es el déficit acumulado, *D_{i-1}* es el déficit del día anterior, *ET_c* es la evapotranspiración de la pastura del día anterior, *R_i* es riego y *P_{p ef}* es la precipitación efectiva.

Para el cálculo de *ET_c* se utilizaron los valores del coeficiente de cultivo (*K_c*) de 0,4 (para el momento inmediato posterior al pastoreo) y 0,95 (para el momento inmediato anterior al pastoreo). Estos valores se fijaron a partir de los valores publicados en FAO 56 (Allen et al., 2006) para pasturas en pastoreo de rotación, dado que los valores de *K_c* específicos para festuca no están publicados. La evolución del valor del *K_c* se consideró lineal para los días entre pastoreos.

El valor máximo de precipitación efectiva fue el correspondiente para devolver al suelo a CC. Cuando la precipitación excedió por 23 mm al déficit acumulado, se consideró que el suelo alcanzó la condición de saturación y se mantuvo el balance con déficit cero por 48 horas. Cabe aclarar que al momento de ocurrir una precipitación el déficit acumulado fue diferente en cada tratamiento.

Para el balance del T1, la *ET_c* diaria se calculó como el producto entre la *ET_o* (mm día⁻¹) y el *K_c* (del día correspondiente). En cambio, para el balance del T2 y tratamiento seco, la *ET_c* se calculó como el producto entre la *ET_o* (mm.día⁻¹), *K_c* y *K_s*. El coeficiente de estrés hídrico (*K_s*) se calculó como se indica en la siguiente ecuación:

$$K_s = \frac{ADT - D_{acum_{i-1}}}{ADT - AFD}$$

K_s < 1 para suelos con humedad limitante y *K_s* = 1 cuando no existe limitante hídrica en el suelo.

Siendo: *ADT* = agua disponible total en la profundidad de las raíces absorbentes; *D_{acum_{i-1}}* = déficit acumulado y *AFD* = agua fácilmente disponible.

El *AFD* se calculó como el producto del *ADT* x umbral de FAO 56 para pasturas de pastoreo en rotación (0,6 para *ET_c* de 5 mm d⁻¹) corregido por la *ET_c* diaria del cultivo (Allen et al., 2006). La profundidad de las raíces absorbentes para realizar los balances hídricos fue 0,4 m para los tratamientos con riego (T1 y T2) y 0,5 m para seco.

Se midió la humedad del suelo previo al riego con sonda FDR (Delta T Devices. PR2) para verificar el umbral de los tratamientos. Para ello se colocaron tubos de acceso en cada parcela de evaluación y se utilizó la calibración realizada en estudios anteriores por Hayashi y Dogliotti (2021), con el método gravimétrico para cada horizonte.

El riego se realizó cuando el déficit acumulado llegó a un máximo definido para cada tratamiento. Para su estimación se tuvo en cuenta el agua disponible total en la profundidad radical (*ADT*) y el umbral de agotamiento de cada tratamiento, que se puede expresar de la siguiente manera:

$$D_{acum. max.} = ADT (mm) * Umbral del tratamiento$$

El ADT del suelo hasta los 40 cm (profundidad de las raíces absorbentes), fue 70 mm. Cuando el déficit acumulado llegó a 21 mm (agotamiento del 30% del ADT) y a 46 mm (agotamiento del 65% del ADT) se aplicó el riego de T1 y T2 respectivamente, reponiendo el contenido de agua hasta al 85 % del ADT (60 mm). Las láminas de riego aplicadas fueron 11 mm y 36 mm para T1 y T2 respectivamente. Este manejo del riego no devuelve la humedad del suelo a su condición de capacidad de campo, se mantuvo un déficit de 10 mm, con el objetivo de captar un mayor porcentaje de las lluvias y alejar al suelo de las condiciones de anegamiento ante la posibilidad de precipitaciones luego de efectuado el riego.

3.5. DETERMINACIONES EN EL CULTIVO

Una vez definido el momento de pastoreo, en función de su fenología (estado de 2.5 a 3 hojas), previo al ingreso de los animales, se evaluó la producción de materia seca en cada tratamiento. El procedimiento consistió en identificar visualmente zonas de alto, medio y bajo nivel de biomasa disponible de forraje, en todas las parcelas a pastorear. Se obtuvieron 3 muestras por nivel identificado, utilizando un cuadrado de 0,30 x 0,30 m, cortando manualmente la pastura y dejando un remanente de 5 cm de altura. Las muestras fueron pesadas (peso fresco), llevadas a estufa a 60°C hasta peso constante (peso seco), para luego determinar materia seca.

Para estimar la biomasa en cada parcela se realizó un recorrido del área total de la parcela, dejando un borde de 1 m de ancho sin evaluar, realizando 15 visualizaciones siguiendo un recorrido en zigzag en toda la parcela, asociando la visualización con los tres niveles fijados previamente según se detalla en el procedimiento descrito por Haydock y Shaw (1975).

Para determinar la producción de biomasa por estación, se calculó el rendimiento en kg MS ha⁻¹ teniendo en cuenta los días y las tasas de crecimiento (TC) entre cada pastoreo, de forma de poder reconstruir la producción estacional.

Para determinar la TC (kg MS día⁻¹) se calculó la diferencia de producción de MS entre dos pastoreos continuos en función de los días entre los mismos.

Otra determinación realizada fue la productividad del agua, estimada como el cociente entre el rendimiento en kg MS ha⁻¹ y el agua utilizada total por parte del cultivo (precipitación efectiva, riego neto aplicado y la variación de la humedad en el suelo medida como la diferencia entre el déficit acumulado al inicio y al final de cada estación).

3.6. ANALISIS ESTADISTICO

Para la evaluación de rendimiento de MS (kg ha⁻¹) de cada estación, el rendimiento de MS acumulada del total del periodo evaluado y la productividad del agua total, se consideró el efecto tratamiento y bloque.

Todas las comparaciones de medias se realizaron por test de Fisher y se utilizó la corrección de Bonferroni. Se consideraron medias diferentes con p-valor < 0,05.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. CARACTERIZACION CLIMATICA DEL PERIODO DE EVALUACION

Las precipitaciones ocurridas durante el periodo de evaluación (junio 2022 a mayo 2023) fueron 538 mm. Este es el registro anual más bajo de los 30 últimos años de la serie histórica 1993 - 2023. La distribución de estas se puede observar en el siguiente gráfico, destacándose que desde el invierno y particularmente en enero la falta de lluvias fue importante.

Figura 5.

