

Brechas de rendimiento de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) en los sistemas ganaderos de Argentina

José Martín Jáuregui^{1,2} | Jonathan J. Ojeda³ | Germán Darío Berone^{4,5} |
Fernando Alfredo Lattanzi⁶ | Javier Baudracco¹ | Santiago Rafael Fariña⁶ |
Derrick J. Moot⁷



¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral, Kreder 2807, Esperanza, Santa Fe, 3080, Argentina

² Gentos S.A., Dardo Rocha 3197, Martínez, Buenos Aires, 1640, Argentina

³ Regrow Ag, Brisbane, Queensland, Australia

⁴ EEA Balcarce, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Ruta 226, Km 73,5, Balcarce, Buenos Aires, 7620, Argentina

⁵ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Ruta 226, km 73,5, Balcarce, Buenos Aires, 7620, Argentina

⁶ Programa Pasturas y Forrajes, Estación Experimental La Estanzuela, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Colonia, 70000, Uruguay

⁷ Facultad de Agricultura y Ciencias de la Vida, Campo Centro de Investigación, Apartado de Correos 7647, Lincoln Universidad de Canterbury, Nueva Zelanda

Correspondence

José M. Jáuregui, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral, Kreder 2805, Esperanza, Santa Fe, 3080, Argentina.

Correo electrónico: josemartinjauregui@gmail.com

Abstracto

Argentina cultiva la segunda mayor superficie de alfalfa del mundo. A pesar de su importancia...

En consecuencia, existe una brecha de rendimiento entre los rendimientos potenciales y los medidos, pero los factores contribuyen a...

Las razones para ello aún no están claras. Este estudio tuvo como objetivo identificar factores de gestión y

La investigación necesita reducir la brecha de rendimiento de la alfalfa para mejorar los sistemas ganaderos en esta región. Utilizamos datos meteorológicos junto con modelos de cultivo de alfalfa y

rendimientos medidos de la Red Nacional de Evaluación de Cultivares de Alfalfa (NLCEN) a

cuantificar la brecha de rendimiento de la alfalfa en nueve sitios ubicados en la Pampa argentina

(entre los paralelos 30–45S y los meridianos 58–65W) y tres sitios fuera de la

Pampas. Específicamente, utilizamos el modelo desarrollado por McCall y Bishop-Hurley.

(2003), adaptado y calibrado para alfalfa en Argentina por Berone et al. (2017) a

estimar el rendimiento potencial (RP) para 12 ubicaciones (tres de regadío y nueve de secano),

y comparó esos resultados con los rendimientos medidos del NLCEN para calcular el rendimiento.

brechas. Encontramos que la radiación fotosintéticamente activa (PAR) y las temperaturas promedio

disponibles fueron suficientes para lograr 21,5 ± 3,7 t de materia seca (MS) ha⁻¹ año⁻¹ bajo

condiciones de secano (entornos con una precipitación media anual de entre 400 y 1200 mm).

Sin embargo, el rendimiento promedio medido del NLCEN fue de 16,8 ± 2,4 t MS ha⁻¹ año⁻¹ (una brecha del 22%). Los rendimientos potenciales oscilaron entre 10 y 25 t MS ha⁻¹ año⁻¹ en condiciones de secano y entre

25 y 39 t MS ha⁻¹ año⁻¹ para cultivos de regadío. A medida que lati-

El estudio aumentó los lugares de secano que tuvieron rendimientos más bajos, mientras que los lugares de

regadío tuvieron rendimientos más altos. Se predijo que agregar riego aumentaría los rendimientos a 35,4 ± 2,0 t MS ha⁻¹ año⁻¹ (una brecha del 53%) en los sitios de secano. Para los lugares de regadío, la brecha fue

menor (27,3 ± 3,5 vs 32,4 ± 2,2 t MS ha⁻¹ año⁻¹ para el rendimiento medido vs potencial, respectivamente).

De manera activa), y muy probablemente vinculado a deficiencias de nutrientes. Además, el manejo actual del pastoreo

Se estimó que lograría aproximadamente un 50% menos de eficiencia de pastoreo que la óptima.

manejo del pastoreo. Nuestros resultados demostraron que la industria ganadera puede

potencialmente aumentar la producción animal en las condiciones ambientales actuales.

Los cuatro ajustes principales para lograr esto son el mayor uso del riego, el mayor uso de

Fertilizantes, inicio más temprano del pastoreo en primavera y aumento de la carga ganadera.

Se prevé que los costos de riego, fertilizantes y manejo de pastoreo sean pequeños.

en comparación con los posibles aumentos en los ingresos y, por lo tanto, en la rentabilidad disponible para la carne de res y los productores lecheros que utilizan la alfalfa como principal fuente de alimento en Argentina.

PALABRAS CLAVE

Alfalfa, manejo de cultivos, manejo de pastoreo, *Medicago sativa* L., rendimiento potencial

1 | INTRODUCCIÓN

La alfalfa es una leguminosa forrajera perenne que se cultiva en más de 32 millones de hectáreas en todo el mundo (Cash, 2009). En comparación con otras especies C3, tiene una Mayor potencial de producción debido a su mayor tasa fotosintética (2,5 veces mayor que la del raigrás perenne; Sheehy, Woodward, Jones y Windram, 1979) y su capacidad para extraer agua de las capas profundas del suelo.

(por debajo de 3 m) (Brown, Moot y Pollock, 2003; Sheaffer, Tanner y Kirkham, 1988). Por lo tanto, continúa creciendo en condiciones secas cuando las especies de raíces menos profundas han agotado su suministro de agua (Hayes et al., 2010). La alfalfa también proporciona forraje de alto valor nutritivo constante (Gierus, Kleen, Loges y Taube, 2012). Estas características dan como resultado una mayor calidad y estabilidad de la producción de forraje en comparación con otras especies perennes (Mills, Lucas y Moot, 2015).

Los cultivos de alfalfa también apoyan una serie de servicios agroecosistémicos adicionales. Proporcionan importantes aportes de nitrógeno (N) a través de la fijación biológica de N₂. A una tasa de 20–25 kg N t MS⁻¹ (Peoples & Baldock, 2001), dependiendo de la fertilidad del suelo (Lüscher, Hartwig, Suter, & Nösberger, 2000), los cultivos de alfalfa pueden fijar hasta 500 kg N ha⁻¹ año⁻¹ (Berenji, Moot, Moir, & Ridgway, 2015; Jáuregui et al., 2019; Racca & González, 2007). El sistema radicular de la alfalfa también es conocido por aumentar el contenido de carbono orgánico del suelo y el tamaño y la estabilidad de los agregados del suelo (Angers, 1992). Además, se ha demostrado que los cultivos de alfalfa pueden reducir la nivel de la capa freática y el consiguiente riesgo de inundación en suelos franco-arenosos con capas freáticas poco profundas (Nosetto, Paez, Ballesteros y Jobbágy, 2015) debido a su tasa de evapotranspiración comparativamente alta (Ridley et al., 2001).

La Pampa argentina es la segunda zona de cultivo de alfalfa más grande del mundo (Hall, Rebella, Ghersa y Cullot, 1992). Cultivos de alfalfa representan el 41% del área sembrada con pastos perennes (Figura 1a) y cubren 1 Mha como rodales puros (Figura 1b) y otros 0,5 Mha como rodales mixtos (Figura 1c), particularmente en las provincias lecheras centrales de Córdoba, Santa Fe y Buenos Aires (INDEC, 2021). La alfalfa ha tra- Tradicionalmente ha sido la principal fuente de energía y proteína para las granjas bovinas y lecheras argentinas, principalmente como forraje cosechado mediante pastoreo directo (Basigalup y Ustarroz, 2007; INDEC, 2021).

Sin embargo, en las últimas dos décadas, la alfalfa ha perdido progresivamente relevancia. avance en las granjas, ya que ha sido reemplazado gradualmente por cultivos forrajeros anuales (principalmente maíz [*Zea mays* L.] y sorgo [*Sorghum* spp.], pero también raigrás anual [*Lolium multiflorum* L.] y avena [*Avena sativa* L.], entre otros) destinados típicamente a ensilaje. De hecho, el área ocupada por pastos perennes en las granjas lecheras es actualmente del 50%, pero ha disminuido un 0,6% anual desde 2001 (Gastaldi et al., 2020). Específicamente,

La superficie total ocupada por alfalfa (en cultivos puros y mixtos) tiene disminuyó de más de 5 Mha en 2002 (INDEC, 2002) a aproximadamente 1,5 Mha en 2018 (INDEC, 2021). Este cambio en el uso de la tierra ha llevado a una intensificación de la producción de forraje, con aumentos en el área ocupada por cultivos anuales (Ojeda, Caviglia, Agnusdei y Errecart, 2018), más área cultivada para forraje, mayores tasas de fertilización con N y una disminución del pasto (Jáuregui, Berhongaray y Ojeda, 2019; Lazzarini et al., 2019; Lazzarini, Baudracco, Demarchi, Lovino y

Jáuregui, 2014). De hecho, el área ocupada con cultivos de ensilaje para explotaciones de carne y leche se ha triplicado en los últimos 15 años (CACF, 2020).

