

# Informe final publicable de proyecto

## Optimización del manejo del riego suplementario en pasturas, hacia una intensificación sostenible de los sistemas productivos en pastoreo directo

Código de proyecto ANII: FSA\_1\_2018\_1\_152514

Fecha de cierre de proyecto: 01/02/2024

**PUPPO COLLAZO, Lucía Teresa** (Responsable Técnico - Científico)

**ERNST ROMERO, Juan Manuel** (Investigador)

**GARCÍA GALLÁRRETA, Claudio** (Investigador)

**HAYASHI TSUMURA, Raquel** (Investigador)

**MORALES MOLINA, Pablo** (Investigador)

**PÉREZ BIDEGAIN, Mario** (Investigador)

**ALVAREZ FACAL, Daniel Gregorio** (Investigador)

**BOGGIANO OTÓN, Pablo** (Investigador)

---

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA. FACULTAD DE AGRONOMÍA (Institución Proponente) \\  
CÁTEDRA DE HIDROLOGÍA AGRÍCOLA. DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA. UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO. UNCUYO \\  
SECRETARIADO URUGUAYO DE LA LANA \\  
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA \\  
FACULTAD DE AGRONOMÍA. FUNDACIÓN DR. EDUARDO ACEVEDO

## Resumen del proyecto

Este trabajo tuvo como objetivo desarrollar información para mejorar la gestión y el diseño del riego en pasturas con pastoreo, con un uso racional del agua y suelo. Se evaluaron dos estrategias de riego, para festuca y alfalfa, en parcelas con pastoreo y en condiciones controladas (lisimetría). Se determinó el consumo de agua de ambos cultivos mediante lisimetría y se ajustaron los coeficientes de cultivo (se están procesando los resultados).

En festuca hubo diferencia en el rendimiento de materia seca anual de los tratamientos regados con el secano, pero los tratamientos regados no se diferenciaron entre sí. El rendimiento promedio de los tratamientos regados fue 41% y 56% mayor al de secano para el primer año y segundo año de la pastura, respectivamente. La cantidad de riego anual fue de 248 y 246 mm para el riego frecuente y de 179 y 178 para el riego espaciado. El manejo del riego espaciado significó un ahorro del 38% del agua bombeada respecto al riego frecuente.

En alfalfa la producción acumulada (30 meses) no mostró diferencia significativa entre los tratamientos regados, pero sí entre regados y secano. Las productividades estacionales indican la conveniencia de regar la alfalfa en verano, con un aumento del rendimiento del 43% en el segundo año y 4.3 veces más en el último año. El manejo con riegos espaciados y láminas de riego que no devuelven el suelo a capacidad de campo, aumentan la efectividad de las precipitaciones, ahorrando agua y energía destinada al riego.

Se ajustaron las recomendaciones técnicas para riego por melgas en pasturas para los suelos predominantes de Uruguay. Se simuló los parámetros de desempeño con el modelo WinSRFR con muy buena predicción. Esto lo convierte en una herramienta útil y de fácil uso para el diseño y manejo del riego por melgas en pasturas

**Ciencias Agrícolas / Agricultura, Silvicultura y Pesca / Agricultura / Riego**

**Palabras clave: Umbral de riego / Requerimientos hídricos / Modelo WinSRFR /**

**Antecedentes, problema de investigación, objetivos y justificación.**

En Uruguay se ha dado una rápida expansión del riego en los rubros lechero y ganadero intensivo que tradicionalmente se venían produciendo en secano. Esto ha determinado la necesidad de generar información de base que permita intensificar la producción sin descuidar la sostenibilidad de los recursos naturales (García Petillo, 2012). Para ello es imprescindible definir los coeficientes técnico-científicos para el correcto manejo del riego en pasturas que logre el mejor balance en términos de rentabilidad entre la mejora en la productividad y calidad de la pastura, y el aumento de los costos por la inclusión del riego. Parte de la información debería generarse en condiciones de pastoreo para que el resultado sea extrapolable a estos sistemas de producción e involucre el efecto del pisoteo en combinación con el riego sobre las propiedades físicas del suelo. Las deficiencias hídricas del verano coadyuvan a que la producción de materia seca en las especies forrajeras sea baja (Arana et al., 2000). El riego suplementario podría ser una alternativa tecnológica que contribuya a aumentar la producción de materia seca y a darle estabilidad entre años. La festuca (*Festuca arundinacea* cv. Rizomat) es una de las gramíneas más utilizadas en el país, cuya capacidad de producción de forraje está limitada por el estrés hídrico (Formoso, 2010). Los resultados experimentales de dos años de evaluación (2010/11 y 2011/12) indicaron que las parcelas de festuca con tratamientos de riego rindieron entre cuatro y ocho veces más que las parcelas de secano (Giorello et al., 2012), mientras que Formoso (2010) reporta que la producción de materia seca de la festuca bajo riego triplicó los rendimientos de la festuca en secano. En otro experimento con mezclas forrajeras que incluían festuca cv. Rizomat, Formoso y Norbis (2014) encontraron que la producción de materia seca (MS) bajo riego duplicó a la producción de secano. Asimismo, la alfalfa (*Medicago sativa*) es una leguminosa que responde al riego (Sheaffer et al., 1988), con rendimientos reportados a nivel internacional que varían desde menos de 1 ton de MS ha<sup>-1</sup> en sistemas de secano con baja precipitación anual (<300 mm año<sup>-1</sup>), hasta más de 24 ton de MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en suelos profundos y buena disponibilidad de agua (Brown et al., 2005; Spada, 2007; Demin y Aguilera, 2012). Esta especie permitiría plantear la alternativa del manejo de riego deficitario dado que según ciertos autores la reducción del rendimiento de MS sería menos que proporcional a la reducción de la evapotranspiración del cultivo (ETc) provocada por un estrés hídrico moderado (Doorenbos y Kassam, 1979). Otros autores reportan una reducción del rendimiento en materia seca proporcional al agotamiento del agua en el perfil del suelo, con una relación 1:1 (Brown et al., 2009). La alfalfa es menos tolerante a los suelos saturados que otras especies forrajeras como las gramíneas y cuando está sometida a condiciones anaeróbicas por más de 7 a 14 días puede existir muerte de raíces e infección por hongos como *Phytophthora* (Steduto et al., 2012). Según Sawchik et al. (2010), los experimentos de riego en alfalfa donde los riegos fueron más espaciados rindieron más que aquellos en los que la frecuencia de riego fue mayor. Atendiendo a lo anterior y a la presencia de lluvias frecuentes en el clima del Uruguay, se justificaría un manejo de riego que mantenga el agua en el suelo por encima de un umbral mínimo pero alejado de la condición de alto contenido de agua en el suelo, correspondiente a capacidad de campo. Este manejo favorecería el aprovechamiento del agua de lluvia y disminuiría las necesidades de riego en el ciclo del cultivo. La metodología del balance hídrico es una buena herramienta para el manejo racional del riego y/o para la estimación de las necesidades de agua de las plantas, pero requiere un adecuado ajuste en la estimación de sus componentes para validar su uso (Allen et al., 1998; Pereira, 2004; Capurro et al., 2017). Es fundamental generar la información local de coeficiente del cultivo (Kc) para las pasturas así como el coeficiente de estrés hídrico (Ks) que corrige al anterior coeficiente, para distintos niveles de riego deficitario (Allen et al.; 1998; Pereira, 2004). Estos coeficientes permitirían un mejor ajuste de la evapotranspiración de referencia estimada a partir de la ecuación de Penman-Monteith (ETo-PM), resultando en la mejor forma de estimar la ETc (Puppo et al., 2014). Para la determinación de estos coeficientes, uno de los métodos usados es la lisimetría y es de los que presentaría los valores de error más pequeños en la determinación de la ETc (Allen et al., 2011). En ciertas condiciones de humedad del suelo, la evapotranspiración de las plantas se limita, estando reportado en la bibliografía internacional para la mayoría de los vegetales entre 48 a 50% de agotamiento del agua disponible en la profundidad radicular, para valores de ETc entre 6 a 7 mm día<sup>-1</sup> (Allen et al., 1998; Pereira, 2004; Steduto et al., 2012). Sin embargo, este valor debería ser determinado para las condiciones locales en cada región ya que es afectada directamente por el tipo de clima y el tipo de suelo. Los cambios en la ETc afectan directamente el rendimiento de materia seca por lo que conocer y ajustar la productividad del agua (kgMS ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>) tanto en condiciones controladas como a campo resulta en una herramienta indiscutible y de gran valor para la toma de decisión en el sistema de producción.