Precipitaciones mensuales media histórica serie 1993-2023 y periodo 2022-2023

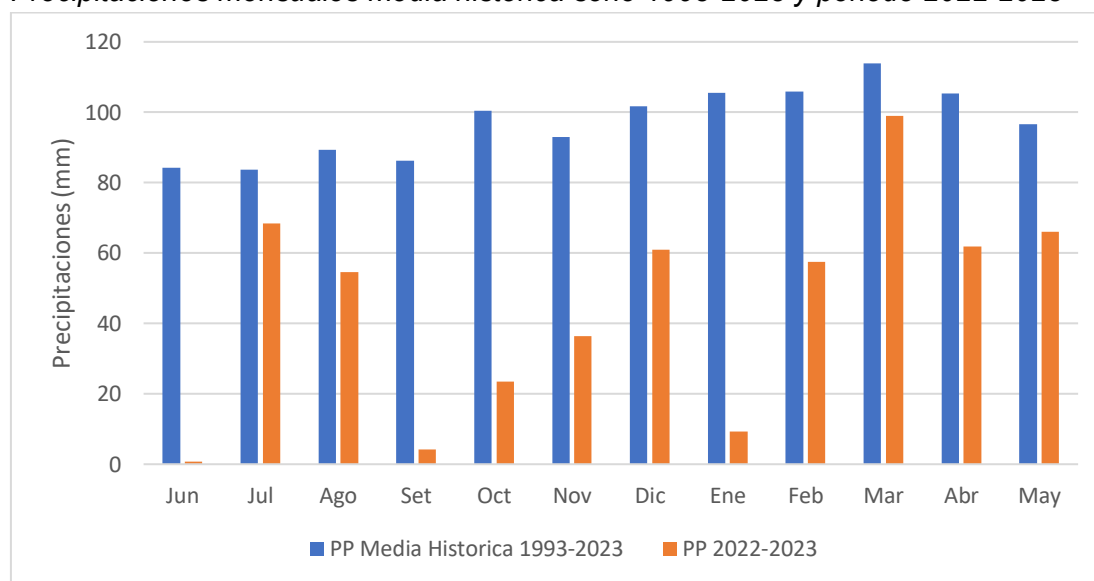
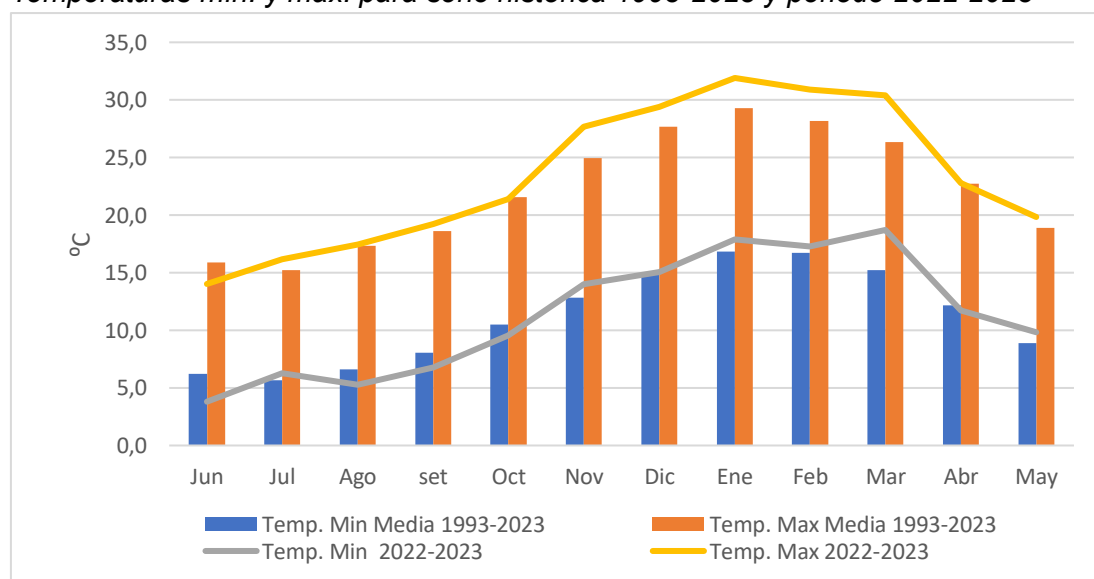


Figura 6.

Temperaturas mín. y máx. para serie histórica 1993-2023 y periodo 2022-2023



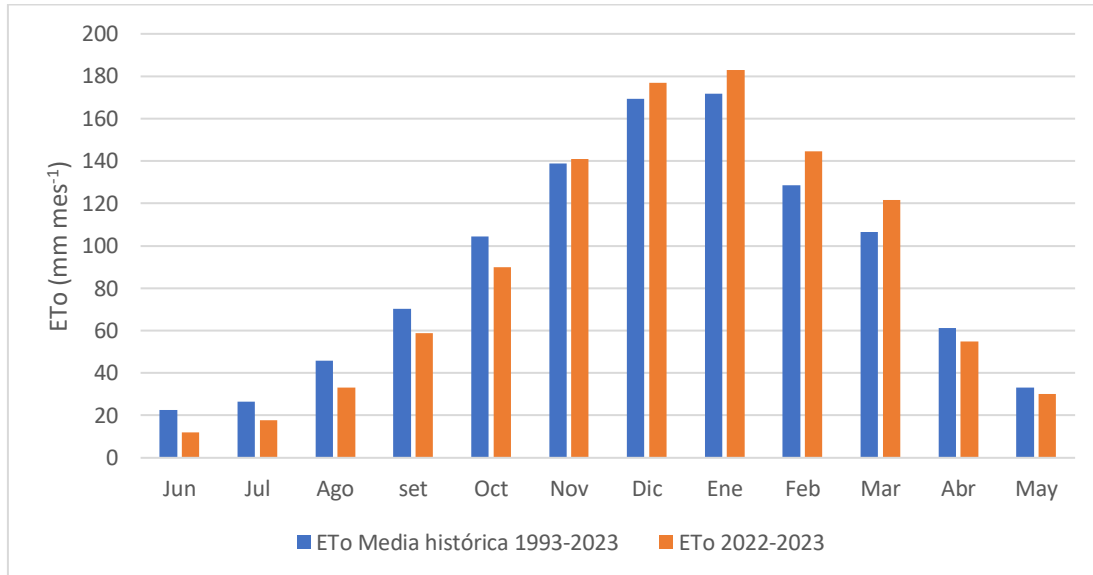
Las temperaturas mínimas estuvieron dentro de lo normal, mientras que en verano las máximas estuvieron por encima de la media de la serie histórica. De todas maneras, como ya se había mencionado, la festuca tiene buena tolerancia a temperaturas altas

del verano. Su crecimiento es más restringido en esta estación por la falta de agua, que por las altas temperaturas (Carámbula, 1998).

La demanda atmosférica fue de 1064 mm durante el periodo de evaluación, siendo prácticamente igual tanto con el valor total de ETo de la serie histórica como con su distribución mensual según se puede ver en la siguiente grafica.

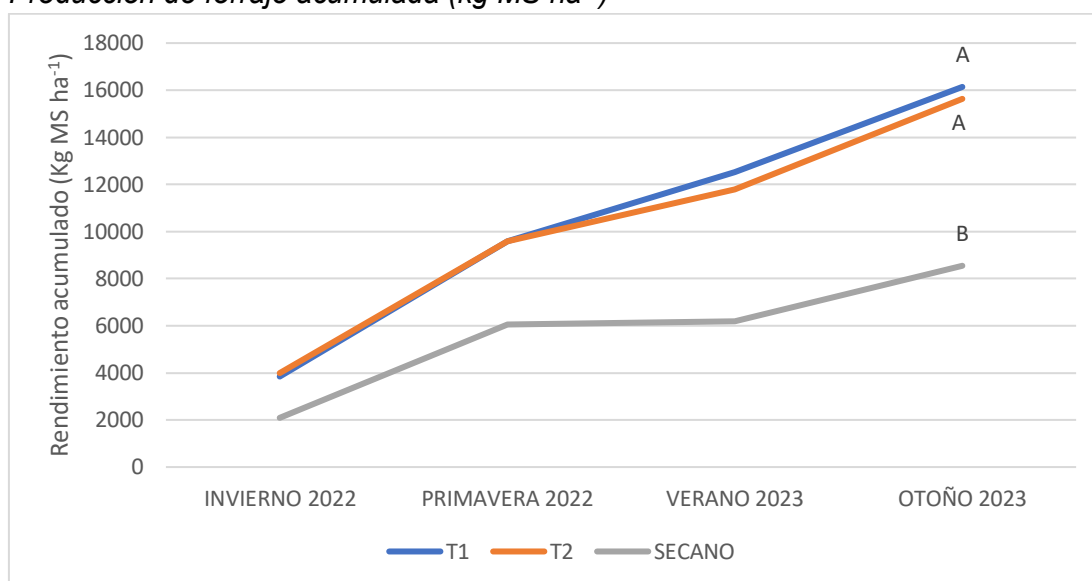
Figura 7.