La sustitución de pastos perennes por cultivos anuales para ensilaje es

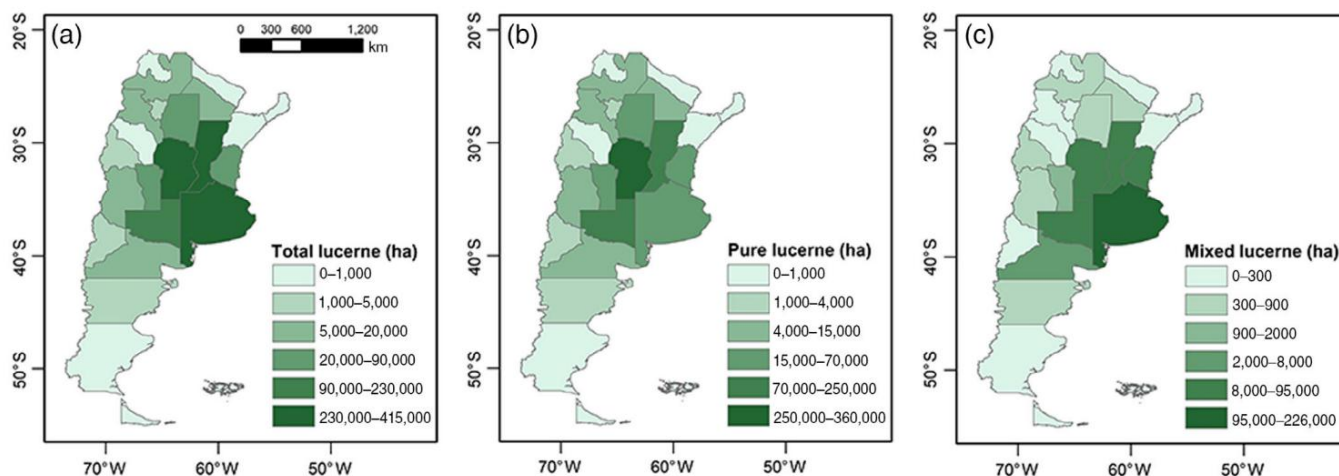


FIGURA 1 Áreas de Argentina sembradas con (a) alfalfa, en (b) cultivos puros y (c) cultivos mixtos (INDEC, 2021)

probablemente vinculado a un proceso de cosecha más fácil (cosecha una vez el cultivo anual para ensilaje frente al pastoreo o corte 8-10 veces al año en pastos perennes) y una productividad general más alta (Ojeda, Caviglia, Agnusdei y Errecart, 2018). Además, la utilización promedio bajo pastoreo es generalmente baja para los cultivos de alfalfa (Baudracco, Lopez-Villalobos, Holmes y Macdonald, 2010; Lazzarini et al., 2019), lo que resulta en que se coseche menos forraje por hectárea por año en comparación con los cultivos de ensilaje (Jauregui, Berhongaray y Ojeda, 2019). Sin embargo, el uso de cultivos anuales y suplementos, en lugar del pastoreo in situ de pastos perennes, conlleva mayores costos de producción por kg de producto animal (Ramsbottom, Horan, Berry y Roche, 2015; Taylor, Crosson, Kelly y

McGee, 2018; White, Benson, Washburn y Green Jr., 2002). Por lo tanto, El aumento de la productividad y la utilización de la alfalfa pastoreada en las granjas puede ofrecer una oportunidad para una producción más sostenible, productiva y financieramente viable. Granjas ganaderas resilientes de carne y leche (Berone, Cerdeña y Moot, 2020; Jauregui, Candiotti, Lazzarini y Baudracco, 2020; Jauregui, Rostagno y Savage, 2020; Neal y Roche, 2019). Esto es particularmente relevante en países como Argentina, donde la producción ganadera y de cereales no está subvencionada y, por lo tanto, los sistemas están expuestos a grandes fluctuaciones de precios. En este sentido, es necesaria una evaluación precisa de la brecha entre los rendimientos potenciales y alcanzables (es decir, la brecha de rendimiento) para cuantificar cualquier oportunidad perdida para los sistemas ganaderos de Argentina.

Una opción para determinar la variabilidad interanual e intraanual de

El objetivo para optimizar el rendimiento de los pastos es utilizar un enfoque integral de sistemas agrícolas (pequeñas explotaciones).

Sin embargo, dichos estudios requieren mediciones a largo plazo que son difíciles de realizar tanto práctica como financieramente y también están limitados a unos pocos tratamientos y entornos que limitan su amplia relevancia. El uso de modelos biofísicos de cultivos proporciona una alternativa útil que complementa los estudios de campo y ofrece una forma eficiente de ampliar el alcance de los análisis (Christie, Smith, Rawnsley, Harrison y Eckard, 2018; Insua, Machado, Garcia y Berone, 2021; Ojeda, Caviglia, Irisarri y Agnusdei, 2018; Snow et al., 2014). La combinación de modelos de simulación con observaciones de campo/granja fortalece el valor del análisis para cuantificar las brechas de rendimiento (Van Ittersum et al., 2013). Cuantificar las brechas de rendimiento en pastos es diferente a hacerlo para cultivos de grano. En los cultivos de grano, el rendimiento se refiere a la producción terminal de grano al final de su período de crecimiento. Por el contrario, en los cultivos forrajeros, esta última etapa (es decir, la formación de semillas) suele suprimirse a medida que el cultivo se consume o se cultiva. se sirve antes de que se desarrollen las semillas. Esta supresión es, de hecho, una gestión. decisión de miento. Como regla general para la alfalfa, existe una relación negativa entre la frecuencia de cosecha y el rendimiento, aunque esta relación depende del porcentaje de radiación interceptada. Arriba Con una interceptación del 95%, generalmente no hay más acumulación neta de biomasa (Berone, Bertrám y Di Nucci, 2021).

En este estudio, estimamos la brecha de rendimiento de la alfalfa como la diferencia entre rendimientos potenciales y medidos. El rendimiento potencial (RP) se estimó apareado utilizando un modelo de pastizal desarrollado inicialmente para pastos perennes (McCall y Bishop-Hurley, 2003) y adaptado para alfalfa en ambientes argentinos (Berone et al., 2017). Los rendimientos medidos fueron seleccionados de una Evaluación Nacional Estandarizada de Cultivares de Alfalfa Red (NLCEN) en 12 ubicaciones desde 1994 hasta 2016 (Arolfo et al., 2020). El objetivo de este estudio fue comprender los principales impulsores Rendimiento subyacente de la alfalfa y brechas de rendimiento en las principales zonas de producción.

de Argentina para identificar prácticas ambientales y de manejo que podrían aumentar el rendimiento cosechado de alfalfa en el ganado. (es decir, granjas lecheras y de carne) sistemas de Argentina.

2 | MÉTODOS

2.1 | Fuentes de datos

Los rendimientos medidos se obtuvieron de la NLCEN (Red de Evaluación de Cultivos de Alfalfa; Arolfo et al., 2020). Este experimento de campo La red recopila datos de rendimiento de ensayos comparativos de genotipos de alfalfa que miden la producción de materia seca (biomasa aérea) bajo corte. Según el protocolo estándar (Arolfo et al., 2020), todos los cortes se realizan al 10 % de floración o cuando los brotes de la corona alcanzan los 5 cm. Cada experimento se inicia cada 2 años y suele durar entre 3 y 4 años. Los datos se agrupan en dos conjuntos: genotipos semidormantes (SD; grupos de dormancia otoñal 6 y 7) y activos en invierno (WA; grupos de dormancia otoñal 8, 9 y 10). En este artículo, informamos sobre los rendimientos promedio de 3 años de cultivares WA que estuvieron por encima del percentil 90 para rendimiento, período-ning 22 años de datos (11 siembras, de 1994 a 2016). Los datos fueron de 12 estaciones experimentales (Figura 2) del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) en Argentina: nueve eran de secano (Anguil, Concepción del Uruguay, El Colorado, General Villegas, Manfredi, Marcos Juárez, Paraná, Rafaela y Villa Mercedes) y tres

were irrigated (Hilario Ascasubi, Santiago del Estero and Viedma).

Para estimar el PY para estas ubicaciones, utilizamos el modelo desarrollado.