Existe información contradictoria sobre el efecto del pastoreo directo como agente modificador de las propiedades físicas del suelo. Denoia et al. (2000), indicaron que el pastoreo directo aumentó la densidad aparente del suelo y disminuyó la velocidad de infiltración. Sin embargo, Venanzi et al. (2002), observaron que, evitando las altas cargas animales, los efectos a corto plazo del pastoreo en siembra directa, no serían perjudiciales. Frolla (2016), menciona que la carga animal no tendría efecto sobre las propiedades físicas del suelo, salvo en casos puntuales cuando se utiliza

una alta carga animal sobre suelos con textura arenosa franca. De la misma forma Kiessling et al. (2008), pudieron determinar que el pisoteo animal por sí mismo, no modificaría la densidad aparente ni la porosidad total. Las alteraciones en las propiedades del suelo podrían ser de mayor magnitud en el caso de pasturas regadas debido al alto contenido de humedad (Taboada, 2007).

En los últimos años se ha incorporado el riego a los diferentes sistemas de producción, con muy poco acompañamiento por parte de la investigación en cuanto al impacto del mismo en las condiciones físicas del suelo. Por otro lado, los altos costos de inversión y operativos de los sistemas de riego presurizados hacen que la inclusión del riego no resulte siempre en una clara rentabilidad en sistemas de producción ganaderos y lecheros de menor escala comercial. No obstante, ante la disminución del área de siembra del arroz, existen numerosas represas con importantes volúmenes de agua embalsada que hacen que esté disponible y ociosa para ser usada principalmente en áreas de pasturas (DINAGUA, 2019). La producción ganadera intensiva con pasturas sembradas y regadas en pastoreo directo podría resultar en alternativa inmediata. El método de riego por melgas tiene bajos costos operativos y es el que se adapta mejor a los cultivos forrajeros, pero es necesario ajustar las recomendaciones técnicas que permitan altos valores de desempeño para los suelos predominantes del Uruguay. Las primeras experiencias locales de riego por melgas en pasturas no alcanzaron valores aceptables de uniformidad de distribución (UD) ni de eficiencia de aplicación (EA) debido a la presencia de pendiente transversal en las melgas (García Petillo et al., 2012). Sin embargo, con buena sistematización del terreno se podrían lograr buenos indicadores de rendimiento tanto de eficiencia de aplicación como de uniformidad de distribución para las condiciones edafotopográficas de Uruguay. Resultados de Bourdin et al. (2015), muestran altas eficiencias de aplicación del agua de riego por melga, trabajando en pasturas con pastoreo directo de animales sobre basalto profundo. La Unidad de Hidrología, Riego y Drenaje de la Facultad de Agronomía (Puppo et al., 2018) como el INIA en sus diferentes proyectos de investigación de riego están desarrollando tesis de grado y posgrado que contribuyen a resolver el diseño de esta modalidad de riego y vienen trabajando en la modelación del riego por melgas para dar una solución tecnológica en distintos tipos de suelos y pendientes utilizadas. En este sentido, se ha comenzado a calibración el modelo WinSRFR, que viene demostrando buen desempeño en la modelación del riego por melgas en nuestros suelos. El modelo WinSRFR predijo muy bien el volumen infiltrado y escurrido, a partir de los datos de entrada medidos a campo para la confección de la curva de avance, curva de receso, hidrograma de entrada e hidrograma de salida, en un suelo del sur de Uruguay (Puppo et al., 2018). Este modelo promete ser una herramienta útil para el diseño del riego por superficie permitiendo optimizar los caudales y tiempos de riego, pero es necesario continuar con su validación para las pendientes predominantes y velocidades de infiltración de nuestros suelos. Una vez validado podrá utilizarse como herramienta para el diseño de riego por melgas en pasturas con condiciones distintas a las ensayadas a campo.

El estudio realizado en este Proyecto constó de dos componentes independientes pero complementarios entre sí, organizados en cinco actividades para generar la información necesaria para abordar la problemática planteada.

El primer componente tuvo como objetivo generar información para determinar un manejo de riego que permitiese alcanzar altos rendimientos de materia seca, con un uso racional del recurso agua y sostenible en el tiempo. Para esto último se midió el impacto sobre las propiedades físicas del suelo (evolución de la densidad aparente y contenido de materia orgánica principalmente) en pasturas regadas con pastoreo, sometidas a dos manejo de riego (30% y 65% de agotamiento del agua disponible y devolviendo el contenido de agua mediante el riego hasta el 85% del agua disponible. Se evaluó la respuesta de la producción total de materia seca en parcelas a campo y se definió el manejo del riego suplementario que permitió el mayor aprovechamiento de la lluvia y que no tuvo impacto sobre las propiedades físicas del suelo. Se generaron los coeficientes de cultivos (Kc) y coeficientes de estrés (Ks) asociados a los dos umbrales de riego evaluados, en condiciones controladas mediante la técnica de lisimetría de drenaje. Esta información permitirá una mejor estimación de los requerimientos hídricos, disminuyendo las incertidumbres del método de balance hídrico, favoreciendo el manejo racional del riego.

El segundo componente permitió elaborar recomendaciones técnicas para el riego por melgas en distintas condiciones de suelo y pendiente. Se midieron los indicadores de desempeño del riego por melgas a campo: eficiencia de aplicación (EA), uniformidad de distribución (UD) y eficiencia de almacenaje (RE). A partir de los datos obtenidos a campo se validó el modelo de simulación de riego por superficie WinSRFR. Este modelo permitió optimizar los caudales y tiempos de riego para situaciones diferentes las ensayadas a campo. Se elaboró una tabla con caudales y tiempos de riego recomendados para distintas pendientes y largo de melgas que servirá a los técnicos y productores. Así como recomendaciones sobre el uso del modelo del modelo para técnicos que trabajan en el asesoramiento de riego.

#### **Metodología/Diseño del estudio**

Este proyecto se organizó en dos componentes independientes pero complementarios entre sí, con cinco actividades en total.

Componente 1: Generación de información básica para determinar un manejo del riego en pasturas sometidas a pastoreo, que permita alcanzar altos rendimientos de materia seca, con un uso racional del recurso agua y sostenible en el tiempo.

Actividad 1: Determinación de la evapotranspiración (ETc), coeficiente de cultivos (Kc) y respuesta en rendimiento de la festuca a dos umbrales de riego. Ensayo en lisímetros.