ETo mensuales de la media histórica serie 1993-2023 y periodo 2022-2023



4.2. PRODUCCION DE FORRAJE

En la siguiente gráfica se puede observar la producción acumulada anual de MS para la festuca de 3er año según los diferentes tratamientos propuestos. El riego duplicó la producción de MS, coincidiendo con la respuesta obtenida por Mas (2004), Sawchik y Formoso (2000) y Boggiano et al. (2014).

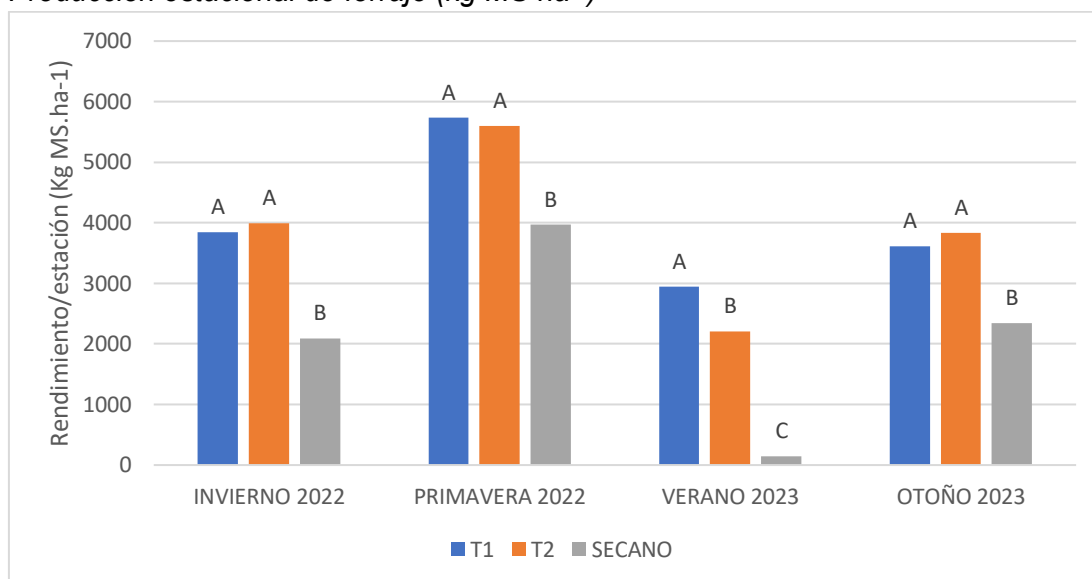
Figura 8.*Producción de forraje acumulada (kg MS ha⁻¹)*

Nota. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre medias de los tratamientos. Se realizaron por test de Fisher y se utilizó la corrección de Bonferroni.

No existieron diferencias significativas entre el riego frecuente (T1) y el riego espaciado (T2). La producción anual alcanzada bajo riego para este tercer año superó los 15.500 kg MS ha⁻¹, siendo muy similares a los resultados obtenidos por Formoso y Norbis (2014).

A pesar de ser un año particularmente seco, la producción en secano del 3er año, superó los 8.000 kg MS ha⁻¹. Siendo mayor a la reportada por García (2003) para condiciones similares.

En la siguiente gráfica se puede observar para cada estación, la producción de materia seca por tratamiento. En todas las estaciones hubo un efecto positivo del riego en la producción de materia seca. Particularmente en el verano, donde la producción del tratamiento en secano fue muy escasa (142 kg MS ha⁻¹).

Figura 9.*Producción estacional de forraje (kg MS ha⁻¹)*

Nota. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre medias de los tratamientos. Se realizaron por test de Fisher y se utilizó la corrección de Bonferroni.

En la única estación que existió diferencias significativas en producción de MS entre el riego frecuente y el riego espaciado (T1 y T2) fue en verano.

La producción estacional en secano fue similar a la descrita por García (2003) y Ayala et al. (2010). El riego no produjo un cambio drástico en la distribución estacional de producción de forraje, conservándose el pico de producción en primavera al igual que encontraron Formoso y Norbis (2014).

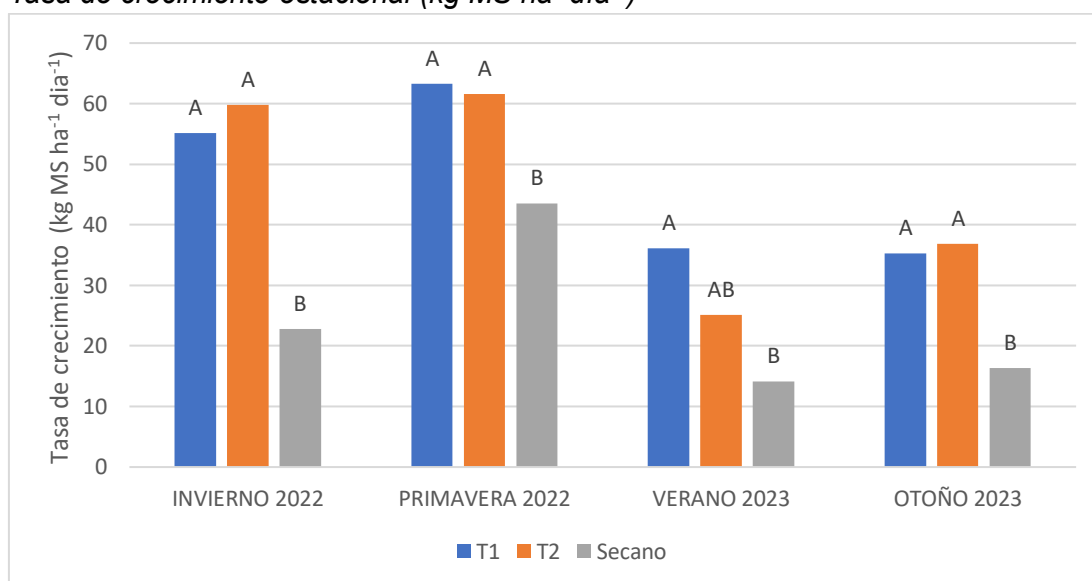
Nótese que el rendimiento bajo riego en invierno fue significativamente mayor con respecto al secano, a pesar de que no hubo riegos en esa estación, (como se verá más adelante en los diferentes balances hídricos de cada tratamiento). Debe recordarse que este es el tercer año de evaluación del ensayo bajo riego, por lo que seguramente haya un efecto heredado de los años anteriores, que también fueron particularmente secos.