Abierto por McCall y Bishop-Hurley (2003), adaptado y calibrado para alfalfa en Argentina por Berone et al. (2017). Este es un modelo simple basado en procesos diseñado para simular las interacciones entre el clima, el agua del suelo y el manejo de la defoliación en el crecimiento de la biomasa del pasto y el balance hídrico. Brevemente, el modelo estima el crecimiento de la planta aérea a partir del producto de la eficiencia del uso de la radiación (RUE, kg MS MJ⁻¹) y la radiación solar interceptada por el pasto (IPAR, MJ m² día⁻¹), que está relacionada con la cantidad real de masa de forraje verde presente en el dosel del cultivo. Se calcula diariamente un factor de agua del suelo.

para estimar la tasa de crecimiento de biomasa en relación con un balance hídrico del suelo estándar y la evapotranspiración. El modelo requiere información meteorológica diaria de radiación solar incidente (MJ m² día⁻¹), temperatura máxima y mínima (°C), precipitación (mm), evapotranspiración potencial. transpiración (PET, mm) y la capacidad de retención de agua disponible del suelo (mm). Para cada una de las 12 ubicaciones, la capacidad de retención de agua disponible del suelo se definió de acuerdo con las propiedades del suelo que fueron reportadas por la Red de Evaluación de Cultivares de Alfalfa (Arolfo et al., 2020).

Los datos de pH del suelo, Bray P (ppm) y materia orgánica (%) de cada sitio se pueden encontrar en la Tabla S2. Los datos climáticos diarios se obtuvieron de la Predicción de la NASA sobre los recursos energéticos mundiales (POWER) (NASA, 2021). Esta base de datos ofrece datos climáticos históricos para ubicaciones ciones basadas en su latitud y longitud, y ha demostrado una capacidad predictiva precisa en Argentina (Aramburu, Merlos, et al., 2015).

Para cada sitio, se realizó una simulación de 30 años para determinar el año post-año (PY). en condiciones de secano y riego (sin limitaciones de agua), suponiendo que no haya deficiencias de nutrientes ni ningún problema químico o físico del suelo.

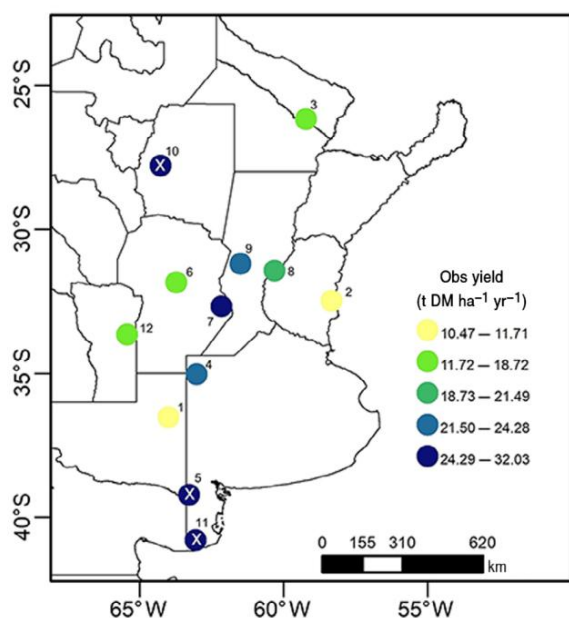


FIGURA 2 Rendimiento medio medido (t MS ha⁻¹ año⁻¹; Rendimiento observado) de la Red Nacional de Evaluación de Cultivares de Alfalfa en

Doce estaciones experimentales del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) en la Pampa argentina. El número de años considerados para el cálculo de la media se puede consultar en la Tabla SS1.

Las cruces blancas dentro de los círculos indican zonas irrigadas.

limitación aparte de la limitada capacidad de retención de agua. Se obtuvieron datos de acumulación anual de forraje a largo plazo (1994–2020). El manejo de la cosecha se estableció para cortar la biomasa del pasto el último día de cada mes (es decir, 12 veces al año) y la biomasa residual de pasto verde se estableció en 0,5 t MS ha⁻¹ año⁻¹. Se consideró que dicho valor era suficiente para prevenir la aparición de una fase de retraso inicial del rebrote (Moot et al., 2021). La salida del modelo evaluada fue la acumulación anual de forraje (t MS ha⁻¹ año⁻¹). El nivel de concordancia entre la salida del modelo y el rendimiento anual observado se evaluó utilizando regresión lineal para cada estrategia/ubicación de riego y estado resumen.

Se calcularon las estadísticas. Calculamos el coeficiente de determinación.

(R²) para evaluar la proporción de la variación en PY y precipitación que fue predicha por la latitud. Ecuaciones de regresión ($PY = ab$; $precipitación = a \text{ latitud} + b$, donde a es la pendiente y b es la intercept) también se calcularon y presentaron en los gráficos XY. El siguiente- Se utilizaron los siguientes paquetes de Python para crear los gráficos x-y: numpy (<https://numpy.org>), pandas (<https://pandas.pydata.org>), seaborn (<https://seaborn.pydata.org>), matplotlib (<https://matplotlib.org>) y scipy (<https://www.scipy.org>).

2.2 | Estimación de la brecha de rendimiento

Para realizar un análisis de brechas de rendimiento, comparamos los rendimientos medidos (es decir, observados) con los rendimientos potenciales (RP) en condiciones de secano y de regadío. Las brechas de rendimiento se estimaron de la siguiente manera:

$$\text{Brecha de rendimiento de la alfalfa } \% = \frac{\text{Rendimiento de observaciones del año anterior} - \text{PY}}{\text{PY}} \times 100$$

donde PY simulado por el modelo de cultivo en condiciones de secano y de regadío y Obs Yield indica datos de rendimiento medidos de la NLCEN.

3 | RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 | Rendimientos medidos y potenciales

Los rendimientos medidos variaron de 7 a 10 t MS ha⁻¹ año⁻¹ en suelos con una capacidad limitada de retención de agua (ya sea por una textura pesada o un perfil poco profundo), hasta 22–27 t MS ha⁻¹ año⁻¹ bajo riego o en suelos profundos en condiciones de secano (Arofo et al., 2020; Spada et al., 2008).

(Figura 2). Estos rendimientos son consistentes con los de otras áreas templadas y subtropicales del mundo. En Australia, por ejemplo,

Los rendimientos anuales obtenidos en experimentos de corte variaron de 14,7 a 21,6 t MS ha⁻¹ año⁻¹ en entornos subtropicales de Queensland (Lowe, Gramshaw, Bowdler y Ludke, 1985) y entre 5,2 y 19,9 t MS ha⁻¹ año⁻¹ en ambientes templados de Tasmania (Pembleton, Donaghy, Volenec, Smith y Rawnsley, 2010). En Lincoln, Nueva Zelanda, los datos de ensayos de pastoreo indicaron rendimientos anuales de 10 t MS ha⁻¹ a 21 t MS ha⁻¹ año⁻¹ en condiciones de secano (Mills et al., 2015) y de regadío (Brown y Moot, 2004), respectivamente. En el suroeste de Uruguay, Otero y Castro (2019) analizaron 15 años de datos de experimentos de corte de alfalfa de secano e indicaron que, en promedio, el rendimiento de la alfalfa fue de aproximadamente 13 t MS ha⁻¹ año⁻¹.

Los rendimientos potenciales oscilaron entre 10 y 25 t MS ha⁻¹ año⁻¹ en condiciones de secano (Figura 3a), y entre 25 y 39 t MS ha⁻¹ año⁻¹ para cultivos de regadío (Figura 3b). A medida que aumentaba la latitud, las zonas de secano presentaban rendimientos menores, mientras que las zonas de regadío presentaban rendimientos mayores (Figura 3c). Los cambios en la latitud representan cambios en la temperatura, la radiación fotosintéticamente activa incidente y la probabilidad de estrés hídrico del cultivo. Menor rendimiento potencial a medida que aumenta la latitud. Los estudios aumentaron en condiciones de secano y se vincularon con una menor precipitación. tación (Figuras 3d y Figura S1b).

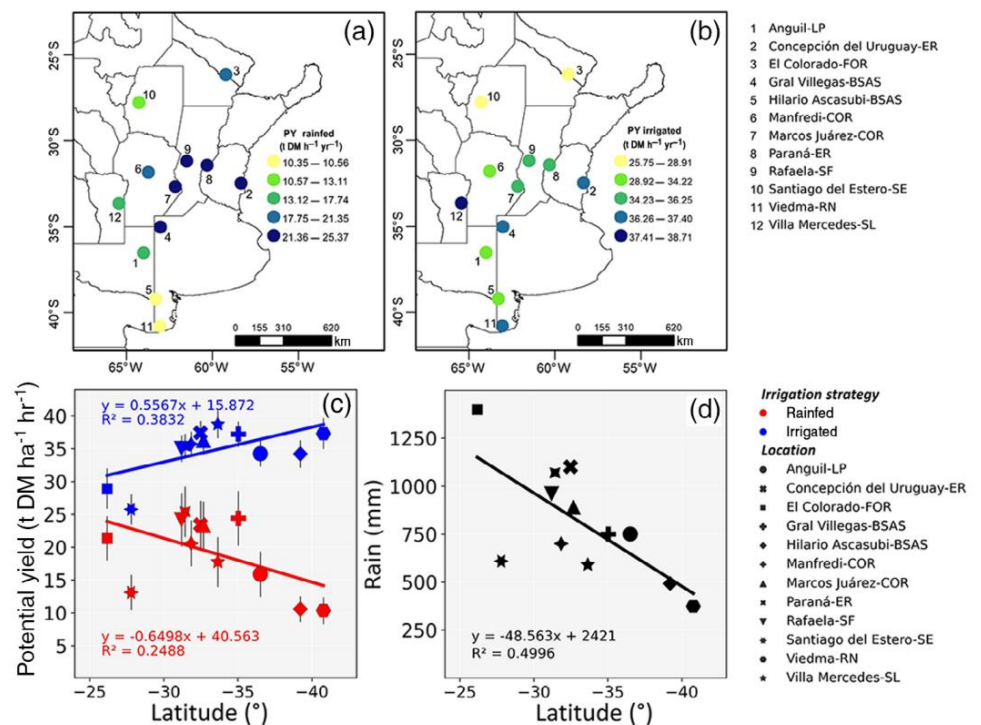
Las brechas de rendimiento fueron muy variables y pasaron de una brecha negativa (Marcos Juárez y Santiago del Estero) a aproximadamente el 60% (Figura 4). Las brechas negativas probablemente estuvieron vinculadas a fallas del modelo de cultivo para captar características específicas del suelo de cada ubicación.

