



Riego suplementario en pasturas, hacia una intensificación sostenible en sistemas productivos con pastoreo



FACULTAD DE
AGRONOMÍA



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY



AGENCIA NACIONAL
DE INVESTIGACIÓN
E INNOVACIÓN

Unidad de Hidrología-Centro Regional Sur
Facultad de Agronomía (Udelar)
Institución co-participante INIA-Las Brujas

Expo-Melilla, 14 de abril de 2023



Consideraciones previas

Las crisis forrajeras ligadas a las sequías son cada vez más frecuentes, potenciadas por la baja capacidad de almacenamiento de agua disponible de nuestros suelos.

El cambio climático ha aumentado la ocurrencia de los eventos extremos. El periodo primavera 2022- verano 2023 ha sido calificado como el más extremo, en el déficit hídrico, de los últimos 50 años.

Teniendo en cuenta que el **agua es la principal limitante ambiental en la producción agropecuaria**, la Unidad de Hidrología, del Departamento de Suelos y Aguas, de la Facultad de Agronomía inició en el 2020 la línea de investigación de Riego en Pasturas.



Uno de los objetivos es:

Definir un manejo del riego en pasturas que permita un rendimiento de MS diferencial en la doble condición de riego y pastoreo, con un mayor aprovechamiento de las precipitaciones, evaluando la persistencia de las pasturas y las propiedades físicas del suelo.



Tratamientos (3 tratamientos, 4 repeticiones). Se están evaluando en alfalfa y festuca.

T1: Riego frecuente,
se riega cuando se agota el 30% del agua disponible

T2: Riego espaciado,
se riega cuando se agota el 65% del agua disponible

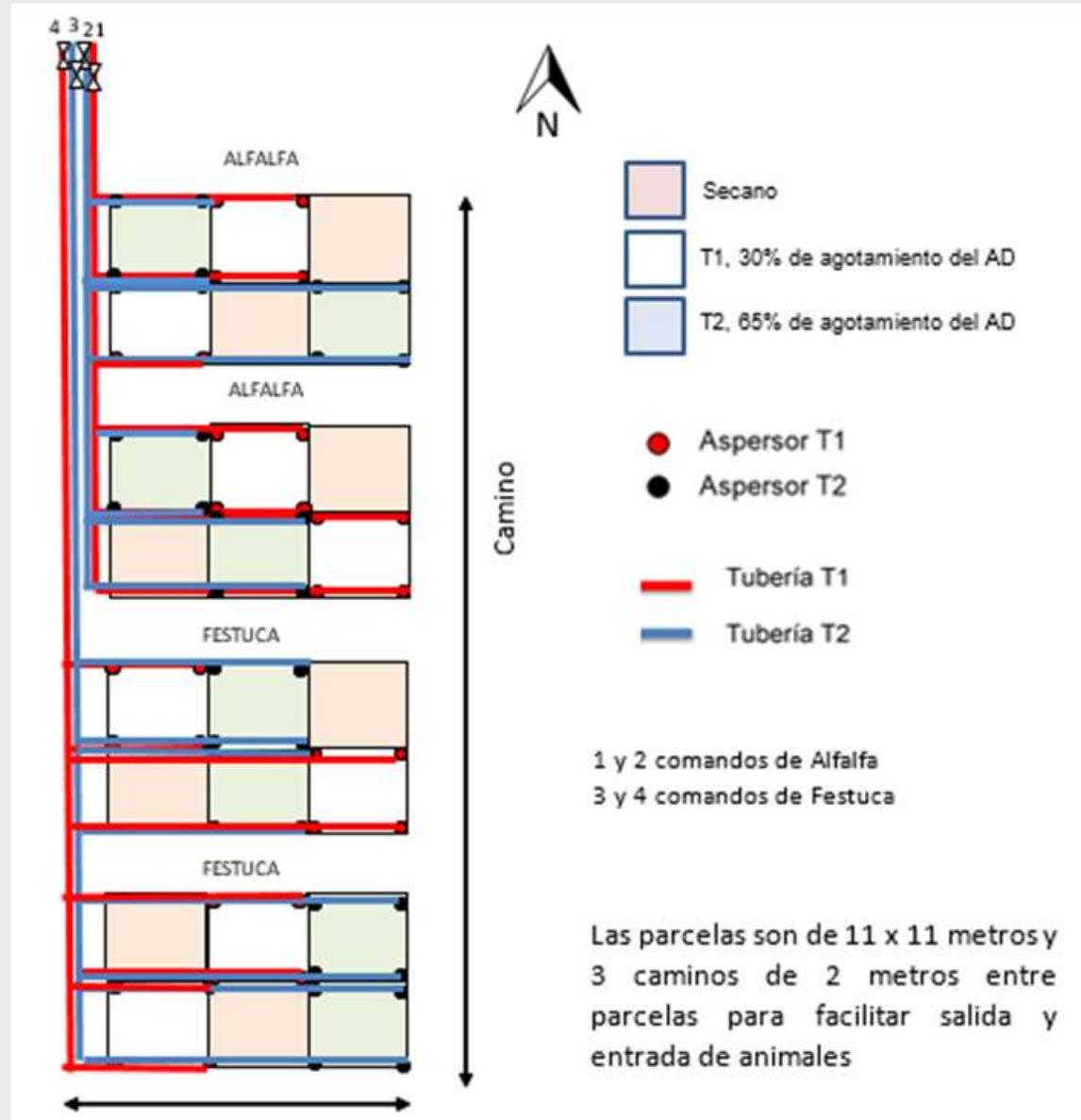
T3: Secano
recibe solo el agua de lluvia