4.2.1. Tasa de crecimiento estacional

De manera similar, las tasas de crecimiento tuvieron una respuesta positiva al riego en todas las estaciones, como puede observarse en la siguiente gráfica. Solamente en el riego espaciado (T2) en verano, no hubo una diferencia significativa con el tratamiento en secano, aunque si puede observarse que su valor fue mayor.

Por otra parte, no existen diferencias significativas en ninguna de las estaciones entre las tasas de crecimiento en festuca para el riego frecuente (T1) y el riego espaciado (T2).

Las tasas de crecimiento medidas en secano, concuerdan con las reportadas por García (2003) para festuca en su 3er año de crecimiento.

Figura 10.*Tasa de crecimiento estacional (kg MS ha⁻¹día⁻¹)*

Nota. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre medias de los tratamientos. Se realizaron por test de Fisher y se utilizó la corrección de Bonferroni.

Las tasas de crecimiento estacional medidas para festuca bajo riego fueron mayores a las reportadas por Gutiérrez y Correa (2021), seguramente porque en ese trabajo la evaluación se realizó sobre una festuca de 5to año.

4.2.2. Frecuencia de pastoreos

En la siguiente tabla se puede observar los días transcurridos entre los sucesivos pastoreos, así como la cantidad de pastoreos realizados para cada estación y tratamiento.

Tabla 2.*Frecuencia y número de pastoreos por estación*

	Días entre pastoreos			Número de pastoreos		
	T1	T2	Secano	T1	T2	Secano
Invierno 2022	35/68	33/67	103	2	2	1
Primavera 2022	42/47	45/46	55	2	2	1
Verano 2023	35/35	42/35	42	2	2	1
Otoño 2023	37/42	37/49	177	2	2	1
Total				8	8	4

Para el periodo analizado se realizaron 4 pastoreos totales en secano mientras que para los tratamientos con riego (T1 y T2) se realizaron 8.

También hay una diferencia importante entre los días de pastoreo a favor de los tratamientos con riego, en donde se puede observar que los días transcurridos entre cada pastoreo son sustancialmente menores.

Cabe mencionar que el tratamiento en secano, durante el periodo de evaluación, tuvo un único pastoreo en verano, al inicio de dicha estación. Luego el cultivo no produjo nada, aparentemente se secó, pero con las precipitaciones ocurridas en el otoño se recuperó y se hizo un último pastoreo el 31 de mayo de 2024 (último día considerado para la estación de otoño).

Figura 11.

Foto tomada con Drone del sitio experimental el 22/03/23

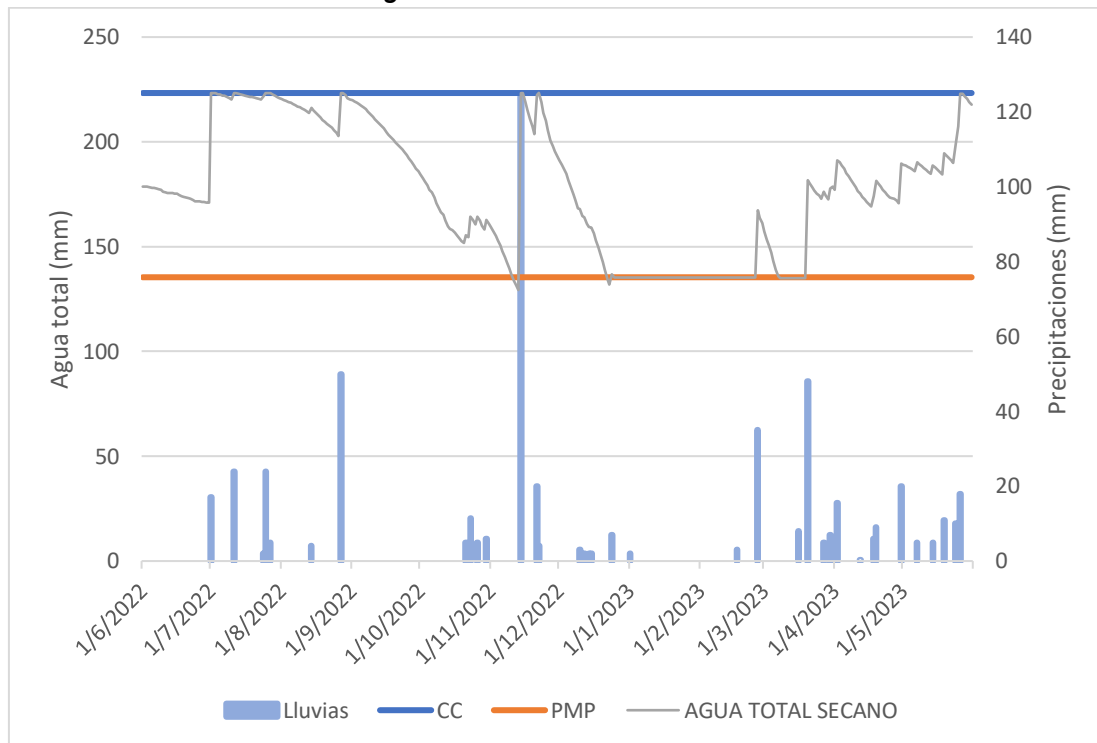


Nota. Tomada de Puppo (2023).

En la foto anterior tomada de la presentación de Puppo (2023) sobre principios de otoño, puede verse de manera elocuente el efecto de la falta de agua sobre el tratamiento en secano y su diferencia con los que tuvieron riego.

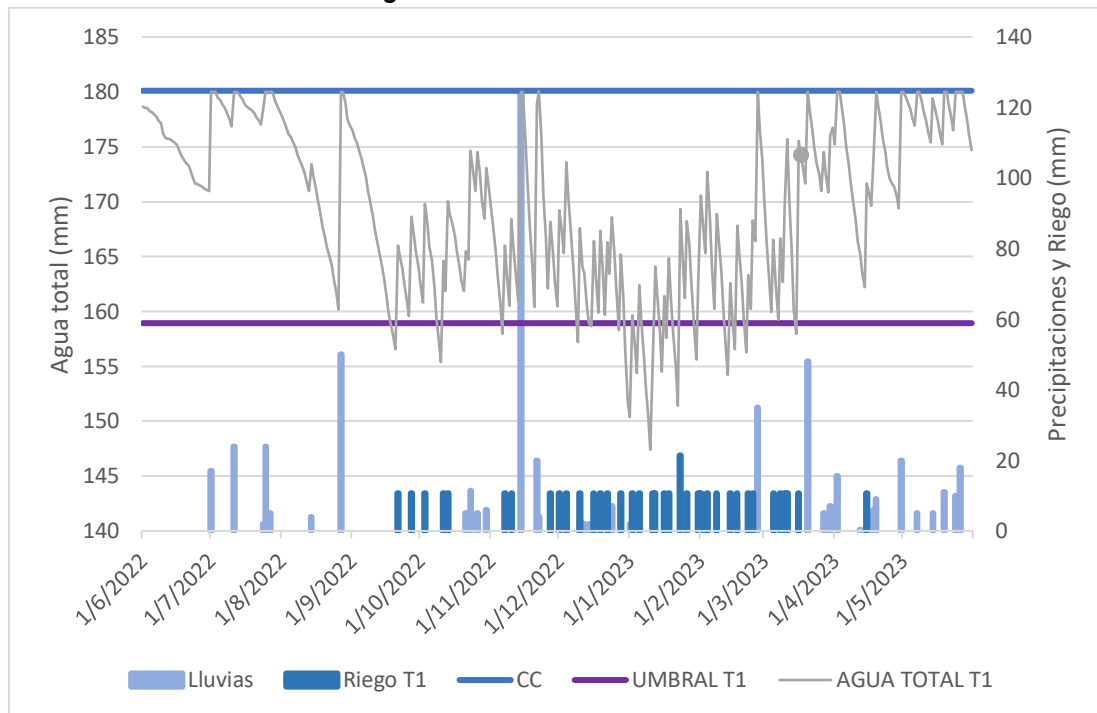
4.3. EVOLUCIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA EN EL SUELO