ción. Por ejemplo, hay evidencia de que para algunos sitios de Argentina el nivel freático puede contribuir hasta con el 25% del agua total de alfalfa.

uso (Dardanelli y Collino, 2002), un factor que el modelo de McCall no lo considera. La diferencia de rendimiento fue mayor para las zonas de secano que para las de regadío (27% frente a 14%). Los mayores rendimientos medidos en condiciones de secano se lograron alrededor de los 62 grados de longitud y entre los paralelos 31 y 35 (que es equivalente al área de 800–900 mm año⁻¹ para nuestra región de estudio; Figura S1b). Tres experimentos de campo se realizaron en esa área (General Villegas, Marcos Juárez y Rafaela; Figura 4) que mostraron la menor diferencia de rendimiento en comparación con las otras ubicaciones (Figura 4).

FIGURA 3 Varianza espacial del rendimiento potencial (t MS ha⁻¹ año⁻¹; PY) estimado utilizando el modelo desarrollado por Berone et al. (2017) en condiciones de secano (a) y de regadío (b), regresión entre PY y latitud en condiciones de secano (rojo) y de regadío (azul) (c) y (d) lluvia acumulada anual (Lluvia) frente a latitud en 12 ubicaciones a lo largo de la

Pampas argentinas. Las barras verticales en el panel (c) representan la desviación estándar de PY calculada en años. Los errores estándar de las estimaciones de los parámetros (pendiente e intersección) y el valor de la varianza residual (10 grados de libertad) para las regresiones fueron 0,223, 7,5 y 98 para la línea azul (panel c), 0,357, 11,9 y 250 para la línea roja (c), y 15,368, 514,5 y 463.889 para la línea negra en (d)



3.2 | Disponibilidad de agua: El principal factor determinante de la brecha de rendimiento

La región analizada de Argentina tiene un clima que varía de subtropical húmedo a templado húmedo (Cfa y Cfb en la Clasificación de Köppen-sistema de ficación; McKnight y Hess, 2002), en un gradiente de norte a sur (Peel, Finlayson y McMahon, 2007). La precipitación media anual (Figura S1a) varía de 400 mm en el SO a más de 1200 mm en el NE (Alvarez y Lavado, 1998). Temperaturas medias anuales

(Figura S1b) aumenta de 14 °C en la parte más suroccidental a 24 °C en el noreste (Hall et al., 1992). El área está sujeta a eventos de heladas y la temperatura disminuye durante estos eventos de norte a sur. Incluso cuando las estaciones son claramente distinguibles, la parte norte de la región de estudio tiene inviernos suaves y períodos libres de heladas más largos en comparación con la parte sur. Los valores de evapotranspiración potencial (Figura S1c) están entre 900 y 1400 mm yr⁻¹ (Serio, Antelo y Zalazar, 2019). La radiación fotosintéticamente activa (PAR; Figura S1d) varía desde aproximadamente 12 MJ m² día⁻¹ en diciembre hasta menos de 4,8 MJ m² día⁻¹ en junio (NASA, 2021).

La disponibilidad de agua en el suelo fue responsable de un gran componente de la brecha de rendimiento. La brecha entre el rendimiento por planta irrigado y el de secano fue mayor a medida que aumentaba la latitud (Figura 3c), y esto estuvo vinculado a la disminución de la precipitación en un gradiente de norte a sur (Figura 3d). El rendimiento promedio medido (Figura 2) fue de aproximadamente 12 ± 2,7 t MS ha⁻¹ año⁻¹, mientras que el rendimiento por planta bajo irrigación (Figura 3b) fue de 34,7 ± 2,1 t MS ha⁻¹ año⁻¹ (brecha de aproximadamente el 65%). Los déficits en la disponibilidad de agua en el suelo causan una reducción en el tamaño de las hojas, lo que resulta en un índice de área foliar (IAF) más bajo. Luo, Li, Yan, Liu, y Turner (2020) encontraron que los cultivos de alfalfa sometidos a un estrés hídrico severo (45% de capacidad de campo) tenían un tamaño de hoja un 60% menor que aquellos mantenidos al 85% de la capacidad de campo del agua del suelo. Collino, Dardanelli, De Luca y

Racca (2005) evaluó los efectos del riego en Manfredi (localidad 6) y encontró un aumento del 40% en el rendimiento para cultivos de alfalfa irrigados (20 t MS ha⁻¹ año⁻¹) en comparación con cultivos de secano (14 t MS ha⁻¹ año⁻¹). Los autores vincularon esto a un aumento en la PAR absorbida en condiciones de riego. Incluso bajo riego, los cultivos de alfalfa podrían experimentar estrés hídrico temporal, particularmente si el cultivo no se riega con frecuencia. En un experimento realizado en una región árida de Argentina (Catamarca), Demin y Aguilera (2012) indicaron una disminución del 65% en el rendimiento de alfalfa para cultivos irrigados con poca frecuencia (aproximadamente 9 t MS ha⁻¹ año⁻¹) en comparación con cultivos irrigados con frecuencia (24 t MS ha⁻¹ año⁻¹), incluso cuando aplicaron la misma cantidad.

de agua. De manera similar, Saeed y El-Nadi (1997) indicaron aproximadamente Reducción del 50% en el LAI de la alfalfa sometida a riego intenso pero poco frecuente en comparación con riego ligero y frecuente. Vincularon esto a una reducción tanto en el tamaño de las hojas como en el tamaño (y densidad) de tallos. Los costos promedio de riego pueden fluctuar entre US\$ 0,3 y 0,5 mm¹ en Argentina (Zappi, 2012), mientras que la eficiencia relativa del uso del agua (kg MS mm⁻¹) varía de 10 a 25 (Collino et al., 2005; Ojeda, Caviglia, Agnusdei y Errecart, 2018). Por lo tanto, por US\$ 0,5 invertidos (aproximadamente 1 mm de riego), se puede esperar un aumento en el rendimiento de MS de alfalfa de 10 a 25 kg.

El modelo utilizado para simular rendimientos potenciales en este estudio no tener en cuenta las diferencias específicas del suelo que podrían haber afectado al agua capacidad de retención, y por lo tanto podría ser una fuente de incertidumbre. En este sentido, los suelos en el área de estudio son en su mayoría planos o ligeramente ondulados, por lo que son fácilmente cultivables, y el material parental dominante del suelo es el loess pampeano. (Pereyra, 2019). Los argiudolls y hapludolls (Clasificación de suelos del USDA) constituyen los tipos de suelo más representativos, con áreas menores de Entisoles y Alfisoles (Rubio, Pereyra y Taboada, 2019). Los Argiudolls suelen ser profundos (>2 m) y muy fértiles, mientras que los Hapludolls son menos profundos (<0,8 m) y menos fértil. La mayor parte del área carece de riego, por lo que