En marzo de 2022 se sembraron seis lisímetros de drenaje con Festuca arundinacea cv. Rizomat (dos tratamientos con tres repeticiones) de dimensiones 1,9 x 0,9 x 1,35 m de profundidad. La instalación de lisímetros está ubicada en INIA Las Brujas y cuenta con una estructura que evita la entrada de lluvia en los lisímetros. Esta instalación ha sido usada por este grupo de investigadores para determinar la ETc y Kc de olivos (Puppo et al. 2014) y ETc y Kc de soja (Capurro et al. 2017). La instalación de lisímetros estuvo rodeada de una pastura de gramíneas regada para evitar el "efecto oasis" (Aboukhaled, 1986; Allen et al., 2011).

Tratamientos: T1: Riego frecuente (se dejó agotar el 30% del agua disponible en los primeros 20 cm de suelo); T2: Riego espaciado (se dejó agotar el 65% del agua disponible en los primeros 30 cm).

Se realizó la caracterización hídrica del suelo de relleno por horizonte: capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y agua disponible (AD). Para ello se saturó un lisímetro, se dejó drenar y luego se tomaron muestras de cada horizonte del suelo de relleno (que copia el perfil del suelo de la zona circundante).

Se realizó el seguimiento de humedad en cuatro profundidades diferentes con una sonda de neutrones, marca CPN. La sonda de neutrones se calibró con el método gravimétrico para cada una de las profundidades según la metodología propuesta por Haverkamp (1984).

Cada lisímetro se regó con tres líneas paralelas de goteros de 1,25 L/h distanciados a 30 cm (totalizando una tasa de aplicación de 13,2 mm h<sup>-1</sup> en el área del lisímetro).

Para definir el momento de riego se realizó un balance hídrico para cada tratamiento y se regó cada vez que el déficit acumulado fue igual al agua disponible multiplicada por el umbral.

Paralelamente se realizaron balances de volúmenes en cada lisímetro (12 en total) para determinar la ETc y ajustar el Kc y el coeficiente de estrés (Ks) que pudiese ocurrir en los días previos al riego del T2 (riego espaciado).

Se utilizaron los datos de ETo-PM y de precipitación de la estación climática de INIA Las Brujas, ubicada a 500 m del ensayo.

Diariamente se registró: volumen de riego y de drenaje.

La ETr se calculó por balance de volúmenes mediante la fórmula:

$$ETr = R - D \pm ?Hs$$

Siendo: ETr - evapotranspiración real de la pastura; R - riego; D - drenaje; ?Hs - variación de humedad en el suelo.

Se ajustó el coeficiente de cultivo (Kc), como el cociente entre la ETc medida en el lisímetro y referida a su superficie, 1,9 x 0,9 m (o al área del cultivo cuando excedió el área del lisímetro) y la ETo-PM (Allen et al., 1998, 2011).

Semanalmente se determinó a) la fracción de intercepción de radiación (FIR) al mediodía con ceptómetro, en 5 posiciones predeterminadas en c/lisímetro; b) la fenología c) el porcentaje de cobertura del suelo mediante foto cenital d) altura del cultivo. Se realizaron cortes periódicos para evaluar rendimiento de materia seca (Kg MS ha<sup>-1</sup>). Los cortes se realizaron cada vez que el cultivo alcanzó las 2,5 hojas y se cortó hasta una altura de 5 cm (Cáceres y Martinelli, 2010) y 8-10 cm en verano.

Actividad 2: Determinación de la evapotranspiración (ETc), coeficiente de cultivos (Kc) y respuesta en rendimiento de la alfalfa a dos umbrales de riego. El 21 de noviembre se sembró *Medicago sativa* cv. Chaná en seis lisímetros de drenaje (tres tratamientos con dos repeticiones) Pero debido a que no se logró un cultivo uniforme, se debió arrancar y se volvió a sembrar el 6 de setiembre de 2022.

Se siguió la misma metodología descrita en la Actividad 1.

El momento de los cortes fue cada vez que el cultivo alcanzó los 8-9 nudos o 10% de floración en primavera.

Actividad 3: Respuesta en rendimiento de festuca a dos umbrales de riego. Ensayo de parcelas a campo, con pastoreo. Centro Regional Sur; Facultad de Agronomía.

Se evaluaron los mismos tratamientos que en la Actividad 1, para determinar el manejo de riego que permita espaciar los riegos y aumentar el aprovechamiento de las lluvias, sin afectar el rendimiento de MS. La festuca se sembró primeramente el 22 de abril de 2020 pero debió sembrarse el 2 de agosto de 2020.

El diseño fue de parcelas al azar, con tres tratamientos y cuatro repeticiones. Total 12 parcelas.

Tratamientos: T1: Riego frecuente, se regó cuando se agotó el 30% del agua disponible en 40 cm de suelo; T2: Riego espaciado, se regó cuando se agotó el 65% del agua disponible en los 40 cm; T3: Secano. No se regó, sólo recibió agua de lluvia.

Se realizó la caracterización hídrica del suelo de relleno por horizonte: capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y agua disponible (AD).

Los tratamientos de riego comenzaron el 5 de noviembre de 2020. El riego se aplicó con un equipo de aspersión fijo, con 4 aspersores sectoriales ubicados en las esquinas de cada parcela, ajustados a 90°, enterrados, del tipo pop-up para evitar daños durante los pastoreos. La tasa de aplicación fue de 5.5 mm h<sup>-1</sup>, lo cual garantizó que no hubiese escurrimiento.

El momento de riego se determinó mediante balance hídrico.

Déficit acumulado (D acum) = Agua disponible mm x umbral de c/tratamiento Ec. 1

$$D \text{ acum} = D_{i-1} + ET_c - R_i - P_{p\text{ef}} \text{ Ec. 2}$$

Siendo: D<sub>i-1</sub>= déficit acumulado del día anterior; ET<sub>c</sub>= evapotranspiración de la alfalfa; R<sub>i</sub>= riego del día anterior; P<sub>Pef</sub>= precipitación hasta alcanzar Capacidad de Campo.

Los tiempos de riego se calcularon para devolver al suelo desde del umbral hasta el 85% del agua disponible en la profundidad radicular. De esta forma el contenido de humedad del suelo se mantuvo por debajo de capacidad de campo (CC) y por encima del umbral prefijado. En T1 se dejaron agotar 22 mm y se repusieron 11 mm netos y en T2 se dejaron agotar 46 y se repusieron 36 mm.

El tamaño de cada parcela de riego fue de 11 x 11 m. Las parcelas estuvieron separadas por cerco eléctrico, dejando pasillos para el ingreso y salida de los animales El procedimiento para evaluar materia seca consistió en identificar visualmente zonas de alto, medio y bajo nivel de biomasa disponible de forraje, obtener 3 muestras por nivel utilizando un cuadrado de 0.30 x 0.30 m. En la parcela se hizo una estimación visual asociando 15 visualizaciones al azar con los tres niveles anteriores. Haydock y Shaw, 1975. Luego entraban los animales (2 vacas por parcela de 600-700 kg) y el pastoreo se realizaba hasta que el forraje alcanzaba una altura igual o superior a 5 cm. Después de cada pastoreo se realizó un corte de homogeneización a 5 cm de altura mediante un tractor de jardín.

Las muestras fueron pesadas (peso fresco) llevadas a estufa a 60°C hasta peso constante (peso seco), para determinar materia seca.