Momentos de riego:

Déficit acumulado = Agua disponible mm x umbral de c/tratamiento

$$D_{\text{acum}} = D_{i-1} + ET_{\text{est}} - R_i - P_{p_{\text{ef}}}$$

Siendo: D_{i-1} = déficit del día anterior; ET_{est} =evapotranspiración estimada de la pastura; R_i = riego del día anterior; PP_{ef} = precipitación hasta CC



Croquis de los experimentos parcelarios

El riego se aplica con un equipo de aspersión fijo, con 4 aspersores sectoriales por parcela, ajustados a 90° , ubicados en las esquinas.

Se permite la entrada de animales para que el suelo esté sometido al efecto del pisoteo.



Festuca Aurora

Siembra: 2/8/2020

Densidad: 20kg/ha

Fertilización a la siembra: 150kg de 18-46

Urea post pastoreo: 70kg/ha

Refertilización otoño (P): análisis de suelo y reposición hasta nivel crítico

Momento de pastoreo: 2,5 hojas



Alfalfa Chaná

Siembra: 21/4/2020

Densidad: 20kg/ha

Fertilización a la siembra: 150kg de 18-46.

Refertilización otoño (P): análisis de suelo y reposición hasta nivel crítico

Momento de pastoreo: 8-9 nudos.

Primavera (10% floración u 8-9 nudos)

*En ambos experimentos el cultivo antecesor fue una pradera de achicoria (*Cichorium intybus*)*

A photograph of a lush green alfalfa field. In the foreground, a black irrigation emitter is visible, with a clear plastic tube extending from it. The field is filled with dense, green alfalfa plants, some of which have small purple flowers. In the background, a black and white cow is visible behind a fence. The sky is blue with scattered white clouds. The overall scene depicts a well-maintained agricultural field.

Trabajo final de maestría de Ana Elhordoy (Alfalfa 2020-2022)



Balances hídricos para programar los riegos

Fecha	ETo LB mm d ⁻¹	Luego del corte el Kc=0,4		Lluvias mm	T1 se deja agotar 22 mm, se reponen 11 mm		Umbral FAO corregido	Agua fácilmente disponible mm	T2 se deja agotar 48 mm, se reponen 36 mm				
		KcT1	ETc mm d ⁻¹		Déficit acumulado T1 mm	Riego T1 mm			KcT2	Ks	ETc T2 mm d-1	Déficit acumulado T2 mm	Riego T2 mm
23/10/2021	2	0,69	1,37		21,5	10,7	0,65	45,93	0,56	1	1,12	27,43	0
24/10/2021	4,5	0,7	3,16		13,96	0	0,57	40,84	0,58	1	2,59	30,03	0
25/10/2021	4,5	0,72	3,23		17,19	0	0,57	40,65	0,59	1	2,67	32,69	0
26/10/2021	4,6	0,73	3,37		20,56	0	0,57	40,24	0,61	1	2,81	35,5	0
27/10/2021	4,8	0,75	3,59		24,15	10,7	0,56	39,62	0,63	1	3,02	38,52	0
28/10/2021	4,9	0,76	3,74		17,19	0	0,55	39,2	0,65	1	3,17	41,69	0
29/10/2021	5,3	0,78	4,12		21,31	10,7	0,54	38,1	0,66	0,89	3,14	44,82	0
30/10/2021	4,5	0,79	3,57		14,18	0	0,56	39,68	0,68	0,84	2,56	47,39	0
31/10/2021	2,8	0,81	2,26		16,44	0	0,61	43,4	0,7	0,86	1,68	49,06	0
1/11/2021	2,1	0,82	1,73		18,17	0	0,63	44,92	0,72	0,84	1,27	50,33	35,6
2/11/2021	2,2	0,84	1,84	5	15,01	0	0,63	44,59	0,73	0,78	1,27	10,99	0
3/11/2021	2,5	0,85	2,13		17,15	10,7	0,61	43,76	0,75	1	1,88	12,87	0

Se verifica con medidas de humedad mediante sonda FDR



Mediciones de humedad

Se instalaron tubos de acceso para la sonda FDR, medir humedad previo a cada riego.



Evaluación de la MS disponible

Previo a cada pastoreo:

Se definen 3 niveles de producción en función del volumen, se cosechan 3 repeticiones de cada nivel.

Tamaño de muestra: cuadros de 30 x 30 cm.

Se monitorea cada parcela categorizando la producción de acuerdo a los 3 niveles preestablecidos. Se recorre totalmente la parcela, presentando el cuadro 15 veces (Haydock y Shaw, 1975).

Luego se determina el rendimiento por estación, teniendo en cuenta las tasas de crecimiento entre pastoreos.