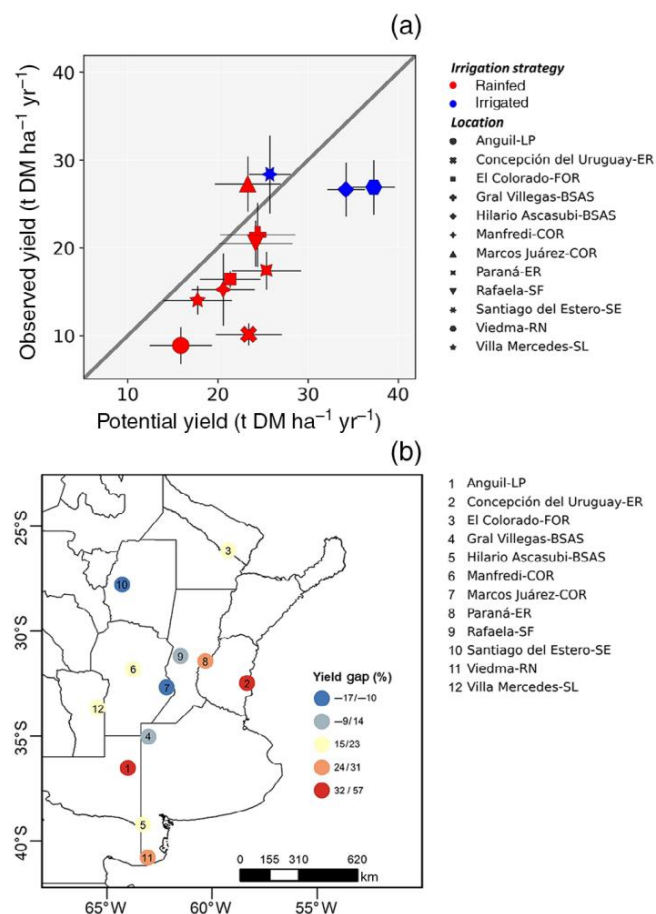


FIGURA 4 (a) Rendimiento medio medido de la Red Nacional de Evaluación de Cultivares de Alfalfa frente al rendimiento potencial estimado mediante el modelo desarrollado por Berone et al. (2017) en 12 estaciones experimentales del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) en la Pampa Argentina. La línea gris continua representa la función $y = x$ (es decir, relación 1:1). La diferencia entre la línea 1:1 y cada punto representa la brecha de rendimiento. Las barras verticales y horizontales representan la desviación estándar del rendimiento medido y potencial calculada a lo largo de los años, respectivamente. (b) Varianza espacial de la brecha de rendimiento con los rangos indicados por los colores mostrados.

La productividad depende de la capacidad de retención de agua del suelo y, por lo tanto, de la estructura, textura, densidad aparente y profundidad del suelo (Rubio & Taboada, 2013) para retener los aportes de la lluvia y la capa freática (Dardanelli y Collino, 2002).

3.3 | Otros factores que influyen en la brecha de rendimiento no considerados en este estudio.

Falta de información sobre los valores de pH del suelo presentados en el NLCEN impidió la discusión de posibles implicaciones de subóptimo o supraóptimo.

pH del suelo en las brechas de rendimiento. Sin embargo, el pH del suelo podría ser una limitación para la producción de alfalfa. La mayoría de los suelos en la Pampa argentina tienen un valor de pH neutro (6,5–7), pero en las últimas décadas algunas áreas han experimentado acidificación intensificada debido a la conversión de tierras (pastizales a tierras cultivables) y

eliminación intensa de calcio y potasio, particularmente por la soja (Glycine max L.) y cultivos de alfalfa (Alvarez et al., 2020). Específicamente, Los datos de suelo de 162 granjas lecheras en la Pampa argentina indicaron que el 50% de esas granjas tenían valores de pH inferiores a 6,5 (Jáuregui et al., 2014), lo que podría afectar potencialmente los rendimientos. En contraste, la salinidad fue muy bajo ($CE < 0,2$) en esas mismas granjas lecheras (Baudracco et al., 2014), y por lo tanto no se consideraría una limitación importante para la producción de alfalfa. Por otro lado, el drenaje deficiente, particularmente vinculado con niveles freáticos poco profundos y suelos de textura pesada, Se ha demostrado que compromete seriamente la persistencia de la alfalfa. (Berthongaray, Basanta y Jáuregui, 2019).

Tampoco hemos tenido en cuenta las limitaciones de macro o micronutrientes.

como posibles limitaciones a la producción de alfalfa. Sin embargo, hay evidencia de que densidad de que existe esta "brecha de nutrientes". De hecho, la mayoría de los ganaderos de vacas lecheras y de carne utilizan bajas cantidades de fertilizante (principalmente superfosfato y diafosfato de amonio) para la alfalfa, y generalmente solo se fertiliza durante el año de siembra. Baudracco et al. (2014) indicaron que de 162 granjas lecheras en toda la Pampa argentina, solo el 31% de ellas fertilizaban sus pastos de alfalfa. Esto sugiere que la deficiencia de nutrientes podría ser un problema común para este cultivo. La alfalfa requiere alrededor de 30 kg N t1 de MS producida (Meyer, Marcum, Orloff y Schmierer, 2007). Al igual que otros

En las leguminosas, la mayor parte de ese nitrógeno puede derivarse de la simbiosis con rizobios. Es posible que se necesiten inoculantes con cepas específicas de bacterias.

esencial para que este proceso sea eficiente en el campo (Jáuregui, Mills, et al., 2019). Sin embargo, el pH del suelo puede afectar negativamente la fijación de N. Cuando el pH del suelo cae por debajo de 6, el número de rizobios, las puntuaciones de nodulación y El rendimiento de la alfalfa disminuye drásticamente (Rice, Penney y Nyborg, 1977). La información obtenida de más de 30.000 muestras de suelo en la Pampa argentina por Sainz Rozas, Echeverría y Angelini (2011) indicó que el 25% de esas muestras tenían valores de pH inferiores a 6. La inclusión de

La cal con fertilizantes puede mitigar los efectos negativos del pH bajo para cerrar la brecha de rendimiento. De hecho, un experimento de Gambaudo, Zampar, Tomatis y Quaino (2000) indicó que la aplicación de 3 t ha1 de calca en Santa Fe Central (AR) aumentó el pH del suelo de 5,9 a 6,8 y resultó

en un incremento del 61% en la biomasa total acumulada de alfalfa durante el primer año de producción (7,4 vs 11,9 t ha1). De manera similar, en el centro de Buenos Aires (AR), Carta, Ventimiglia y Rillo (1998) indicaron un incremento aproximado del 35% en el rendimiento de alfalfa (13,8 vs 18,0 t ha1) al aplicar 3 t ha1 de dolomita en suelos con un pH de 5,8. Curiosamente, 26 meses después de la aplicación del tratamiento, el pH aún se encontraba cerca de los valores óptimos.

(6,3), lo que indica efectos duraderos. Considerando ambos experimentos, por cada kg de cal aplicada, se espera un rendimiento adicional de 1 a 1,5 kg de alfalfa.

La eficiencia de conversión alimenticia (kg de leche por kg de MS consumida) para las vacas lecheras es de aproximadamente 1,1 (Coleman, Berry, Pierce, Brennan y Horan, 2010), mientras que los novillos de carne necesitan consumir entre 10 y 15 kg de materia seca de pasto para producir 1 kg de carne (Lawrence, Kenny, Earley y McGee, 2012; Manafiazar et al., 2015). Considerando que 1 L de leche genera 0,3 USD, la carne de res genera 1,8 USD por kg y la cal cuesta, en promedio, 0,05 USD por kg, por cada dólar invertido, manteniendo todo lo demás constante, el retorno sería de 6,6 USD y entre 2,4 y 3,6 USD para los productos lácteos y la carne de res, respectivamente. granjas, respectivamente.

El fósforo (P) es importante tanto para la fijación de nitrógeno como para la fotosíntesis en los cultivos de alfalfa. Por cada tonelada de materia seca producida, la alfalfa

requiere aproximadamente 2,6 kg de P (aproximadamente 6 kg de P₂O₅) (García, Micucci, Rubio, Ruffo y Daverede, 2005). P crítico extraíble del suelo (Bray) para la alfalfa se ha encontrado entre 16 y 20 ppm en Los rendimientos de la Pampa argentina y la alfalfa se redujeron a menos del 60% de su potencial cuando el P del suelo (Bray) cayó por debajo de 7 ppm en similar environments (Díaz-Zorita & Buschiazzi, 2004; Marino & Echeverría, 2018). Dichas reducciones podrían estar vinculadas a reducciones en RUE e IPAR. Por ejemplo, en un experimento realizado en Concepción del Uruguay (ubicación 2), Sevilla y Agnudei (2016) informaron una reducción del 35% en RUEbro primaveral para cultivos de alfalfa sin fertilizar en comparación con aquellos que recibieron 100 kg P ha⁻¹. Curiosamente, esta fue la ubicación con la mayor brecha de rendimiento en nuestro conjunto de datos y tenía un nivel de P de 5,7 ppm. En zonas con bajo contenido de fósforo en Argentina, Quintero, Boschetti y Benavidez (1997) indicaron que la eficiencia promedio de uso de fósforo era de 120 kg MS por kg de P. Al costo actual del fertilizante de fósforo de US\$ 0,78 (para superfosfato; US\$ 3,9 por kg de P) para 2021 (Arbolave, 2021), cada dólar invertido, manteniendo todo lo demás constante, resultaría en 30 kg adicionales de MS de alfalfa cultivada, que podrían transformarse en leche (33 L) y carne (3,1 kg) y resultar en US\$ 10 y US\$ 5 dólares de retorno por dólar invertido, respectivamente.