Se realizó un balance hídrico para cada tratamiento. En la siguiente gráfica se puede observar cómo fue la evolución del contenido de agua total en el suelo, durante el periodo 1/6/2022 al 31/5/2023 en el tratamiento en secano. Para el cálculo de este se consideró que las raíces exploraban 50 cm del suelo. Pueden observarse las condiciones extremas que ya fueron mencionadas, destacando que la pastura en secano estuvo más de 60 días continuos del verano en PMP. En todo el periodo estudiado puede verse solo un episodio de lluvia importante, que superó los 100 mm.

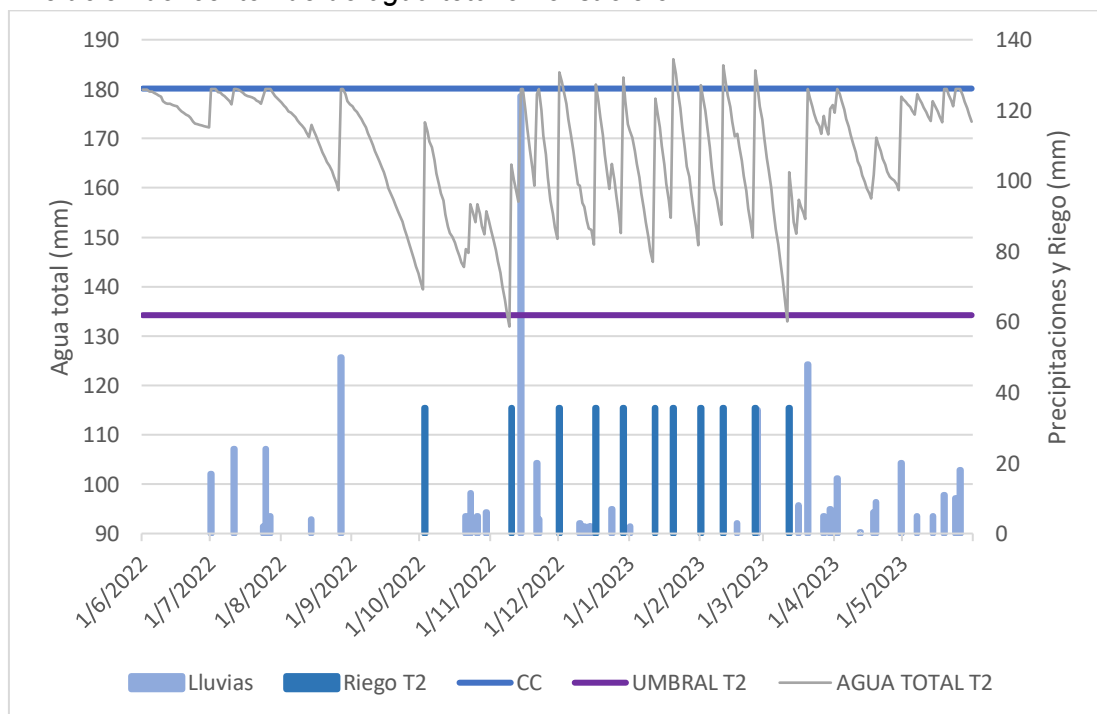
Figura 12.*Evolución del contenido de agua total en el suelo en seco*

Nota. Elaboración a partir de datos del balance hídrico de paso diario. Profundidad efectiva de 50 cm.

Del mismo modo, en la gráfica siguiente se muestra la evolución del agua total en el suelo en el tratamiento con riego frecuente (T1). Nótese que fue necesario empezar a regar desde el mes de setiembre y hasta principios del otoño para poder mantener la estrategia de regar una vez agotado el 30% del agua disponible. Por problemas operativos en algún breve periodo del verano el contenido de humedad estuvo por debajo del umbral definido.

Figura 13.*Evolución del contenido de agua total en el suelo en T1*

Nota. Elaboración a partir de datos del balance hídrico de paso diario. Profundidad efectiva de 40 cm.

Figura 14.*Evolución del contenido de agua total en el suelo en T2*

Nota. Elaboración a partir de datos del balance hídrico de paso diario. Profundidad efectiva de 40 cm.

En el riego espaciado (T2) se dejó agotar el 65% (46 mm) del agua disponible en los 40 cm de profundidad de las raíces absorbentes. En este tratamiento el agua se repuso con una lámina de riego de 36 mm.

El monitoreo del contenido de agua en el suelo a través del uso de la herramienta del balance hídrico permitió que los riegos elevaran la humedad del suelo prácticamente hasta CC sin sobrepasarlo, dejando un déficit de 10 mm, con el objetivo de aprovechar eventuales precipitaciones que podrían ocurrir luego del riego. Este manejo permite ahorrar agua de riego y energía empleada, al mismo tiempo que permite el pastoreo directo en condiciones de suelo “con piso” adecuado.

Tabla 3.

Precipitación (PP) total, efectiva, ETc y variación de humedad (mm) por estación

Estación	PP total (mm)	PP efectiva (mm)			ETc (mm)			Δ Humedad (mm)		
		T1	T2	Secano	T1	T2	Secano	T1	T2	Secano
Invierno 2022	126	45	48	48	48	50	50	-3	-2	-2
Primavera 2022	175	70	81	129	179	193	165	-15	-41	-35
Verano 2023	56	38	33	56	281	278	64	15	41	-5
Otoño 2023	181	89	103	117	154	138	77	3	4	41
Total	538	242	265	350	662	660	356			

Al observar las precipitaciones efectivas de la tabla anterior, se puede ver como el tratamiento riego espaciado logro captar algo más de las precipitaciones totales ocurridas en el año en comparación con el tratamiento riego frecuente.

La variación de humedad en el suelo (ΔH) entre el comienzo y el fin de cada estación, sumado a las precipitaciones efectivas y el riego (en el caso de T1 y T2), fueron utilizados para el cálculo del agua total consumida.

Tabla 4.

Nro. de riegos, cantidad de riego (mm) y agua total consumida (mm) por estación

Estación	Riegos por estación		Riego (mm)		Agua total consumida (mm)		
	T1	T2	T1	T2	T1	T2	Secano
Invierno 2022	0	0	0	0	41	46	45
Primavera 2022	8	2	86	71	141	111	94
Verano 2023	23	8	257	285	310	359	51
Otoño 2023	6	1	64	36	157	142	158
Total	37	11	407	392	649	659	349

Según se puede observar en la tabla anterior, construida a partir del balance hídrico de cada tratamiento, el agua total consumida y el riego aplicado, termino siendo muy similar en el riego frecuente y el espaciado. Pero la cantidad de veces que se tuvo que regar en T1 fue más de tres veces en comparación con T2, con las implicancias desde el punto de vista operativo y de costo energético que esto puede traer aparejado. Esto implica que, en las condiciones particulares del año evaluado aproximadamente se tuvo que regar 1 de cada 3 días en verano para T1 y 1 de cada 8 días para T2.