Dos animales de 600-700kg por parcela hasta un remanente igual o mayor a 5 cm .



Luego de cada
pastoreo se
realiza un corte de
homogeneización
a 5 cm



Otras mediciones



Estacional: muestra compuesta para calidad de pasturas (proteína, FDN, FDA, cenizas, MS a 105°C). Relación tallo/hoja.

Anual en el suelo: MO, DA, penetrabilidad.

Anual en la pastura: persistencia (n° de macollos/m² o n° de plantas/m²).



Resultados preliminares

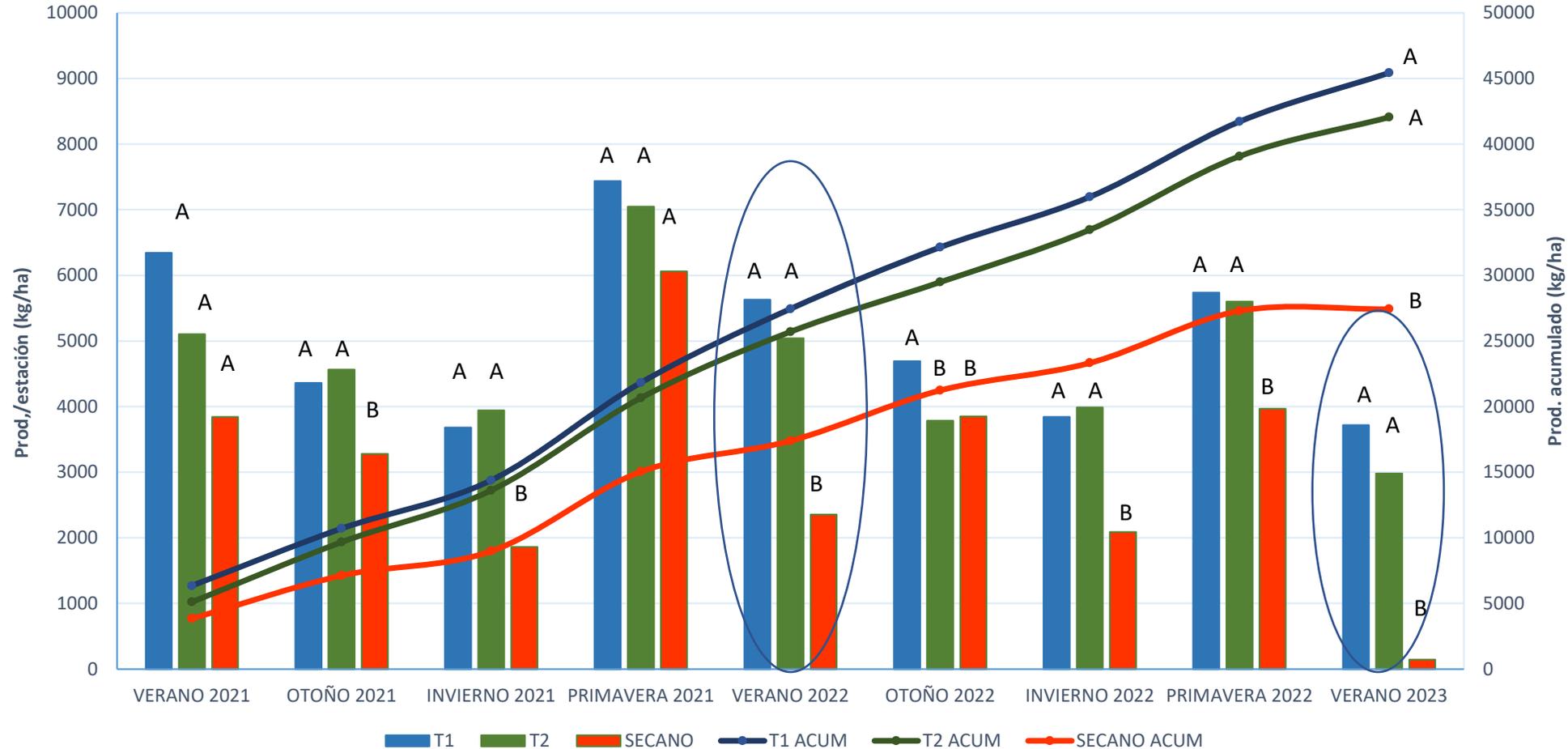
A tener en cuenta:

- Los tratamientos de riego comenzaron en nov-2020.
- Se completaron dos años de evaluación a fin de nov-2022.
- Se incluyen los resultados del verano 2023.



Productividad de festuca en kg MS/ha

Festuca. Productividad por estación y acumulado por ha.



Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)



Productividad anual (Kg MS.ha⁻¹) y Riego neto aplicado (mm)

Festuca	1er año (2021)			2do año (2022)			3er verano		
	Productividad		Riego (mm)	Productividad		Riego (mm)	Productividad		Riego (mm)
T1	21819	A	248	19900	A	246	3717	A	256*
T2	20659	A	179	18413	A	178	2980	A	285
Secano	15039		B	12256		B	142		B

*Problemas operativos causaron menor número de riegos en este tratamiento (riego frecuente)

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Los tratamientos regados rindieron un 41% más que el secano.