Experimentos de campo de Berardo, Marino y Erht (2007), Fontanetto y Bianchini (2007) y Fontanetto, Keller, Gambaudo, y Albrecht (2010) demostró que la alfalfa de secano tiene un PY de aproximadamente 15–16 t MS ha⁻¹ año⁻¹ cuando las tasas de fertilización son óptimas (P, S, Ca y Mg) en el centro de Santa Fe y el sureste de Buenos Aires. Esos mismos autores indicaron que bajo regímenes de fertilización no óptimos, se pueden esperar rendimientos de alfalfa de 8–10 t MS ha⁻¹ año⁻¹, una disminución del 37% en comparación con los ensayos de fertilización óptima. Esta diferencia es similar a la medida en algunas de las ubicaciones reportadas en este papel (por ejemplo, Anguil y Concepción del Uruguay). Aumentar el uso de fertilizantes P en las fincas parece ser un aspecto clave para aumentar la alfalfa producir.

3.4 | Brechas de utilización

En promedio, la eficiencia del pastoreo de alfalfa (es decir, forraje consumido en relación con el forraje ofrecido) en Argentina varía entre el 40% durante la primavera y el 60–70% durante el otoño y el invierno, cuando el rendimiento se reduce y la alfalfa se consume en etapas más tempranas de rebrote (Baudracco et al., 2011; Danelon, Locatelli, Gallardo y Guaita, 2002). Esta baja La utilización puede estar vinculada a bajos SR y largos intervalos de pastoreo durante la primavera. Esto es más evidente cuando el ganado entra en potreros con niveles muy altos de biomasa de brotes. El SR promedio argentino para sistemas lecheros (1,4 vacas ha⁻¹) (Lazzarini et al., 2019) se considera bajo com- en comparación con otras áreas templadas similares del mundo, como Australia y Nueva Zelanda (1,7 y 2,8 vacas por hectárea, respectivamente). (Fariña & Chilbroste, 2019).

Tradicionalmente, los agrónomos y agencias asesoras argentinas han recomendado que la alfalfa se pastoree con poca frecuencia, con alta intensidad y solo cuando el cultivo alcance el 10% de floración y/o cuando el rebrote de la corona alcance los 5 cm (es decir, "manejo tradicional") (Basigalup y Ustarroz, 2007). Esta recomendación típica ha

se ha relacionado con una mayor persistencia de los pastos (Cangiano, 2007) y se extiende a todos los genotipos y regiones de la Pampa argentina. Sin embargo, el pastoreo de alfalfa en etapas de floración (es decir, alta biomasa) resulta en una baja eficiencia de utilización (Moot, Bennett, Mills y Smith, 2016), particularmente en granjas que proporcionan suplementos. Esto se debe a que los alimentos poco apetitosos... Las fracciones solubles y la fibra detergente neutra aumentan (Berone et al., 2021; Ta, Teixeira, Brown y Moot, 2020), lo que conlleva una reducción en la ingesta potencial de DM (Mertens, 1987) y una mayor sustitución. tasa (Baudracco et al., 2010). Además, esperar a que el cultivo alcance las etapas de floración a menudo significa que las hojas comienzan a envejecer antes de ser consumidas (Ta et al., 2020). El resultado es una ingesta reducida y una pérdida de oportunidad para que las hojas verdes capturen la luz en períodos de alta radiación solar.

El manejo tradicional de la alfalfa también está vinculado a bajas cantidades de alfalfa consumidas por hectárea. De hecho, el consumo total de pasto en las granjas lecheras es actualmente inferior a 5 t MS ha⁻¹ año⁻¹ (Jauregui, Berhongaray y Ojeda, 2019). Este es un valor muy bajo en comparación con los rendimientos promedio medidos (12,3 t ha⁻¹ año⁻¹; Figura 2) y potenciales (16,8 t ha⁻¹ año⁻¹; Figura 3a) de secano reportados en este estudio, e implicaría una eficiencia de pastoreo del 40 y 30 % para los rendimientos medidos y potenciales, respectivamente. Esto también es bajo si lo comparamos con el consumo promedio de pasto por hectárea en granjas lecheras de Nueva Zelanda (11,6 t ha⁻¹; Wales y Kolver, 2017), Irlanda (9 t ha⁻¹; Hanrahan et al., 2018) y Australia (7–9 t ha⁻¹; Dairy Australia, 2020). En un ensayo de pastoreo de campo en Rafaela (Argentina; sitio 9), Baudracco et al. (2011) informaron un consumo de 9,1 t MS de alfalfa ha⁻¹ año⁻¹ (principalmente pastoreada; 8,2 t MS ha⁻¹ año⁻¹) bajo una alta carga ganadera (2,6 vacas ha⁻¹) y lograron una eficiencia de pastoreo del 76,3%.

Para aumentar la eficiencia del pastoreo de alfalfa y su utilización general se requiere una tasa de sorción (TS) más alta y un pastoreo más temprano y frecuente durante la primavera (menor biomasa), cuando hay humedad en el suelo. Este es el período en el que la temperatura y la radiación recibida aumentan en las condiciones argentinas. Berone et al. (2020) demostraron que el pastoreo más temprano y frecuente de una alfalfa semidormante (FD6) durante la primavera resultó en una producción de carne un 30% mayor, debido a una temporada de pastoreo más larga (+8%), una mayor producción diaria de peso vivo por cabeza (+8%) y una TS más alta (+14%). Esto se logró sin comprometer la biomasa perenne (raíz + corona) ni la población de plantas, siempre que el cultivo

Se dejó descansar durante el otoño (pastoreo cada 500 Cd) para permitir la recuperación de las reservas de las raíces (Moot et al., 2003). De manera similar, Baudracco et al. (2011) Se demostró que un aumento de SR resultó en un mayor consumo de alfalfa y una mayor producción de leche sin problemas graves de salud animal ni reproductivos. De hecho, aumentar SR de 1,6 a 2,6 vacas ha⁻¹ resultó en un 23 % más ($p < 0,05$, prueba F) de consumo de alfalfa durante todo el experimento. Es importante señalar que, en nuestro estudio, los pastos se pastorearon generalmente siguiendo las recomendaciones regionales (10 % de floración) y el SR no tuvo efecto sobre la producción y persistencia del pasto. Combinar un SR alto con un pastoreo más frecuente durante la temporada de primavera-verano aumentaría significativamente la producción animal (carne + leche).

La calidad del forraje generalmente disminuye a medida que aumenta la acumulación de forraje (Buxton, 1996). Este también es el caso de la alfalfa, cuya calidad depende de su fenología y, lo que es importante, de la absoluta

cantidad de biomasa acumulada (Lemaire y Belanger, 2020). En este sentido, incluso cuando el pastoreo o los cortes poco frecuentes han aumentado el rendimiento (Ta et al., 2020; Teixeira, Moot, Brown y Pollock, 2007; Ventroni,

Volenc y Cangiano, 2010), se produce una disminución tanto en el contenido proteico como en la digestibilidad (Blank, Orloff y Putnam, 2001; Rimi, Macolino, Leinauer, Lauriault y Ziliotto, 2012). Los animales de pastoreo pueden compensar parcialmente esta disyuntiva entre cantidad y calidad (Brown y Moot, 2004).

Al seleccionar las fracciones más apetecibles (es decir, hojas y tallos blandos) y desechar las menos apetecibles (es decir, tallos duros), se reduce la eficiencia del pastoreo. Esto implica que si se reduce la brecha de rendimiento simplemente maximizando la producción, la calidad disminuirá.

Desde la perspectiva animal, la cantidad total de metabolizable

La energía y la proteína consumidas son la métrica clave. El objetivo final es maximizar la cantidad de energía metabolizable consumida por hectárea. Por lo tanto, los factores clave para maximizar el forraje cosechado digestible y cerrar la brecha de utilización parecen ser pastorear con mayor frecuencia durante los períodos de crecimiento intenso (es decir, primavera y verano) y aumentar las cargas ganaderas en las explotaciones de carne y leche. Proponemos que, en los pastos de alfalfa, la masa de forraje promedio deseada en la explotación (por encima de 5 cm de altura) durante la primavera-verano debería ser de aproximadamente 1200–1500 kg MS ha⁻¹ (aproximadamente 17 cm de altura de dosel). Esto implica una biomasa previa al pastoreo de 2000–3000 kg MS ha⁻¹ (25–35 cm de altura de dosel) y un residuo de 5 cm (Berone et al., 2020; Moot et al., 2016). Los detalles exactos sobre cuándo y cómo pastorear la alfalfa pueden variar, pero todas estas recomendaciones sugieren que esperar a que florezca el 10 % no es apropiado para maximizar la producción animal y no es necesario para mantener la persistencia del cultivo bajo pastoreo. La recomendación tradicional basada en las etapas fenológicas puede tener cabida en los sistemas de corte y acarreo, pero parece estar cada vez más en desacuerdo con las recomendaciones para los sistemas de pastoreo basadas en una mayor comprensión del crecimiento y desarrollo del cultivo (Moot et al., 2003).