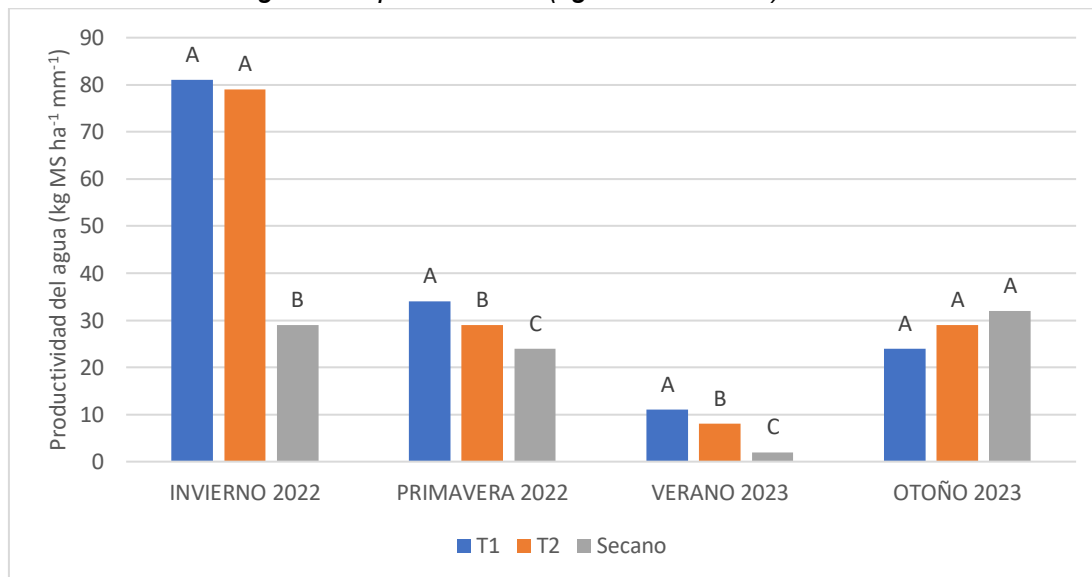
Nótese que el consumo de agua total del año entre los tratamientos regados y el secano guarda prácticamente una relación de 2:1, al igual que lo hace producción anual descripta anteriormente.

4.4. PRODUCTIVIDAD DEL AGUA

En la siguiente grafica se presenta la productividad del agua total en $\text{kg MS ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ para cada tratamiento y cada estación.

Figura 15.

Productividad del agua total por estación ($\text{kg MS ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$)



En otoño no existieron diferencias significativas en la productividad del agua entre los diferentes tratamientos. En invierno existió una mayor productividad del agua de los tratamientos con riego en comparación con el de secano. Por otra parte, tanto en primavera como en verano se observan diferencias significativas en el uso del agua, a favor de riego frecuente (T1) en comparación con el espaciado (T2) y de este último en favor del tratamiento en secano.

Por otra parte, la respuesta en producción anual al agua de riego para T1 y T2 fue de 18.7 y 18.1 kg MS mm^{-1} regado. Estos valores son mayores a los reportados por Giorello (2012) y Arana et al. (2000). Como ya fue mencionado la respuesta suele ser mayor en situaciones donde el déficit de agua es muy grande, por eso es lógico que los niveles de respuesta concuerden con los niveles de respuesta máximos descritos por Formoso (2010).

5. CONCLUSIONES

La incorporación del riego en pasturas de festuca bajo pastoreo, se justifica en tanto se obtuvo el doble de producción que en secano.

El riego frecuente generó un mayor rendimiento de MS en verano y una mayor productividad del agua en primavera y verano. Lo cual podría indicar que en años particularmente secos esta sería la mejor estrategia.

El agua total consumida y el agua de riego utilizada en el total del año de estudio fueron prácticamente iguales con el riego espaciado. Por lo que la utilización de umbrales de riego mayores, en el entorno del 65% de agotamiento, parecen ser mejor que los que dejan agotar solo el 30%. En tanto que no hubo diferencias en la producción de MS anual y es más sencillo de implementar desde un punto de vista operativo.

Debe ponderarse el hecho que estos resultados son obtenidos en el año más extremo de los últimos 30 de la serie histórica y se está analizando los resultados de solo un año de producción y no todo el ciclo de la pastura.

Para llegar a conclusiones definitivas, se debería complementar el análisis con datos de calidad de pastura, efecto sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo, conversión animal y análisis económico.

6. BIBLIOGRAFIA

- Aguirre, E. (2018). Evolución reciente de la productividad ganadera en Uruguay (2010-17): Metodología y primeros resultados. En *Anuario OPYPA 2018* (pp. 457-470). MGAP. <https://descargas.mgap.gub.uy/OPYPA/Anuarios/Anuario%202018/ANUARIO%20OPYPA%202018%20WEB%20con%20v%C3%ADnculo.pdf>
- Aguirre, S., Irazabal, N., & Otegui, I. (2013). *Evaluación de la respuesta a riego suplementario de Festuca arundinacea, Paspalum dilatatum, y Pennisetum purpureum cv Mott durante el periodo estival* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/8736/1/3930agu.pdf>
- Alencar, C. A. B. de, Oliveira, R. A. de, Martins, C. E., Cóser, A. C., Figueiredo, J. L. A., & Cunha, F. F. da. (2009). Lâminas de irrigação e estações anuais na cobertura do solo e altura de gramíneas cultivadas sob corte. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 31(3), 467-472. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v31i3.381>
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. FAO. <https://www.fao.org/4/x0490s/x0490s00.htm>
- Arana, S., Piñeiro, G., García, J., & Santiñaque, F. (2000). Riego y manejo en la productividad de pasturas con trébol blanco. En *Jornada de Trébol Blanco* (pp. 5-12). INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/16565/1/UY-INIA-2000-SAD-n-241-Jornada-Tebol-Blanco.pdf>
- Arce, M., Fernández, P., & Riccetto, A. (2013). *Respuesta estival de Festuca arundinacea, Paspalum dilatatum, Paspalum Notatum y Pennisetum purpureum cv Mott al riego suplementario* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/1721/1/3849arc.pdf>
- Asay, K. H., Jensen, K. B., & Waldron, B. L. (2001). Responses of tall fescue cultivars to an irrigation gradient. *Crop Science*, 41(2), 350-357. <https://doi.org/10.2135/cropsci2001.412350x>
- Asuaga, A. (2020). Hablemos de Festuca: Calidad y cantidad dependen del manejo. *Revista del Plan Agropecuario*, (173), 60-61. https://www.planagropecuario.org.uy/uploads/magazines/articles/188_2917.pdf
- Ayala, W., Bemhaja, M., Cotro, B., Docanto, J., García, J., Olmos, F., Real, D., Rebuffo, M., Reyno, M., Rossi, C., & Silva, J. (2010). *Forrajeras: Catálogo de Cultivares 2010*. INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/3217/1/Catalogo-de-cultivares.Forrajeras.18429300810155513.pdf>
- Boggiano, P., Zanoniani, R., Cadenazzi, M., Giménez, L., Formoso, D., Aguirre, S., Irazabal, N., Otegui, I., Arce, M., Fernandez, P., & Ricceto, S. (2014). Evaluación de la respuesta al riego suplementario de gramíneas perennes durante el periodo estival. En Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Riego suplementario en cultivos y pasturas* (pp. 29-44). INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/3598/1/fpta-55-2014.pdf>