Los tratamientos regados rindieron un 56% más que el secano.

Con el manejo de riego espaciado (T2) se ahorró un 38-39% de riego.

Verano 2023 (con muy pocas lluvias), los mm de riego en ambos tratamientos deberían haber sido similares.



N° de riegos y n° de pastoreos por tratamiento en festuca

FESTUCA	N° de riegos por estación		Días entre pastoreo y n° pastoreos totales		
	T1	T2	T1	T2	Secano
Verano 2021	16	4	18 / 44	18 / 44	32 / 59
Otoño 2021	4	1	40 / 43	39 / 45	60
Invierno 2021	0	0	48 / 59	48 / 59	125
Primavera 2021	7	2	47 / 50	47 / 50	30 / 48
Verano 2022	14	3	54 / 43	54 / 41	93
Otoño 2022	1	0	48 / 52	50 / 52	55 / 43
Invierno 2022	0	0	35 / 68	33 / 67	103
Primavera 2022	8	2	42 / 47	45 / 46	55
Verano 2023	22	8	35 / 35	42 / 35	42
Total	72	20	18	18	12

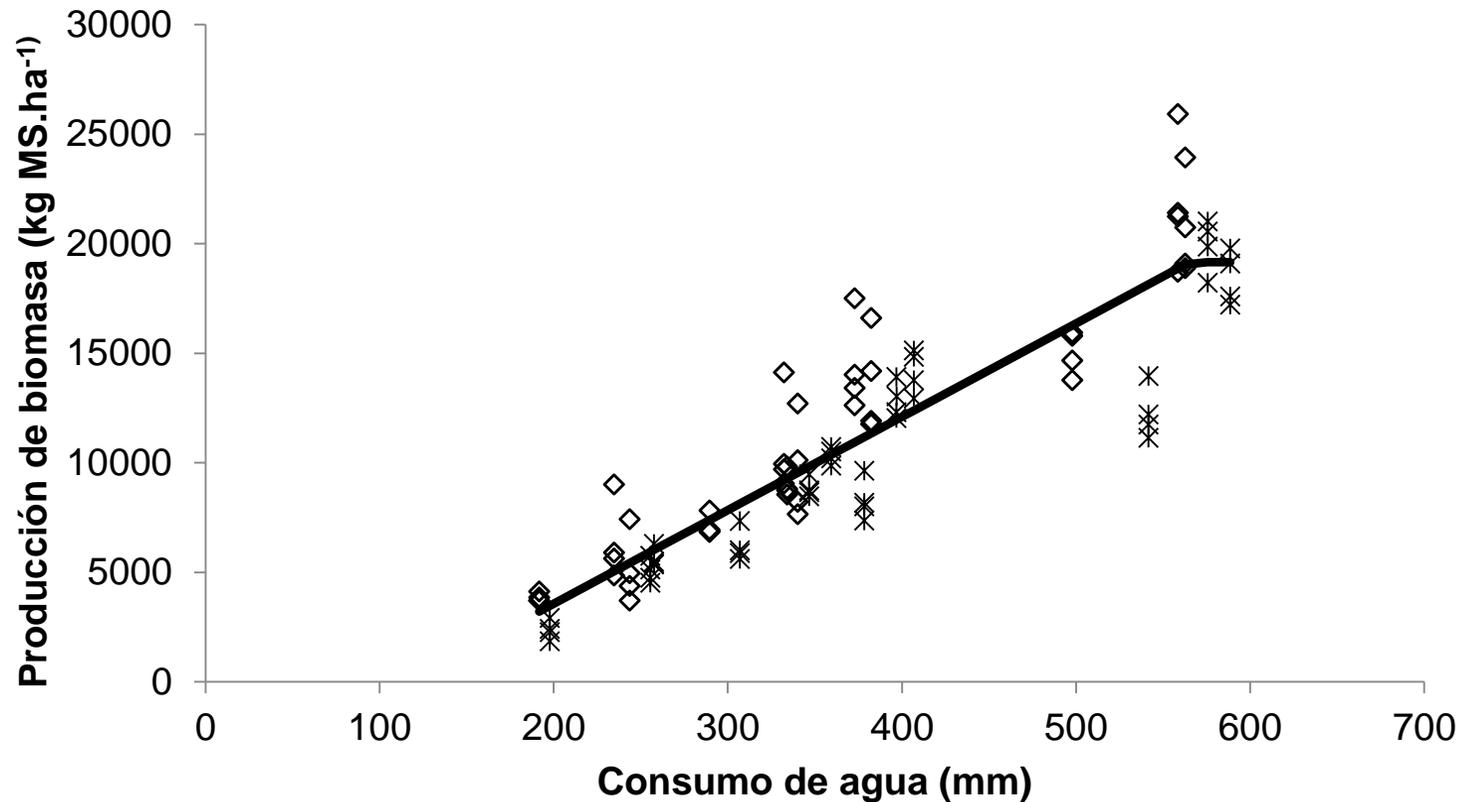
El riego espaciado (T2) tuvo un mayor aprovechamiento de la lluvia, menos mm aplicados y menor número de riegos

En dos años más un verano, los tratamientos regados tuvieron 6 pastoreos más.