4 | CONCLUSIONES

Los sistemas ganaderos argentinos requieren grandes cantidades de pastos cosechados para mantener bajos los costos generales del sistema y, por lo tanto, ser rentables y resistente. Los cultivos de alfalfa pastoreada son una fuente barata de energía, proteínas y minerales para las vacas lecheras y de carne, especialmente en comparación con concentrados de alimentación. En este artículo, estimamos que el riego fue responsable de una brecha del 53% en el rendimiento de la alfalfa para los sitios de secano, mientras que había potencial para aumentar los rendimientos en un 22% en condiciones de secano (posiblemente vinculado al mayor uso de fertilizantes y cal). Además, mejorar las prácticas actuales de manejo del pastoreo podría duplicar con creces la cantidad de pasto pastoreado por hectárea. Los suelos con drenaje imperfecto, la acidificación del suelo, el bajo uso de fertilizantes, las bajas cargas ganaderas y los altos niveles de biomasa previos al pastoreo (es decir, más de 3 t ha⁻¹) se identificaron como las principales limitaciones para la producción y utilización de alfalfa.

Las investigaciones futuras deberían tener como objetivo comprender mejor las interacciones.

entre los genotipos, el manejo del pastoreo y el medio ambiente.

Se deben invertir esfuerzos para identificar las mejores prácticas de manejo del pastoreo que combinen la persistencia y la productividad de los cultivos. Además,

papel de la profundidad del nivel freático en suelos de textura pesada (predominantemente Se debería investigar más a fondo la presencia de nant en la Pampa argentina, ya que es importante para la supervivencia de los cultivos de alfalfa.

EXPRESIONES DE GRATITUD

Los autores agradecen al Dr. Gonzalo Berhongaray por sus valiosos comentarios que ayudaron a mejorar el manuscrito y a una referencia anónima.

eree, quien proporcionó valiosos comentarios. Los autores también desean

Un agradecimiento especial a todos los que participaron en la recopilación de datos del NLCEN.

(Valeria Arolfo, Ariel Odorizzi, Daniel Basigalup, Silvia Olivo, Luis

Romero, Alejo Re, Cecilia Sardiña, Laura Fontana, Néstor Romero,

Mario Funes, Mónica Cornacchione, Elena Di Nucci, Juan José

Gallego, Fernanda Neira Zilli, Dante Pueyo y Lourdes Mijoevich).

FAL recibió apoyo financiero de PROCISUR y FONTAGRO.

through the project "Uso de leguminosas en sistemas ganaderos sudamericanos. GDB was financially supported by INTA (project "Incremento sostenible de la producción y utilización de pasturas y

forrajes conservados") and FCA-UNMDP (project "Uso responsable del nitrógeno en ganadería: fertilización y leguminosas").

ORCIDO

José Martín Jáuregui <https://orcid.org/0000-0003-1154-3492> Santiago Rafael Fariña

<https://orcid.org/0000-0003-2386-7136>

REFERENCIAS

- Álvarez, R., Giménez, A., Pagnanini, F., Recondo, V., Gangi, D., Caffaro, M., ... Berhongaray, G. (2020). Acidez del suelo en la pampa argentina: Efectos del uso y manejo del suelo. *Investigación de suelos y labranza*, 196, 104434.
- Álvarez, R., y Lavado, R. (1998). *Clima, materia orgánica y arcilla. Relaciones de tierras de campaña en los suelos de la Pampa y el Chaco, Argentina. Geoderma*, 83, 127–141.
- Angers, D. (1992). Cambios en la agregación del suelo y el carbono orgánico bajo maíz y alfalfa. *Soil Science Society of America Journal*, 56, 1244–1249.
- Aramburu Merlos, F., Monzon, JP, Mercu, JL, Taboada, M., Andrade, FH, Hall, AJ, ... Grassini, P. (2015). Potencial para el aumento de la producción de cultivos en Argentina mediante el cierre de las brechas de rendimiento existentes. *Investigación sobre cultivos de campo*, 184, 145–154.
- Arbolave, M. (2021). Precios de productos e insumos en dólares. *Márgenes Agropecuarios*, 37, 46.
- Arolfo, V., Odorizzi, A., Basigalup, DH, Romero, L., Sardiña, C., García, J., ... Frigerio, K. (2020). *Avances en alfalfa No. 30*. Buenos Aires: INTA.
- Dairy Australia, (2020). Proyecto de monitoreo de granjas lecheras [en línea]. Australia: Southbank <https://www.dairyaustralia.com.au/industry-statistics/dairy-farm-monitor-project>
- Basigalup, D. y Ustarroz, E. (2007). Sistemas de pastoreo de alfalfa en la pampa argentina. En *Actas del 37.º Simposio de Alfalfa y Forraje de California, 2007* (págs. 53-62). CA: Monterey.
- Baudracco, J., Lazzarini, B., Lyons, N., Braid, D., Rosset, A., Jáuregui, J. M. y Maiztegui, J. (2014). Proyecto ÍNDICES: Cuantificación de limitadores productivos en bidones de Argentina: Informe Final. Esperanza, Santa Fe, Argentina: Universidad Nacional del Litoral.
- Baudracco, J., Lopez-Villalobos, N., Holmes, C., & Macdonald, K. (2010). Efectos de la carga ganadera, la suplementación, el genotipo y sus interacciones en los sistemas de pastoreo lechero: una revisión. *New Zealand Journal of Agri-cultural Research*, 53, 109–133.
- Baudracco, J., Lopez-Villalobos, N., Romero, LA, Scandolo, D., Maciel, M., Comeron, EA, ... Barry, TN (2011). Efectos de la carga ganadera en la producción de pastos, la producción de leche y la reproducción de animales suplementados.