El rendimiento por estación se estimó teniendo en cuenta los siguientes períodos: marzo a mayo: otoño; junio a agosto: invierno; setiembre a noviembre: primavera y diciembre a febrero: verano. Se determinó la tasa de crecimiento del periodo entre pastoreos (kg de MS ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) como el cociente entre el rendimiento de materia seca del pastoreo y el número de días entre pastoreos.

Se evaluó la calidad nutricional del forraje mediante análisis químico una vez por año.

Para evaluar el efecto del pastoreo sobre las propiedades físicas se midió la densidad aparente y la materia orgánica. Estas determinaciones se hicieron en cada tratamiento y repetición.

Actividad 4: Respuesta en rendimiento de alfalfa a dos umbrales de riego. Ensayo de parcelas a campo, con pastoreo. Centro Regional Sur; Facultad de Agronomía. La metodología utilizada será igual a la detallada para la Actividad 3, adaptada al cultivo de alfalfa (según consta en la Actividad 2).

Componente 2: Recomendación de un paquete tecnológico de riego por melgas optimizado para las condiciones edafo-topográficas predominantes de nuestros suelos. Las actividades en este componente consistirán en evaluaciones a campo y en forma paralela actividades de gabinete para calibrar y validar el modelo WinSRFR. Este modelo permitirá optimizar los caudales, tiempos de riego y largo de las melgas que mejor se adecuen a nuestros suelos y pendientes.

Actividad 5: Riego por melgas. Ensayo de riego por melgas. Centro Regional Sur, Facultad de Agronomía. Se continuó con la recolección de datos iniciada durante el Proyecto FSA 12590, con la finalidad de validar el modelo WinSRFR.

Durante el primer año de ejecución del proyecto se sembró una mezcla de festuca, lotus y trébol blanco en un cuadro que ya está sistematizado para riego por melgas en el CRS.

La sistematización se realizó minimizando la pendiente transversal con pendiente longitudinal de 2.7 %, 6 m de ancho y 50-60 m de longitud. El cuadro constó de 14 melgas, de las cuales 9 fueron usadas para evaluar el riego, para poder evaluar tres caudales con tres repeticiones por fecha.

La fuente de agua es un tajamar. El estudio se inició realizando la derivación desde el tajamar mediante un sifón, por gravedad. Cuando el nivel del agua descendió debido a la sequía se sustituyó el sifón por una motobomba. La conducción hasta las melgas se realizó mediante una tubería de polietileno colapsable de 10" y 250 micrones. La aducción de agua a cada melga se realizó con dos compuertas. Se evaluaron tres caudales, con tres repeticiones: 0.2 L/s/m; 0.33 L/s/m y 0.4 L/s/m. que fueron definidos en un trabajo previo, lo suficientemente altos para llegar al pie de la melga (Puppo et al., 2018). Se colocaron 8 tubos de acceso en cada melga para monitorear humedad con la sonda FDR (frequency domain reflectometry) para determinar la humedad anterior y posterior al riego. Estas medidas permitieron determinar la lámina incorporada en los 40 cm así como la uniformidad del riego. En cada evaluación de riego se determinó además el hidrograma de entrada y de salida, la curva de avance y de recesión, así como el tiempo de riego.

Para construir los hidrogramas de entrada y de salida se midió el caudal de entrada y de salida con aforadores WSC de dos tamaños según fuese la magnitud del caudal a medir. Al pie de las melgas se construyó un canal para conducir el agua de escurrimiento, donde se colocaron los aforadores para medir el caudal de salida de las melgas.

En cada evaluación a campo se calculó: Eficiencia de aplicación (EA), Uniformidad de distribución (DU), las pérdidas por escurrimiento (RO, eficiencia de almacenaje (RE).

La EA se calculó como lámina neta (LN)/ lámina bruta (LB), siendo LN la lámina que quedó efectivamente en la profundidad radicular y LB la lámina total aplicada. La DU se calculó como la LN en el cuarto de la melga menos regada dividido la LN media en toda la melga (Walker y Skogerboe, 1987). Se evaluaron 21 eventos a campo. Para cada evaluación y caudal, se utilizó el módulo de Simulación en el Programa WinSRFR para reproducir los riegos evaluados a campo y comparar su predicción (Bautista et al. 2009a, 2009b). Para el proceso de validación del modelo, se seleccionaron 11 eventos. Se realizó un análisis de sensibilidad con el objetivo de enriquecer la comprensión de la respuesta del modelo ante condiciones diversas. Este análisis se enfocó en examinar el impacto de la variación de los siguientes parámetros: pendiente del terreno, el coeficiente de rugosidad de Manning (n) y la familia de infiltración, para ello se calcularon las diferencias acumuladas al modificar cada parámetro individualmente.

### **Resultados, análisis y discusión**

Las Actividades 1 y 2 fueron las últimas en iniciarse y su evaluación continuó hasta enero de 2024 inclusive, por lo tanto los resultados están aún en la etapa de procesamiento.

Actividad 1: Determinación de la evapotranspiración (ETc), coeficiente de cultivos (Kc) y respuesta en rendimiento de la festuca a dos umbrales de riego. Ensayo en lisímetros. INIA Las Brujas.

Se determinaron los parámetros hídricos y se calibró la sonda de neutrones con el método gravimétrico para cada horizonte del suelo de relleno. Se obtuvieron valores de R2 que oscilaron entre 68 y 77%.

Se realizaron tres cortes en el tratamiento de riego frecuente (T1). La ETc medida en cada uno de ellos fue: 120 mm del 18/10/22 al 23/11/22, 231 mm del 23/11/22 al 9/01/23 y 273 mm del 9/01/23 al 28/02/23. Los valores de Kc máximos para cada uno de esos periodos fueron: 0.85; 0.83 y 1.01 respectivamente.

Se realizaron tres cortes en el tratamiento de riego espaciado (T2). La ETc medida en cada uno de ellos fue: 128 mm del 21/10/22 al 30/11/22, 184 mm del 30/11/22 al 9/01/23 y 322 mm del 9/01/23 al 6/03/23. Los valores de Kc máximos para el segundo y tercer corte fueron: 0.79 1.01 respectivamente.

Actividad 2: Determinación de la evapotranspiración (ETc), coeficiente de cultivos (Kc) y respuesta en rendimiento de la alfalfa a dos umbrales de riego. Ensayo en lisímetros. INIA Las Brujas

Se realizaron cuatro cortes en el tratamiento de riego frecuente (T1). La ETc medida en cada uno de ellos fue: 132 mm del 14/08/23 al 13/10/23, 75 mm del 13/10/23 al 14/11/23, 95 mm del 14/11/23 al 13/12/23 y 109 mm del 13/12/23 al 9/01/24. Los valores de Kc máximos para cada uno de esos periodos fueron: 1.04; 0.67; 0.7 y 0.82 respectivamente.

Se realizaron tres cortes en el tratamiento de riego espaciado (T2). La ETc medida en cada uno de ellos fue: 151 mm del 11/08/23 al 14/11/23, 63 mm del 14/11/23 al 11/12/23 y 111 mm del 11/12/23 al 9/01/24. Los valores de Kc máximos para cada uno de esos periodos fueron: 0.62; 0.49 y 0.82 respectivamente.