Relación entre biomasa producida y agua consumida total anual (kg MS/ha/mm)

Festuca. Función agua-productividad



Por cada mm de agua (riego neto+precipitación efectiva) hubo un aumento de 43 kg de MS/ha.

A partir de 565 mm no habría aumento en la productividad con un máximo de 19 t/ha.

El agua explicó el 83% de la variación en la productividad de MS/ha.

Ensayo de Riegos parcelarios en Festuca

Fecha: 22 de marzo 2023



Secano

T1: Riego frecuente

T2: Riego espaciado

T2: Riego espaciado

T2: Riego espaciado

T2: Riego espaciado

T1: Riego frecuente

Secano

T1: Riego frecuente

T1: Riego frecuente

Secano

Secano

Foto: Juan Manuel Pérez del Castillo, Iñaki Artola



Parcela de secano adelante y parcela de riego frecuente atrás.
Fecha: 31 de marzo de 2023 (luego de tres eventos de lluvia que totalizaron 60 mm en los 10 días anteriores).



Festuca. Parcelas de secano (izquierda) y de riego frecuente (derecha). Fecha: 31 de marzo de 2023, luego de tres eventos de lluvia en los 10 días anteriores, posteriores a la sequía de primavera 2022- verano 2023.

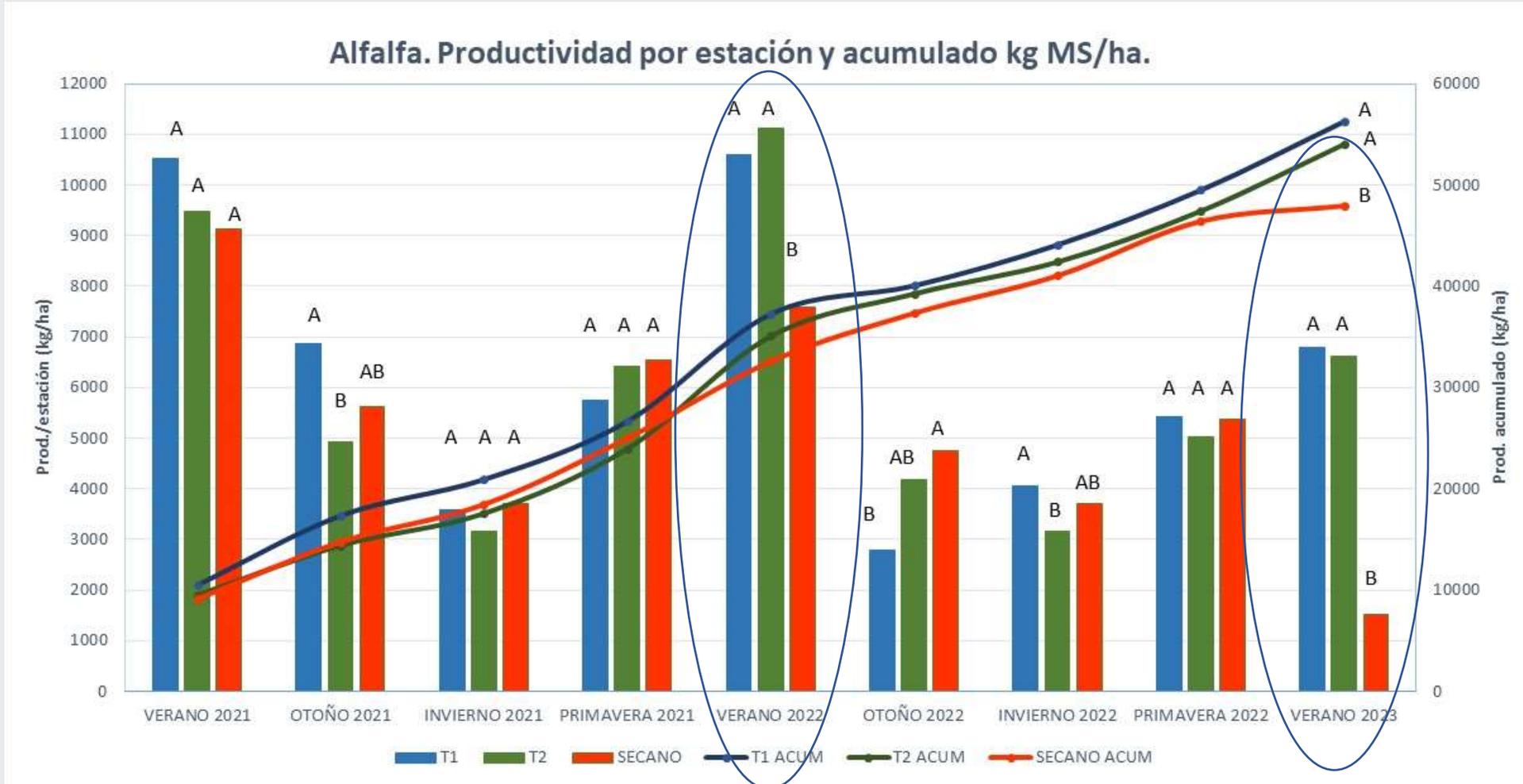


Resumen de los resultados en **FESTUCA**

- La **productividad** promedio **anual** con riego fue de **21239** kg MS/ha en el primer año y de **19157** kg MS/ha en el segundo año (**41% y 56 %** superior al seco).
- La **mayor productividad** de MS por estación se registró en **primavera**.
- En el último verano (2023) la productividad estacional con riego fue de 3349 kg MS/ha, mientras que el seco dada la sequía instalada no tuvo producción.
- Cada **mm** de agua recibido por la pastura incrementó la producción en **43 kg de MS/ha**, sin diferencia entre los dos manejos del riego evaluados.
- El manejo del riego en T2 (**riego espaciado**) permitió un **ahorro del 38%** de agua de riego con respecto al manejo con riegos frecuentes (T1).