- Bourdin, M., Franco, J., & Burgos, M. (2015). *Respuesta física al riego suplementario y desarrollo de tecnologías de riego por melgas en pasturas artificiales* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Cámara, G., Cazzuli, F., Arbeletche, P., & De Hegedus, P. O. (2019). Los productores ganaderos que adoptan riego: Análisis del cambio técnico. *Agrociencia (Uruguay)*, 23(2), Artículo e82. <https://doi.org/10.31285/agro.23.82>
- Carámbula, M. (1997). *Pasturas naturales mejoradas*. Hemisferio Sur.
- Carámbula, M. (1998). *Producción y manejo de pasturas sembradas*. Hemisferio Sur.
- Carámbula, M. (2002). *Pasturas y forrajes: Tomo I. Potenciales y alternativas para producir forraje*. Hemisferio Sur.
- Castro, M., Pereyra, S., Silva, P., Morales, X., García, R., & Cardozo, V. (2024). Festuca (Festuca arundinacea Schreb.). En Evaluación de cultivares (Ed.), *Resultados experimentales de la evaluación nacional de cultivares de especies forrajeras: Anuales, bianuales y perennes: Período 2023* (pp. 37-48). INASE; INIA. <https://v.calameo.com/?bkcode=002993183799738c87c92>
- Cortelezzi, Á., Rava, C., Gutiérrez Silva, S., Mila, F., Gorga, L., Laguna, H., Barboza, N., & Ackermann, M. N. (2023). Impactos del déficit hídrico 2022-2023 en la producción agropecuaria. En *Anuario OPYPA 2023* (pp. 1-12). MGAP. <https://descargas.mgap.gub.uy/OPYPA/Anuarios/Anuarioopypa2023/estudios/1/e1web/1ElImpactos.pdf>
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. (2000). *Cálculo de la humedad del suelo por tacto y apariencia*. <https://nrcspad.sc.egov.usda.gov/distributioncenter/pdf.aspx?productID=258>
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. (2014). *Claves para la taxonomía de suelos* (12ª ed.). <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Spanish-Keys-to-Soil-Taxonomy.pdf>
- Díaz, L. D. (2018). *Eficiencia del uso del agua de pasturas consociadas dominadas por festuca alta (Festuca arundinacea Schreb) bajo dos sistemas contrastantes de pastoreo ovino en el valle inferior del río Chubut* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Cuyo]. INTA Digital. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/5886>
- Durán, A. (Coord.). (1976). *Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay*. MAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-02/Carta%20de%20Reconocimiento%20de%20Suelos%20del%20Uruguay%201.1.000.000_0.pdf
- Finozzi, G., Garcia, C., & De Brum, F. (2023). Proyecto regando la ganadería del norte. *Revista INIA*, (73), 13-17. <https://www.inia.uy/sites/default/files/publications/2024-10/Revista-INIA-73-junio-2023.pdf>

- Formoso, D., & Norbis, H. (2014). El riego de pasturas en la producción animal. En L. Giménez, L. Puppo, L. Bentancor, R. Hayashi, J. Sawchik, & C. García (Eds.), *Riego en cultivos y pasturas: 3er seminario internacional de riego* (pp. 96-109). INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4496/1/Riego-en-cultivos-y-pasturas-2014.pdf>
- Formoso, F. (2010). *Festuca arundinacea, manejo para producción de forraje y semillas*. INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2529/4/18429081210150440.pdf>
- García, J. (2003). *Crecimiento y calidad de gramíneas forrajeras en La Estanzuela*. INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2878/1/15630191107142500.pdf>
- García Petillo, M. (2012). Conceptos básicos para el diseño y el manejo del riego. En Grupo de Desarrollo de Riego (Ed.), *Riego en cultivos y pasturas: 2do seminario internacional* (pp. 23-32). INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/1807/1/18429080413094411.pdf>
- García Petillo, M., Puppo, M., Hayashi, L., & Morales, R. (2012). *Metodología para determinar los parámetros hídricos de un suelo a campo*. https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/285299/mod_folder/content/0/FAGRO_Metodologia%20para%20determinar%20los%20parametros%20hidricos%20de%200%20un%20suelo%20a%20campo.pdf?forcedownload=1
- Gibson, D., & Newman, J. (2001). *Festuca arundinacea* Schreber (F. elatior L. ssp. arundinacea (Schreber) Hackel). *Journal of Ecology*, 89(2), 304-324. <https://www.jstor.org/stable/3072204>
- Giorello, D. (2012, 31 de enero). *Riego en Pasturas*. Jornada de divulgación sobre riego en soja y pasturas, Salto. https://www.inia.org.uy/estaciones/salto_grande/actividades/2012/ForrajerasGiorello.pdf
- Giorello, D. (2014, 28 de enero). *Riego en sorgo forrajero y pasturas*. III Jornada de Riego, Salto. https://www.inia.org.uy/estaciones/salto_grande/actividades/2014/Diego%20Giorello.pdf
- Giorello, D., Jaurena, M., Boggiano, P., & Perez Gomae, E. (2012). Respuesta al riego suplementario en pasturas y forrajes. En Grupo de Desarrollo de Riego (Ed.), *Riego en cultivos y pasturas: 2do seminario internacional* (pp. 43-54). INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/1807/1/18429080413094411.pdf>
- Google. (2024). [Centro Regional Sur, Progreso, Canelones, Uruguay. Mapa]. Recuperado el 13 de diciembre de 2024, de <https://maps.app.goo.gl/DkmyT4RhZU2Ksdf57>
- Gutiérrez, S., & Correa, L. (2021). *Evaluación estacional de Festuca arundinacea, Lotus pedunculatus, Paspalum dilatatum y Pasapalum notatum bajo riego suplementario* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/31846/1/Guti%c3%a9rrezSantiago.pdf>