Actividad 3: Respuesta en rendimiento de festuca a dos umbrales de riego, parcelas a campo con pastoreo. Centro Regional Sur, Facultad de Agronomía

Ver Artículo científico (en revisión) de la actividad

Al analizar la producción promedio de MS por tratamiento y estación se destaca que el riego permitió mayores producciones en la mayoría de las estaciones, pero no se registraron diferencias entre los tratamientos de riego salvo en otoño de 2022 donde el T1 se diferenció del T2 y del seco y en el verano de 2023 donde se registraron diferencias significativas entre los tres tratamientos, con el siguiente orden de mayor a menor rendimiento, T1>T2>secano. Cabe puntualizar que en el verano de 2023 el rendimiento del seco fue prácticamente nulo, 141 kg MS ha<sup>-1</sup>. Los mayores rendimientos se obtuvieron en primavera, con registros promedios para los tratamientos regados de 7243 kg MS ha<sup>-1</sup> y 5668 kg MS ha<sup>-1</sup> para primavera 2021 y primavera 2022 respectivamente.

Hubo diferencia significativa en el rendimiento de MS anual entre los tratamientos regados con el seco, pero los tratamientos regados no se diferenciaron entre sí. El rendimiento promedio de los tratamientos regados fue 41% y 56% mayor al de seco para el primer año y segundo año de la pastura, respectivamente. Es importante aclarar que el rendimiento de MS del año 2023 incluye solo las estaciones de verano y otoño. La cantidad de riego anual fue de 248 y 246 mm para el T1 y de 179 y 178 para el T2. El manejo del riego en T2 significó un ahorro del 38% del agua bombeada respecto al T1. En cambio, en el año 2023 (verano y otoño) el riego aplicado en ambos tratamientos (T1 y T2) fue exactamente igual, 320 mm.

Las tasas de crecimiento (TC) en kg MS ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) de verano, otoño e invierno, tuvieron diferencias significativas de los tratamientos regados respecto al seco, pero los tratamientos T1 y T2 no se diferenciaron entre sí. Las TC más altas se registraron en primavera y solo se diferenció el T1 del seco con valores de 70 kg MS ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> y 59 kg MS ha<sup>-1</sup> para T1 y seco, respectivamente. La productividad del agua fue significativamente mayor en los tratamientos regados con respecto al seco en todas las estaciones del año. Sin embargo, en otoño y en invierno no se encontraron

diferencias en los valores de productividad del agua entre tratamientos regados. En cambio, el tratamiento T1 obtuvo mayores valores de productividad en primavera y verano con respecto al tratamiento T2 y este último fue significativamente mayor al secano. En el promedio de los dos primeros años del cultivo cada mm de agua recibido por la festuca incrementó el rendimiento en 43 kg de MS ha<sup>-1</sup>. El agua explicó el 83 % de la variación en el rendimiento de MS ha<sup>-1</sup> y a partir de 560 mm no habría aumento en la productividad, con un máximo de 19 t ha<sup>-1</sup> de MS producidas. Si se observan los resultados del primer año, el cultivo experimentó la mayor respuesta al riego (46 kg de MS ha<sup>-1</sup> por mm de agua consumido) y el nivel crítico a partir del cual no hay respuesta (559 mm, con un máximo de 26 t ha<sup>-1</sup>). El agua explicó el 87 % de la variación en el rendimiento de MS ha<sup>-1</sup>. En el segundo año de la pastura se observaron resultados levemente inferiores a los del primer año, en este sentido la festuca expresó una respuesta al riego de 39 kg de MS ha<sup>-1</sup> por mm de agua consumido y el nivel crítico a partir del cual no hubo respuesta al agua consumida fue de 575 mm con un máximo de 21 t ha<sup>-1</sup>. Mientras que en el tercer año del cultivo bajó la respuesta al riego (16 kg de MS ha<sup>-1</sup> por mm de agua consumido) y el nivel crítico a partir del cual no hay respuesta (426 mm, con un máximo de 7.6 t ha<sup>-1</sup>). El agua explicó el 83 % de la variación en el rendimiento de MS ha<sup>-1</sup>.

Actividad 4: Respuesta en rendimiento de alfalfa a dos umbrales de riego, parcelas a campo con pastoreo. Centro Regional Sur, Facultad de Agronomía

Ver Artículo científico (en revisión) de la actividad

La producción de forraje acumulada (materia seca) para todo el periodo de evaluación no mostró diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos regados (T1 y T2), pero sí entre regados y secano (T0). Cuando se analizaron los datos por estación independientemente del año (con el efecto bloque anidado en el efecto año) hubo diferencias significativas únicamente en la producción de MS del verano, entre los tratamientos regados y el secano y no así para el resto de las estaciones del año. En cuanto a la productividad de materia seca anual, a pesar de que las diferencias no están claramente definidas a favor del riego, el análisis de los datos estacionales indica la conveniencia de regar la alfalfa en los meses estivales ya que en esta estación el riego implicó un aumento, sobre el rendimiento del secano, del 43% en el segundo verano y 4.3 veces más en el tercer verano. También a consecuencia del verano extremo ocurrido, en el otoño 2023 los regados rindieron 7 veces más que el secano. La productividad promedio anual de los tratamientos regados fue 25333 para el primer año y 23177 kg MS ha<sup>-1</sup> en el segundo año. En el total del periodo experimental el manejo de riego espaciado implicó un ahorro de 235 mm, un 26% menos, respecto a regar en forma frecuente.

El manejo de umbrales de riego diferentes determinó, como era esperable, un menor número de riegos realizados en el T2 (riego espaciado). Esta diferencia tiene implicancias importantes en el manejo de la pastura y del riego, su costo operativo y el mayor aprovechamiento de las precipitaciones.

El consumo total de agua, en todo el periodo experimental fue en promedio 1600mm para T1 y T2, mientras que en el secano fue de 1203mm. En términos anuales, T1 consumió 599 mm, T2 558 mm y el secano, 504mm. En contraparte, López et al. (1997) estimaron un consumo de agua de 1464 mm año<sup>-1</sup> para una producción de forraje de 28 t MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en dos variedades de alfalfa en un ensayo sin limitaciones hídricas realizado en Córdoba (Argentina) durante tres temporadas. Según Sheaffer et al. (1988) estos valores entran dentro del rango de consumo de agua de alfalfa, que se ubica entre 400 y 1800 mm ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

Actividad 5: Riego por melgas. Ensayo de riego por melgas. Centro Regional Sur, Facultad de Agronomía

Ver Artículo científico (en revisión) de la actividad

Se calculó la infiltración básica, 6,6 mm/hora. De acuerdo con este resultado, el suelo corresponde a la familia de infiltración 0,30 de las curvas establecidas por el Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Walker, 2003).

Parámetros de desempeño medidos a campo y simulaciones realizadas con el modelo WinSRFR

De un total de 21 eventos evaluados a campo se seleccionaron 11 para realizar la validación del modelo, limitándose a aquellos con valores de lámina neta de riego (LN) de 54 mm o menos. Se midieron y se simuló los siguientes parámetros de desempeño: Eficiencia de aplicación (AE), Eficiencia de almacenaje (RE) y Uniformidad de distribución (UD). Se determinó la lámina neta (LN) para devolver el suelo a capacidad de campo en cada evento de riego. También se midió y simuló el escurrimiento (Esc%), la lámina neta infiltrada (LN inf).

Se hicieron dos tipos de simulaciones con el modelo: 1) con en el módulo de simulación se usó la ecuación de Kostiaikov (1932) para el suelo del experimento, con el Amodif mediante balance de volúmenes, a partir del dato de escurrimiento medido a campo), 2) con el módulo de simulación a partir de la familia de infiltración definida para el suelo del experimento.