- Como particularidad del **verano 2023**, la cantidad de riego promedio aplicado en la ESTACIÓN fue de **271 mm**, mientras que el **riego ANUAL** de los años anteriores fue de **214 mm** en promedio. Dado que las precipitaciones del verano 2023 fueron mínimas, la cantidad de mm aplicados fue similar para ambas alternativas de manejo de riego.



Productividad de alfalfa en kg MS/ha



Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)



Productividad anual (Kg MS.ha⁻¹) y Riego neto aplicado (mm)

Alfalfa	1er año (2021)			2do año (2022)			3er verano		
	Productividad		Riego (mm)	Productividad		Riego (mm)	Productividad		Riego (mm)
T1	26701	A	246	22854	A	278	6781	A	289
T2	23964		178	23500	A	178	6618	A	249
Secano	25004	A	B	21422	A		1523		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

- No hubo diferencia en la productividad acumulada anual entre riego y secano. La alfalfa resiste al déficit hídrico.
- En los veranos el rendimiento de los tratamientos regados fue un 51% mayor al secano.
- En el verano 2023 el rendimiento de los tratamientos regados fue cuatro veces superior al secano.



N° de riegos y n° de pastoreos por tratamiento en alfalfa

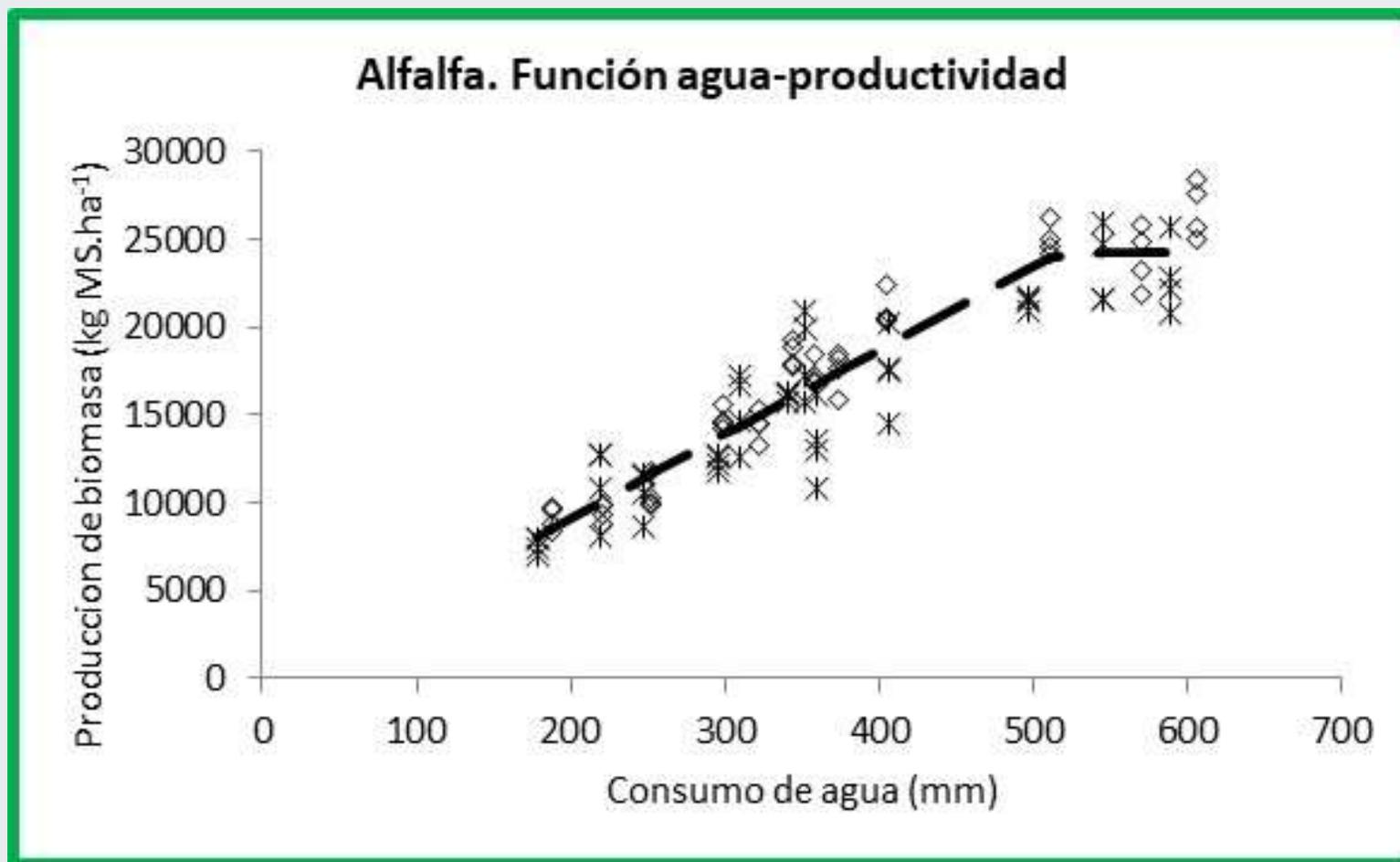
ALFALFA	N° de riegos por estación		Días entre pastoreo y n° pastoreos totales		
	T1	T2	T1	T2	Secano
Verano 2021	10	3	27 / 28 / 40	28 / 28 / 42	32 / 38 / 31
Otoño 2021	4	1	28 / 36	34 / 34	37 / 51
Invierno 2021	0	0	58 / 67	77	69
Primavera 2021	9	2	35 / 40	56 / 30 / 33	41 / 34 / 32
Verano 2022	14	3	25 / 27 / 28	24 / 26 / 28	25 / 27 / 33
Otoño 2022	3	0	42 / 50	41 / 51	31 / 44
Invierno 2022	0	0	69	68	75
Primavera 2022	9	2	55 / 49 / 28	56 / 48 / 28	57 / 47 / 35
Verano 2023	27	7	21 / 28 / 28	22 / 27 / 35	35
Total	76	18	21	21	19