- Hayashi, R., & Dogliotti, S. (2021). Productividad del agua en maíz, con diferentes niveles de riego deficitario en clima húmedo. *Agrociencia Uruguay*, 25(1), Artículo e390. <https://doi.org/10.31285/AGRO.25.390>
- Haydock, K., & Shaw, N. (1975). Correction: The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, 15(76), 663-670. <https://doi.org/10.1071/EA9750663c>
- Hodgson, J. (1990). *Grazing management: Science into practice*. Longman Scientific & Technical.
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (s.f.). *Banco de datos agroclimáticos*. Recuperado 28 de setiembre de 2024, de <http://www.inia.uy/gras/Clima/Banco-datos-agroclimatico>
- Jensen, K., Asay, K., & Waldron, B. (2001). Dry matter production of orchardgrass and perennial ryegrass at five irrigation levels. *Crop Science*, 41(2), 479-487. <https://doi.org/10.2135/cropsci2001.412479x>
- Langer, R. H. M. (1981). *Las pasturas y sus plantas*. Hemisferio Sur.
- López Díaz, J. E. (2009). *Estudio de los recursos fitogenéticos del complejo Festuca-Lolium* [Disertación doctoral, Universidad Santiago de Compostela]. Minerva. <https://minerva.usc.es/entities/publication/c29c820f-61fb-4785-bf06-ef5359dfa921>
- Mansfield, C., Mislevy, P., & Hammond, L. (1990). Yield and nutritive value of forages grown under irrigated and nonirrigated conditions. *Tropical Grasslands*, 24, 55-60. https://www.tropicalgrasslands.info/public/journals/4/Historic/Tropical%20Grasslands%20Journal%20archive/PDFs/Vol_24_1990/Vol_24_01_90_pp55_60.pdf
- Marchelli, J., Formoso, D., García, C., & Otero, A. (2022). El desafío de regar pasturas en Uruguay. *Revista INIA*, (70), 39-42. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/16791/1/Revista-INIA-70-setiembre-2022-11.pdf>
- Martin, E., & Muñoz, C. (Trad.) (2017). Métodos para medir la humedad del suelo para la programación del riego ¿Cuándo? *University of Arizona*. <http://hdl.handle.net/10150/625275>
- Martin, R., Knight, T., Gillespie, R., Riddle, M., & Fraser, T. (2020). Growth and water use of perennial ryegrass and tall fescue under different irrigation treatments. En Organizing Committee of 2008 IGC/IRC Conference (Ed.), *The XXI International Grassland Congress / VIII International Rangeland Congress* (p. 835). UKnowledge. <https://uknowledge.uky.edu/igc/21/7-1/18>
- Mas, C. (2004). Algunos resultados de riego en pasturas del este. En INIA Tacuarembó (Ed.), *Clima y respuesta hídrica de pasturas en zonas ganaderas* (pp. 31-45). INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/390/1/111219220807100644.pdf>

- Mattera, J., Introna, J., Yañez, M., Lavarello Herbin, A., Barletta, P., & Gallo, S. (2023). Fertilización nitrogenada y régimen hídrico sobre la producción de forraje en festuca alta: Segundo año. *Revista Argentina de Producción Animal*, (supl. 1), 152. https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/16822/1/NTA_CRBsAsNorte_EEAPergamino_Mattera_Juan_Fertilizaci%C3%B3n_nitrogenada_y_regimen_h%C3%ADrico_sobre_la_producci%C3%B3n_de_forraje_PONENCIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Montossi, F., Cazzuli, F., & Ciganda, V. (2019). Conectando y alineando a los productores de alimentos con los consumidores: El caso de la ganadería uruguaya. *Revista INIA*, (59), 15-20. <https://inia.uy/conectando-y-alineando-los-productores-de-alimentos-con-los-consumidoresel-caso-de-la-ganaderia>
- Neal, J. S., Fulkerson, W. J., & Sutton, B. G. (2010). Differences in water-use efficiency among perennial forages used by the dairy industry under optimum and deficit irrigation. *Irrigation Science*, 29, 213-232. <https://doi.org/10.1007/s00271-010-0229-1>
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2011). *Censo General Agropecuario 2011: Resultados definitivos*. MGAP. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/datos-y-estadisticas/estadisticas/censo-general-agropecuario-2011>
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2023). *Anuario estadístico agropecuario 2023*. MGAP. <https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2023/ANUARIO02023WEB.pdf>
- Olmos, F. (2004). Impacto del estrés hídrico en plantas de trébol blanco. En INIA Tacuarembó (Ed.), *Clima y respuesta hídrica de pasturas en zonas ganaderas* (pp. 10-22). <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/390/1/111219220807100644.pdf>
- Orloff, S., Brummer, C., & Putnam, D. (2018). *Consejos sobre la sequía: El manejo de pastizales de riego durante la sequía*. Universidad de California. <https://anrcatalog.ucanr.edu/pdf/8537s.pdf>
- Otero, Á., Montoya, F., & García, C. (2017). *Programación del riego*. INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7329/1/st-232-2017.pdf>
- Peralta, J. M., & Simpfendorfer, C. (2001). *Riego por aspersión*. INIA. <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/0340e3be-f94f-4fc1-92d2-e143055740ba/content>
- Perrachon, J. (2020). ¿Qué gramínea perenne es mejor para Uruguay, Dactylis o Festuca? *Revista Plan Agropecuario*, (173), 54-57. https://www.planagropecuario.org.uy/uploads/magazines/articles/188_2915.pdf
- Pizarro, F. (1990). *Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF): Goteo, microaspersión, exudación* (2ª ed.). Mundi Prensa.
- Puppo, L. (2023). *Riego suplementario en pasturas, hacia una intensificación sostenible en sistemas productivos con pastoreo*. Expo Melilla 2023, Montevideo. <https://redi.anii.org.uy/jspui/handle/20.500.12381/3397>

- Puppo, L., & Hayashi, R. (2023). Supplementary irrigation in grazing: Towards sustainable intensification in productive systems with grazing. *Agrociencia Uruguay*, 27, Artículo e390. <https://doi.org/10.31285/AGRO.27.1205>
- Rimieri, P. (2021). Contribution of the genetic improvement of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) in Argentina: Synthesis of achievement and advances. *Journal of Basic and Applied Genetics*, 32(2), 9-13. <https://doi.org/10.35407/bag.2021.32.02.01>
- Rosengurtt, B., Arrillaga de Maffei, B., & Izaguirre de Artucio, P. (1970). *Gramíneas uruguayas*. Universidad de la República.
- Rovira, J. (1996). *Manejo nutritivo de los rodeos de cría en pastoreo*. Hemisferio Sur.
- Sawchik, J., & Formoso, F. (2000). Inserción del riego en rotaciones de cultivos y pasturas. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Jornada de Cultivos de Verano La Estanzuela: Tecnología de producción de cultivos y pasturas bajo riego* (pp. 13-25). <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/12277/1/UY.INIA.SAD.2000.n.227.p.13-25-Sawchik.pdf>
- Silva, A., Ponce de León, J., García, F., & Durán, A. (1988). *Aspectos metodológicos en la determinación de la capacidad de retener agua de los suelos del Uruguay*. Universidad de la República. <https://es.scribd.com/document/589717766/Silva-1988>
- Simões, N., Maçãs, I., Carneiro, J., & Tavares-De-Sousa, M. (2008). Water use efficiency in grass species *Dactylis glomerata* and *Festuca arundinacea*. *Options Méditerranéennes, Series A*, 79, 349-352. <http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=800676>
- Smeal, D., O'Neill, M. K., & Arnold, R. N. (2005). Forage production of cool season pasture grasses as related to irrigation. *Agricultural Water Management*, 76(3), 224-236. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.01.014>
- Tarjuelo, J. M. (2005). *El riego por aspersión y su tecnología*. Mundi Prensa.
- Uruguay XXI. (2023). *Informe anual comercio exterior 2023*. <https://www.uruguayxxi.gub.uy/uploads/informacion/3fda643c80b4c3ca697cba33a4b1a26cdcc12af5.pdf>
- Vallentine, J. (1990). *Grazing Management*. Academic Press. <https://www.sciencedirect.com/book/9780127100005/grazing-management#book-description>