Al analizar la correlación entre los datos evaluados y los datos simulados, se confirmó una alta correlación. Al enfocarnos en los casos que involucran la utilización de Amodif, los valores de R<sup>2</sup> para LN inf son consistentes con lo esperado, dado que esta variable está influenciada por el balance de volúmenes. De la misma forma, al observar los valores de R<sup>2</sup> para AE de 0,64, RE de 0,77 y RO de 0,90, queda claro que al medir el escurrimiento al pie y conocer con precisión el valor de LN inf, aumenta la exactitud en la predicción de los valores.

Al hacer la simulación utilizando la familia de infiltración (sin tomar en cuenta la medición directa de escurrimiento en el campo), notamos que también existió similitud entre los valores predichos y los observados. Los valores de R<sup>2</sup> para LN inf, AE, RE y RO son 0.82, 0.64, 0.82 y 0.35, respectivamente. Es relevante señalar que los valores de RE muestran un ajuste notablemente mejor al utilizar la familia de infiltración, comparando con la situación de utilizar el Amodif. Pero, la predicción del escurrimiento al pie resulta difícil de predecir, como se refleja en valores bajos de R<sup>2</sup>.

Al realizar un análisis de errores, se destaca que estos son mínimos, tanto en milímetros, en el caso de LN inf o RO, como en porcentaje, en el caso de AE y RE. Los errores absolutos promedio para LN inf son del 11% y 17%, en comparación con el valor promedio de LN inf obtenido en los casos analizados y para las situaciones de Simulación con Amodif y Simulación con la familia de infiltración, respectivamente. En el caso de AE, se observa que el error es cercano al 9% en ambos casos mientras que, para RE los errores oscilan entre el 3% y el 5%, con la situación de Simulación con Amodif y Simulación con la familia de infiltración, respectivamente. En cuanto a RO, el error se encuentra entre 6 y 8 mm, teniendo en cuenta que el RO promedio es del 18%, confirmando que este parámetro es el más difícil de predecir, con un error porcentual entre el 33% y el 44%.

## Conclusiones y recomendaciones

Aún no hay conclusiones de las Actividades 1 y 2 porque las mismas debieron comenzarse más tarde y su evaluación continuó hasta enero de 2024 inclusive. Esto fue notificado en los Informes de Avance correspondientes. Los resultados de ambas actividades corresponden a la Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias del Ing. Agr. Daniel Alvarez y serán publicados en dos artículos científicos en el correr del año 2024. 1) Determinación de la evapotranspiración de alfalfa mediante lisimetría, ajuste de los coeficientes de cultivo y materia seca entre cortes y estacionales 2) Evaluación del consumo hídrico, coeficiente de cultivos y respuesta a dos manejos de riego en festuca.

Actividad 3: Respuesta en rendimiento de alfalfa a dos umbrales de riego, parcelas a campo con pastoreo. Centro Regional Sur, Facultad de Agronomía

Como recomendación final y teniendo en cuenta el manejo del riego y de la pastura planteado en el presente experimento, la alfalfa debería ser suplementada con riego en los meses estivales o cuando las precipitaciones son escasas, realizando riegos espaciados (mayor agotamiento del agua fácilmente disponible) y con láminas de riego que no devuelven el suelo a la condición de capacidad de campo. De esta forma hay mayor posibilidad de captar precipitaciones y aumentar su efectividad, ahorrando agua y energía destinada al riego.

En las condiciones de riego y pastoreo planteadas en el presente experimento:

La alfalfa responde en forma significativa al riego en los meses estivales, con mayor productividad de materia seca.

El manejo de diferentes umbrales de agotamiento del agua disponible (T1, T2) para definir el momento de riego, no afecta la productividad de materia seca. Sin embargo, el manejo de riego espaciado (T2) significó un ahorro de riego en comparación con el manejo con riego frecuente (T1).

En épocas con escasas o nulas precipitaciones la productividad de materia seca en el secano cae en forma significativa y afecta la productividad de la pastura en la siguiente estación, aun cuando las precipitaciones se reestablecen.

La densidad aparente del suelo aumenta con la edad de la pastura en pastoreo, pero no es afectada por el manejo del riego.

Actividad 4: Respuesta en rendimiento de festuca a dos umbrales de riego, parcelas a campo con pastoreo. Centro Regional Sur, Facultad de Agronomía

Con demandas atmosféricas moderadas, como las de primavera y otoño, el manejo del riego espaciado resultó ser el más adecuado para la festuca. Este manejo del riego con los momentos de riego determinados mediante balance hídrico permitió obtener altos rendimientos de materia seca, con un mayor aprovechamiento del agua de lluvia y un mayor ahorro del agua de riego.

En años secos, sobre todo durante la primavera y el verano, la cantidad de agua de riego requerida con el manejo de riego frecuente y con manejo de riego espaciado es la misma.

El umbral de riego para la festuca en condiciones de alta demanda atmosférica, como las de verano, es un valor de agotamiento del agua disponible menor al 65%, pero no tiene por qué ser un 30% de agotamiento del agua disponible, pudiéndose ubicar en algún lugar intermedio al rango entre los umbrales evaluados en este estudio.

El manejo del riego frecuente en una pastura con pastoreo afecta la densidad aparente de los primeros cm de suelo en una mayor intensidad que el riego espaciado.

Actividad 5: Riego por melgas. Ensayo de riego por melgas. Centro Regional Sur, Facultad de Agronomía.

Recomendaciones técnicas para el diseño y el manejo del riego por melgas en pasturas

Teniendo en cuenta que el modelo tiene una escasa sensibilidad por encima de 2,5 y 3% de pendiente, se elaboró un cuadro que incluye caudales y tiempos de riego recomendados para distintas condiciones de largo y pendientes de melgas. Estos resultados son válidos para suelos pertenecientes a la misma familia de infiltración que el suelo utilizado en el sitio del ensayo. Esta guía puede ser una herramienta útil para técnicos asesores en riego como recomendación primaria al momento de definir el diseño y el manejo del riego por melgas en pasturas para los suelos predominantes de Uruguay y será incorporada inmediatamente a los cursos de riego dictados en Facultad de Agronomía.

Los resultados presentados revelan la robustez y la capacidad predictiva del modelo WinSRFR en la evaluación de los parámetros hidrológicos y parámetros de desempeño del riego por melgas para distintas condiciones edafotopográficas.

El modelo realiza una buena predicción, introduciendo el dato de la familia de infiltración en lugar de las medidas del caudal escurrido. Esto lo convierte en una herramienta útil y de fácil uso para el diseño y manejo del riego por melgas en pasturas de fácil uso tanto para técnicos como para productores.

El análisis de sensibilidad proporciona información sobre la influencia de variables, como la pendiente del terreno, el coeficiente de rugosidad (n) y la familia de infiltración, en la predicción del modelo. El modelo mostró sensibilidad hasta valores de pendientes del 2,5% y 3%, por tanto, su uso debería limitarse a estas pendientes para obtener parámetros hidrológicos óptimos. Las variaciones en la familia de infiltración demuestran un impacto significativo en los parámetros de desempeño destacando la necesidad de considerar cuidadosamente estas variables al aplicar el modelo WinSRFR.

El análisis de errores y la evaluación mediante el RMSE respaldan la precisión general del modelo, señalando una coherencia en la tendencia de errores incluso en condiciones variables.

La elaboración de medidas de manejo específicas para distintos porcentajes de pendiente y largo de melga ilustra la aplicabilidad práctica del modelo al proporcionar recomendaciones concretas para optimizar el rendimiento en el manejo del riego.