En los veranos, única estación con diferencia en kg MS/ha entre riego y secano, el riego espaciado (T2) tuvo mayor aprovechamiento de la lluvia y menor n° de riegos).

Únicamente en el verano 2023 los tratamientos regados tuvieron dos pastoreos más que el secano.



Relación entre biomasa producida y agua consumida total anual (kg MS/ha/mm)



Por cada mm de agua (riego neto+precipitación efectiva) hubo un aumento de 48 kg de MS/ha.

A partir de 515 mm no habría aumento en la productividad, con un máximo de 24,5 t/ha

El agua explicó el 88% de la variación en la productividad de MS/ha.



Alfalfa. Parcelas de secano (izquierda) y de riego frecuente (derecha). Fecha: 31 de marzo de 2023, luego de tres eventos de lluvia posteriores a la sequía de primavera 2022-verano 2023.



Resumen de los resultados en **ALFALFA**

- La productividad promedio anual fue **25223** kg MS/ha en el primer año y **22592** kg MS/ha en el segundo año. No hubo diferencia entre los tratamientos regados y el seco.
- La **mayor productividad** de MS por estación se registró en **verano**, única estación donde hubo diferencia a favor del riego. La productividad promedio de los **tratamientos regados** para los tres veranos evaluados fue 9184 kg MS/ha, un **51%** mayor que la productividad del seco.
- En el último verano (2023) la productividad estacional con riego fue de 6700 kg MS/ha, mientras que el seco tuvo una productividad de 1523 kg MS/ha.
- Cada **mm** de agua recibido por la pastura incrementó la producción en **48 kg de MS/ha**. No hubo diferencia en la productividad estacional del verano entre los dos manejos del riego evaluados, sin embargo, el manejo del riego espaciado (T2) significó un **ahorro** del **33%, 29% y 14%** de mm de **riego** con respecto al manejo con riegos frecuentes (T1), para los veranos 2021, 2022 y 2023 respectivamente.
- **Como particularidad del verano 2023**, la cantidad de riego promedio aplicado en la ESTACIÓN fue de 269 mm, mientras que el **riego ANUAL** de los años anteriores fue **220 mm** en promedio.

Otras actividades dentro de la línea de investigación

Estudio en colaboración con INIA-Las Brujas

Determinación de la evapotranspiración (ET_c) de alfalfa y festuca mediante lisimetría en alfalfa y festuca.

Trabajo final de maestría de Daniel Alvarez



Objetivos: Ajustar los coeficientes de cultivo (K_c) y coeficientes de estrés (K_s), que serán utilizados para manejar el riego con mayor exactitud y definir los caudales de diseño.



20/09/2022 (día 1). Altura = 0,08 m. FIR = 0,32. Fenología = 0 hojas	27/09/2022 (día 8). Altura = 0,20 m. FIR = 0,62. Fenología = 0,8 hojas	03/10/2022 (día 14). Altura = 0,235 m. FIR = 0,89. Fenología = 1,25	18/10/2022 (día 29). Altura = 0,26 m. FIR = 0,99. Fenología = 2,5 hojas
---	---	--	--

Rendimiento del corte: 5184 kg MS/ha

Otras actividades dentro de la línea de investigación

Estudio de Tecnología de riego por melgas para las condiciones edafotopográficas predominantes en Uruguay. Optimización con el Modelo WinSRFR.

Trabajo final de maestría de Matías Cardozo



Objetivos: Determinar indicadores de desempeño del riego por melgas para los suelos del sur del Uruguay y plantear escenarios de optimización para identificar estrategias de manejo.