En resumen, los resultados y análisis presentados refuerzan la validez y versatilidad del modelo WinSRFR en la evaluación, proporcionando una base sólida para su aplicación práctica en estudios próximos en Uruguay.



## Referencias bibliográficas

- Carambula, M. 2002. Pasturas y forrajes: potenciales y alternativas para producir forraje. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. t. 1, 357 p.
- Formoso, F. 2010. Festuca arundinacea, manejo para producción de forraje y semillas. Montevideo, INIA. 183 p. (Serie Técnica no. 182).
- Smeal, D.; O'Neill, M. K.; Arnold, R. N. 2005. Forage production of cool season pasture grasses as related to irrigation. *Agricultural Water Management*. 76:224-236.
- Insua, J. R., Machado, C. F., García, S. C., & Berone, G. D. (2021). Forage yield gap analysis for tall fescue pastures in Argentina: A modelling approach. *Grass and Forage Science*, 76(2), 245-257.
- Arce Pinatto, M., Fernández Fernández, P., & Riccetto Aguirrezabala, S. (2013). Respuesta estival de Festuca arundinacea, Paspalum dilatatum, Paspalum notatum y Pennisetum purpureum cv Mott al riego suplementario.
- Aguirre Graña, S., Irazabal Marra, N., & Otegui Duarte, I. (2013). Evaluación de la respuesta al riego suplementario de Festuca arundinacea, Paspalum dilatatum, Paspalum notatum y Pennisetum purpureum cv Mott durante el período estival.
- García, S., Islam, M., Clark, C., & Martin, P. (2014). Kikuyu-based pasture for dairy production: A review. *Crop and Pasture Science*, 65, 787-797. <https://doi.org/10.1071/CP13414>.
- García Petillo, M., Puppo, L., Hayashi, R. y Morales, P. (2012). Metodología para determinar los parámetros hídricos de un suelo a campo. Recuperado de <http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/Metodologia%20para%20determinar%20los%20parametros%20hidricos%20de%20un%20suelo%20a%20campo.pdf>
- Allen, R. G., Pereira L.S., Raes D. and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper. Nº 56. Rome, FAO. 300 pp.
- Arranz, C.; Galantini, J.; Iglesias, J.; Krüger, H. y Venanzi, S. 2004. Sistema de labranza: Efecto del pastoreo animal sobre la distribución del tamaño de poros. En: Actas del XIX Cong. Arg. de la Ciencia del Suelo. Paraná, Argentina. Ed. digital. 10 p Disponible en: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-12\\_\\_efecto\\_del\\_pastoreo\\_animal.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-12__efecto_del_pastoreo_animal.pdf)
- Islam, M., García, S., & Horadagoda, A. (2012). Effects of irrigation and rates and timing of nitrogen fertilizer on dry matter yield, proportions of plant fractions of maize and nutritive value and in vitro gas production characteristics of whole crop maize silage. *Animal Feed Science and Technology*, 172, 125-135.
- Denoia, J.; Sosa, O.; Zerpa, G.; Martín, B. 2000. Efecto del pisoteo animal sobre la velocidad de infiltración y sobre otras propiedades físicas del suelo. *Pastos XXX* (1): 129-141.
- Silva, A., Ponce de León, J., García, F. y Durán, A. (1988). Aspectos metodológicos en la determinación de la capacidad de retener agua de los suelos del Uruguay. Montevideo: Facultad de Agronomía. (Boletín de Investigación, 10).
- Taboada, M. 2007. Cambios en el suelo asociados al tránsito y pisoteo de la hacienda. (en línea). Buenos Aires, UBA. Facultad de Agronomía. Cátedra de fertilidad y fertilizantes. pp 1-4. Disponible en [http://www.produccion-animal.com.ar/suelos\\_ganaderos/51-cambios\\_en\\_suelo.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/suelos_ganaderos/51-cambios_en_suelo.pdf)
- Dane, J. H., Walker, R. H., Bahaminyakamwe, L., & Belcher, J. L. (2006). Tall fescue and hybrid bluegrass response to soil water matric head limits. *Agricultural water management*, 86(1-2), 177-186.
- Carrow, R.N., 1996. Drought avoidance characteristics of diverse tall fescue cultivars. *Crop Sci*. 36, 371-377.
- Brown, C. A., Devitt, D. A., & Morris, R. L. (2004). Water use and physiological response of tall fescue turf to water deficit irrigation in an arid environment. *HortScience*, 39(2), 388-393.
- Steduto, P.; Hsiao, T.; Fereres, E.; Raes, D. 2012. Crop Yield Response to Water. FAO Irrigation and Drainage Paper. Nº 66. Rome, FAO. 510 pp
- Hayashi RM, Dogliotti S. Water productivity in maize, at different levels of deficit irrigation in humid climate. *Agrocienc Urug* [Internet]. 2021 Apr. 7 [cited 2024 Jan. 24];25(1):e390. Available from: <https://agrocenciauruguay.uy/index.php/agrociencia/article/view/390>
- Kiessling R. J.; Galantini, J. A.; Iglesias, J. O.; Krüger, H. y Venanzi, S. 2008. Efecto del pisoteo animal sobre la porosidad del suelo en lotes bajo siembra directa continua. En: Actas del XXI Congreso Argentino de la Ciencia del suelo. San Luis. Ed digital. Disponible en: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-7\\_\\_efecto\\_del\\_pisoteo\\_animal.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-7__efecto_del_pisoteo_animal.pdf)
- Adhikari, D. D., Goorahoo, D., Zoldoske, D., & Norum, E. (2006). Standardized testing of soil moisture sensors used in "smart controller" irrigation systems. In Zazueta, F., Kin, J., Ninomiya, S., & Schiefer, G. (Eds.), *Proceedings of the 4th World Congress on Computers in Agriculture and Natural Resources* (pp. 98-103). American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE).
- Nautiyal, M., Grabow, G. L., Huffman, R. L., Miller, G. L., & Bowman, D. (2014). Residential irrigation water use in the Central Piedmont of North Carolina. I: Measured use and water requirements. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 141, 04014061. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000819](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000819)
- FAO. 2020. The State of Food and Agriculture 2020. Overcoming water challenges in agriculture. Rome. pp 210. <https://doi.org/10.4060/cb1447en>.
- De León, L., Delgado, S., 2012. Proyecto de Desarrollo de Capacidades para el Uso Seguro de Aguas Servidas en Agricultura. Producción de Aguas Servidas, Tratamiento y Uso en Uruguay. [http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/378/mod\\_page/content/148/URUGUAY\\_wastewater%20production%20treatment%20and%20use.pdf](http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/378/mod_page/content/148/URUGUAY_wastewater%20production%20treatment%20and%20use.pdf).
- Hill, M. 2016. Riego en Uruguay: estrategias para su desarrollo. Anuario OPYPA 2016. [https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/riego\\_en\\_uruguay\\_estrategias\\_para\\_su\\_desarrollo\\_1.pdf](https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/riego_en_uruguay_estrategias_para_su_desarrollo_1.pdf)
- DINAGUA - Aprovechamientos de los Recursos Hídricos vigentes 2019. Recuperado de <https://catalogodatos.gub.uy/dataset/ambiente-dinagua-aprovechamientos-de-los-recursos-hidricos-vigentes-2019>
- Facultad de Agronomía. (2019). El agua para riego. Recuperado de [http://www.fagro.edu.uy/images/stories/noticias/principal/2021/02\\_Febrero/D%C3%ADa\\_del\\_agua\\_Unidad\\_de\\_Hidrolog%C3%ADa.pdf](http://www.fagro.edu.uy/images/stories/noticias/principal/2021/02_Febrero/D%C3%ADa_del_agua_Unidad_de_Hidrolog%C3%ADa.pdf)
- DIEA MGAP (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, Dirección de Investigaciones y Estadísticas Agropecuarias, UY). 2018. Informe sobre riego en Uruguay 2018.
- Pereira, L. S., de Juan, J. A., Picornell, M. R. y Tarjuelo, J. M. (2010). El riego y sus tecnologías. Albacete: CREA-UCLM.

- Fernández Gómez, R., Milla, M., Ávila, R., Berengena, J., Gavilan, P., Oyonarte, N. (2010). Manual de Riego para Agricultores. Consejería de Agricultura y Pesca, Sevilla. Recuperado de [https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160940Riego\\_por\\_superficie\\_baja.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160940Riego_por_superficie_baja.pdf)
- García Petillo, M. (2011). Análisis crítico del riego por gravedad en las condiciones de Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 15(2), 76-82.
- García Petillo, M., García, C., Bonino, C., Arrieta, I., Delgado, D. y Camio, G (2014). Generación de tecnología para el diseño de riego por melgas, adaptada a las condiciones del Uruguay Primer aporte. *RIEGO SUPLEMENTARIO EN CULTIVOS - FPTA-INIA 55*, 45-58.
- Puppo, L.; Aguerre, M.; Camio, G.; Hayashi, R. y Morales, P. (2018). Evaluación del riego por melgas en los suelos del sur del Uruguay. Uso del modelo WinSRFR, resultados preliminares. *Agrociencia Uruguay*, 22(2), 1-14.
- Corcoll, M., Malvasio, M., 2020. Efecto de diferentes láminas de riego sobre algunos de los Parámetros hidráulicos del riego por melgas. Tesis de Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 55p.
- Bourdin, A., Burgos, M., Franco Fraguas, J. 2015. Respuesta al riego suplementario y desarrollo de tecnologías de riego por melgas en pasturas artificiales. Tesis de Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 70p.
- Ribas, G. y Garcia, C. (2024). Performance assessment of furrow irrigation in two soils of different textures under high rainfall and field slope conditions. *Número especial de Agrociencias: Advances in Water in Agrosience* (en prensa).
- Bautista, E., Clemmens, A.J., Strelkoff, T.S., Schlegel, J., 2009. Modern analysis of surface irrigation systems with WinSRFR. *Agric. Water Manage.*, doi:10.1016/j.agwat.2009.03.007.
- Pascual, B. (1990). El riego: Principios y prácticas. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Kostiakov, A. N. 1932. On the dynamics of the coefficient of water-percolation in soils and on the necessity for studying it from a dynamic point of view for purposes of amelioration. *Transactions Congress International Society for Soil Science*, 6th, Moscow, Part A: 17-21
- Bautista, E; Schlegel, J.; Strelkoff, T. USDA 2012. Manual del usuario de WinSRFR 4.1. Departamento de Agricultura de EE. UU., Servicio de Investigación Agrícola. Centro de Investigación Agrícola de Tierras Áridas. 175 págs.
- Morábito, J., Salatino, S., Angella, G. y Prieto, D. (2008). Evaluación de campo al riego de los agricultores: Casos prácticos y ventajas para la difusión de la tecnología apropiada; asesoramiento a los regantes para la modernización de los regadíos y su ambientalidad. Trabajo presentado en las Jornadas sobre Ambiente y Riegos: Modernización y Ambientalidad, La Antigua, Guatemala.
- Walker, W. R; Prestwich, B.; Spofford, T. 2006. Development of therevised USDA–NRCS intake families for surface irrigation. *Agricultural Water Management*. 85 (1-2): 157-164.
- Marano RP, Ledesma F, Camussi G, Carnevale I. 2012. Uso de sondas FDR para balance de agua en suelo: calibración y aplicación. In *Actas XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo/1ª edición*. Ed. MNEMOSYNE, Mar del Plata. 10 p.
- Bautista, E., Clemmens, A.J., Strelkoff, T.S., Niblack, M., 2009. Analysis of surface irrigation systems with WinSRFR—Example application. *Agric. Water Manage.*, doi-org.proxy.timbo.org.uy/10.1016/j.agwat.2009.03.009.
- Brown, H. E., Moot, D. J. y Pollock, K. M. 2005. Herbage production, persistence, nutritive characteristics and water use of perennial forages grown over 6 years on a Wakanui silt loam. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 48, 423-439
- Demin, P. E.; Aguilera, J. J. 2012. Efecto del régimen de riego en el rendimiento de alfalfa para corte en el Valle Central de Catamarca, Argentina. *Rev. FCA UNCuyo*, 44(1):173-181
- Doorenbos, J. & Kassam, A. H. 1979. Yield response to water. *FAO Irrigation and Drainage Paper*. Nº 33. Rome, FAO. 212 pp.
- Haydock KP y Shaw NH (1975) The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 15, 663-670. <https://doi.org/10.1071/EA9750663>
- Kiessling R. J.; Galantini, J. A.; Iglesias, J. O.; Krüger, H. y Venanzi, S. 2008. Efecto del pisoteo animal sobre la porosidad del suelo en lotes bajo siembra directa continua. En: *Actas del XXI Congreso Argentino de la Ciencia del suelo*. San Luis. Ed digital. Disponible en: [https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-7\\_\\_efecto\\_del\\_pisoteo\\_animal.pdf](https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-7__efecto_del_pisoteo_animal.pdf)
- Kloster AM., Zaniboni CM y Sardiña C. (2022). Manejo y utilización de pasturas de alfalfa para producción de carne. En Daniel Basigalup H (Eds), *Investigación, producción e industrialización de la alfalfa en Argentina*. INTA. (pp. 507- 549)
- McKENZIE, J. S.; PAQUIN, R.; DUKE, S. H. Cold and heat tolerance. In: HANSON, A. A.; BARNES, D. K.; HILL, R. R. (Ed.). *Alfalfa and alfalfa improvement*. Madison: American Society of Agronomy, 1988. p. 259-302. (Agronomy, 29).
- Moot D. J. (2012) An overview of dryland legume research in New Zealand. *Crop and Pasture Science* 63, 726-733. <https://doi.org/10.1071/CP12103>
- Russelle MP. The Alfalfa yield gap: a review of the evidence. *Forage and grazinglands*. 2013, 11, 1–8. Doi: <https://doi.org/10.1094/FG-2013-0002-RV>
- Sawchik, J.; Mas, C.; Pérez Gomar, E.; Bermúdez, R.; Pravia, V.; Giorello, D; Ayala, W. (2010) Riego suplementario en pasturas: Antecedentes de investigación nacional. En *Potencial del riego extensivo en Cultivos y Pasturas*. 1er. Seminario Internacional. Paysandú. pp. 141-153
- Sheaffer, CC., Tanner, CB. y Kirkham, MB. 1988. Alfalfa water relations and irrigation. En: Hanson, AA., Barnes, DK. y Hill, RR., Jr. eds. *Alfalfa and alfalfa improvement*. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Vol. 29, 373-409.
- Spada, C. 2007. Avances en alfalfa (Ensayos territoriales). *EEA INTA Manfredi*, 17:61-62.

#### Licenciamiento

Reconocimiento 4.0 Internacional. (CC BY)