Riego suplementario en pasturas, hacia una intensificación sostenible en sistemas productivos con pastoreo



FACULTAD DE
AGRONOMÍA



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY



AGENCIA NACIONAL
DE INVESTIGACIÓN
E INNOVACIÓN

Unidad de Hidrología-Centro Regional Sur
Facultad de Agronomía (Udelar)
Institución co-participante INIA-Las Brujas

Expo-Melilla, 14 de abril de 2023



APROVECHAMIENTO DE LAS PRECIPITACIONES EN CADA ESTACIÓN (PP efectiva), parcelas con pastoreo

Festuca	PP total (mm)	PP efectiva (mm)			PP efectiva (%)		
		T1	T2	SECANO	T1	T2	SECANO
VERANO 2021	289	101	149	244	35	52	85
OTOÑO 2021	287	75	91	109	26	32	38
INVIERNO 2021	328	30	32	33	9	10	10
PRIMAVERA 2021	322	106	109	149	33	34	46
VERANO 2022	377	112	148	212	30	39	56
OTOÑO 2022	195	91	95	113	47	49	58
INVIERNO 2022	126	45	48	68	35	38	54
PRIMAVERA 2022	175	69	80	130	39	46	74
VERANO 2023	56	47	33	54	84	59	96
Total	2155	675	786	1111	38	40	57

Desde verano
2020 hasta verano
2023 inclusive



RIEGO APLICADO (mm) POR ESTACIÓN EN CADA TRATAMIENTO

PORCENTAJE DE AHORRO

Festuca	T1	T2	Ahorro %
VERANO 2021	130	72	44
OTOÑO 2021	43	36	17
INVIERNO 2021	0	0	
PRIMAVERA 2021	75	71	5
VERANO 2022	150	107	29
OTOÑO 2022	11	0	100
INVIERNO 2022	0	0	
PRIMAVERA 2022	86	71	17
VERANO 2023	256	285	-11
Total	750	642	14

Desde verano 2020 hasta verano
2023 inclusive



kg MS/ha por estación y acumulado

Festuca	T1	T2	SECANO	T1 ACUM	T2 ACUM	SECANO ACUM
VERANO 2021	6342	5105	3841	6342	5105	3841
OTOÑO 2021	4360	4564	3280	10702	9669	7121
INVIERNO 2021	3679	3944	1860	14381	13612	8980
PRIMAVERA 2021	7438	7047	6059	21818	20659	15039
VERANO 2022	5631	5042	2352	27449	25700	17390
OTOÑO 2022	4690	3784	3849	32139	29484	21239
INVIERNO 2022	3843	3989	2089	35982	33473	23328
PRIMAVERA 2022	5736	5599	3967	41718	39072	27295
VERANO 2023	3717	2980	142	45436	42051	27436



APROVECHAMIENTO DE LAS PRECIPITACIONES EN CADA ESTACIÓN (PP efectiva)

Alfalfa	PP total (mm)	PP efectiva (mm)			PP efectiva (%)		
		T1	T2	SECANO	T1	T2	SECANO
VERANO 2021	289	142	174	242	49	60	84
OTOÑO 2021	287	75	82	122	26	28	43
INVIERNO 2021	328	34	37	42	10	11	13
PRIMAVERA 2021	322	106	126	147	33	39	46
VERANO 2022	377	97	111	199	26	30	53
OTOÑO 2022	195	85	95	122	44	49	62
INVIERNO 2022	126	44	44	43	35	35	34
PRIMAVERA 2022	175	68	101	130	39	57	74
VERANO 2023	56	40	56	56	71	100	100
Total	2155	691	826	1103	37	46	56

Desde verano 2020 hasta verano 2023 inclusive



RIEGO APLICADO (mm) POR ESTACIÓN EN CADA TRATAMIENTO

PORCENTAJE DE AHORRO

Alfalfa	T1	T2	Ahorro %
VERANO 2021	107	71	33
OTOÑO 2021	43	36	17
INVIERNO 2021	0	0	
PRIMAVERA 2021	96	71	26
VERANO 2022	150	107	29
OTOÑO 2022	32	0	100
INVIERNO 2022	0	0	
PRIMAVERA 2022	96	71	26
VERANO 2023	289	249	14
Total	813	605	26

Desde verano
2020 hasta verano
2023 inclusive



kg MS/ha por estación y acumulado

Alfalfa	T1	T2	SECANO	T1 ACUM	T2 ACUM	SECANO ACUM
VERANO 2021	10514	9466	9135	10514	9466	9134,5
OTOÑO 2021	6856	4918	5627	17370	14384	14762
INVIERNO 2021	3587	3161	3710	20957	17545	18472
PRIMAVERA 202	5745	6419	6533	26701	23964	25004
VERANO 2022	10604	11123	7591	37306	35087	32595
OTOÑO 2022	2794	4180	4754	40100	39267	37349
INVIERNO 2022	4045	3161	3710	44144	42428	41058
PRIMAVERA 202	5411	5036	5368	49555	47463	46426
VERANO 2023	6781	6618	1523	56336	54081	47949