- Vacas lecheras mestizas Holstein-Jersey pastando en praderas de alfalfa. *Animal Feed Science and Technology*, 168, 131–143.
- Berardo, A., Marino, M. A., & Erht, S. (2007). Producción de forraje de alfalfa con aplicación de fósforo superficial y profunda. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 36, 97–113.
- Berenji, S., Moot, D., Moir, J., & Ridgway, H. (2015). Materia seca y fijación de nitrógeno de la alfalfa, cuando se siembra con o sin cal e inoculante. *Journal of New Zealand Grasslands*, 77, 109–116.
- Berhongeray, G., Basanta, M., & Jauregui, J. M. (2019). La profundidad del nivel freático afecta la persistencia y la productividad de la alfalfa en el centro de Argentina. *Investigación sobre cultivos de campo*, 235, 54–58.
- Berone, G., Bertrám, N., & Di Nucci, E. (2021). Forage production and leaf proportion of lucerne in subtropical environments: Cultivar, cutting frequency and canopy effects. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*, 53, 79–88.
- Berone, G., Sardiña, C., & Moot, DJ (2020). Respuestas de animales y forraje en pastizales de alfalfa (*Medicago sativa* L.) bajo diferentes manejos de pastoreo en un clima templado. *Grass and Forage Science*, 75, 192–205.
- Berone, GD, Di Nucci, E., Fernández, H., Gastaldi, L., Mattered, J. y Spada, M. (2017). Calibración y validación de un modelo de crecimiento para alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Revista de Investigación Agrícola*, 43, 256–265.
- Blank, SC, Orloff, SB y Putnam, DH (2001). Decisiones de producción estocásticas secuenciales para un cultivo perenne: la compensación rendimiento/calidad para el heno de alfalfa. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 26(1), 195–211.
- Brown, HE, Moot, DJ y Pollock, KM (2003). Tasas de crecimiento a largo plazo y patrones de extracción de agua de la achicoria, la alfalfa y el trébol rojo de secano. *Leguminosas para pastos de secano*. New Zealand Grassland Association, Research Practice Series, 11, 91–99.
- Brown, HE y Moot, DJ (2004). Calidad y cantidad de la producción de achicoria, alfalfa y trébol rojo bajo riego. *Actas de la Asociación de Pastizales de Nueva Zelanda*, 66, 257–264. <https://www.nzgajournal.org.nz/index.php/ProNZGA/article/view/2542/2170>
- Buxton, DR (1996). Características de los forrajes relacionadas con la calidad, influenciadas por el entorno vegetal y factores agronómicos. *Animal Feed Science and Technology*, 59, 37–49.
- CACF. (2020). Cámara Argentina de Contratistas Forrajeros [<https://www.ensiladores.com.ar/>].
- Cangiano, C. (2007). Manejo del crecimiento y defoliación. En *El Cultivo de la Alfalfa en Argentina*. [Cultivos de alfalfa en Argentina], págs. 247–276. Ed. DH Basigalup. Buenos Aires: INTA Ediciones.
- Carta, HL, Ventimiglia, L. y Rillo, S. (1998). Encalado de trigo con pasturas. *Agromercado*, 12, 68–71.
- Christie, KM, Smith, AP, Rawnsley, RP, Harrison, MT y Eckard, RJ (2018). Respuestas estacionales simuladas de pastizales lecheros sometidos a pastoreo a la fertilización con nitrógeno en el sureste de Australia: Producción de pastos. *Agricultural Systems*, 166, 36–47.
- Coleman, J., Berry, D., Pierce, K., Brennan, A., & Horan, B. (2010). Perfiles de consumo de materia seca y eficiencia alimenticia de 3 genotipos de Holstein-Friesian en sistemas de producción de leche basados en pastoreo. *Journal of Dairy Science*, 93, 4318–4331.
- Collino, D., Dardanelli, J., De Luca, M., & Racca, R. (2005). Efectos de la temperatura y la disponibilidad de agua en la radiación y la eficiencia del uso del agua en la alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Animal Production Science*, 45, 383–390.
- Danelon, JL, Locatelli, ML, Gallardo, M. y Guaita, S. (2002). Consumo de forraje y digestión ruminal de la alfalfa: una comparación entre vacas lecheras en pastoreo rotacional y en pastoreo cero. *Livestock Production Science*, 74, 79–91.
- Dardanelli, J., & Collino, DJ (2002). Contribución del nivel freático al uso del agua por la alfalfa en diferentes ambientes de la Pampa argentina. *AgriScientia*, 19, 11–18.
- 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. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Argentina: Universidad Nacional de Cuyo*, 44, 173–181.
- Díaz-Zorita, M., & Buschiazio, DE (2004). Producción de alfalfa en función de la cantidad de fósforo extraíble del suelo en las pampas semiáridas. *Better Crops*, 2, 24–27.
- Fariña, S., & Chilbroste, P. (2019). Oportunidades y desafíos para el crecimiento de la producción de leche a partir de pastos: El caso de los sistemas agrícolas en Uruguay. *Agricultural Systems*, 176, 102631.
- Fontanetto, H., & Bianchini, A. (2007). Fertilización fosfatada y azufrada de alfalfa a la siembra y al año de implantación en el centro-este de Santa Fe. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, 36, 22–25.
- Fontanetto, H., Keller, O., Gambaudo, S. y Albrecht, J. (2010). Fertilización balanceada para la alfalfa en la región centro-este de Santa Fe. *Planteos Ganaderos en Siembra Directa*, 9, 83–87.
- Gambaudo, S., Zampar, A., Tomatis, L. y Quaino, O. (2000). Respuestas de la alfalfa a dos aplicaciones de fertilizantes calcáreos. [En línea]. Rafaela, Argentina: INTA http://rafaela.inta.gov.ar/publicaciones/documentos/anuarios/anuario2000/a2000_p93.htm
- García, F., Micucci, F., Rubio, G., Rufo, M., & Daverede, I. (2005). Fertilización de forrajes en la Región Pampeana. Acaassuso, Buenos Aires (Argentina): Agroeditorial.
- Gastaldi, L., Litwin, G., Maekawa, M., Moretto, M., Marino, M., Engler, P.,... Galetto, A. (2020). Encuesta sectorial de lechera del INTA. Resultados del ejercicio productivo 2018-2019 (pág. 64). Rafaela, Argentina: INTA Rafaela.
- Gierus, M., Kleen, J., Loges, R., & Taube, F. (2012). Las especies de leguminosas forrajeras determinan la calidad nutricional de las mezclas binarias con raigrás perenne en el primer año de producción. *Animal Feed Science and Technology*, 172, 150–161.
- Hall, AJ, Rebella, CM, Ghersa, CM y Cullot, JP (1992). Sistemas de cultivos de campo de las pampas. En CJ Pearson (Ed.), *Ecosistemas del mundo*. Ecosistemas de cultivos de campo (págs. 413–450). Nueva York, NY: Elsevier Scientific.
- Hanrahan, L., McHugh, N., Hennessy, T., Moran, B., Kearney, R., Wallace, M., & Shalloo, L. (2018). Factores asociados con la rentabilidad en sistemas de producción de leche basados en pastoreo. *Journal of Dairy Science*, 101, 5474–5485.
- Hayes, R., Dear, B., Li, G., Virgona, J., Conyers, M., Hackney, B., y Tidd, J. (2010). Pastos perennes para el control de la recarga en ambientes templados propensos a la sequía. Parte 1: Productividad, persistencia y calidad del forraje de especies clave. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 53, 283–302.
- INDEC. (2002). Censo Nacional Agropecuario. Buenos Aires: Ministerio de Hacienda y Finanzas Públicas.
- INDEC. (2021). Censo Nacional Agropecuario 2018. Resultados definitivos (1st ed., p. 747). Buenos Aires, Argentina: INDEC.
- Insua, JR, Machado, CF, García, SC, & Berone, GD (2021). Análisis de la brecha de rendimiento forrajero para pastizales de festuca alta en Argentina: Un enfoque de modelado. *Grass and Forage Science*, 76, 245–257.
- Jáuregui, J. M., Berhongeray, G., & Ojeda, J. (2019). Trends of pasture consumption and stocking rates and their impact on milk production in Argentina. Communication. In: Congreso que la Asociación Argentina de Producción Animal, Bahía Blanca edición N 42 (p. 242. Asociación Argentina de Producción Animal). Revista Argentina de producción animal. Buenos Aires, Argentina: Animal Bahía Blanca.
- Jáuregui, JM, Candiotti F., Lazzarini, B. y Baudracco, J. (2020). Indicadores físicos y económicos de sistemas lecheros en el centro de Santa Fe. En 43 Congreso Argentino de Producción Animal, 2020, p. 344. Revista Argentina de Producción Animal.
- Jáuregui, JM, Mills, A., Black, DBS, Wigley, K., Ridgway, HJ, & Moot, DJ (2019). Los componentes del rendimiento de la alfalfa se vieron afectados por las fechas de siembra y los tratamientos de inoculación. *European Journal of Agronomy*, 103, 1–12.

- Jáuregui, J. M., Rosset, A., Baudracco, J., Lazzarini, B., Braidá, D., Maiztegui, J., & Lyons, N. (2014). Cuantificación de parámetros de suelo en sistemas lecheros de Argentina. Proyecto INDICES. Parte 4. Comunicación (Vol. 34, p. 279). Buenos Aires, Argentina: Revista Argentina de Producción Animal.
- Jáuregui, J. M., Rostagno, M., & Savage, J. (2020). Drivers of profitability in New Zealand irrigated dairy farms. In 43 Congreso Argentino de Producción Animal (Vol. 345). Buenos Aires, Argentina: Revista Argentina de Producción Animal.
- Lawrence, P., Kenny, D., Earley, B., & McGee, M. (2012). Consumo de forraje de pasto y rendimiento de novillas de carne con clasificación predeterminada de consumo residual de alimento fenotípico. *Animal*, 6, 1648–1661.
- Lazzarini, B., Baudracco, J., Demarchi, E., Lovino, D. & Jáuregui, J. (2014). Evolución de la suplementación, el consumo de pastura y la producción de leche en sistemas lecheros de Argentina. In Fave. Sección Ciencias Agrarias, 2014, 73–78.
- Lazzarini, B., Baudracco, J., Tuñón, G., Gastaldi, L., Lyons, N., Quattrochi, H., & Lopez-Villalobos, N. (2019). Producción de leche de vacas lecheras en Argentina: estado actual y perspectivas para el futuro. *Ciencia animal aplicada*, 35, 426–432.
- Lemaire, G., & Belanger, G. (2020). Alometrias en plantas como impulsores de Valor nutritivo por edad: Una revisión. *Agricultura*, 10, 5.
- Lowe, K., Gramshaw, D., Bowdler, T., & Ludke, D. (1985). Rendimiento de alfalfas norteamericanas y australianas en los subtrópicos de Queensland 2. Rendimiento y supervivencia de las plantas en cultivos de regadío. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 25, 82–90.
- Luo, Y.-Z., Li, G., Yan, G., Liu, H., & Turner, N. C. (2020). Características morfológicas y distribución de biomasa de plantas de alfalfa (*Medicago sativa* L.) sometidas a estrés hídrico. *Agronomía*, 10, 322.
- Lüscher, A., Hartwig, U. A., Suter, D., & Nösberger, J. (2000). Evidencia directa de que la fijación simbiótica de N₂ en pastizales fértiles es un rasgo importante para una fuerte respuesta de las plantas al CO₂ atmosférico elevado. *Biología del Cambio Global*, 6, 655–662.
- Manafiazar, G., Basarab, J., Baron, V., McKeown, L., Doce, R., Swift, M., ... Ominski, K. (2015). Efecto de la clasificación del consumo residual de alimento después del destete sobre el consumo de pasto y el rendimiento en novillas de carne preñadas. *Canadian Journal of Animal Science*, 95, 369–381.
- Marino, M., & Echeverría, H. E. (2018). Diagnóstico de los requerimientos de fósforo de los cultivos de alfalfa en Argentina. *AgriScientia*, 1, 11–24.
- McCall, D., & Bishop-Hurley, G. (2003). Un modelo de crecimiento de pastos para su uso en un modelo de producción lechera de granja completa. *Agricultural Systems*, 76(3), 1183–1205. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(02\)00104-X](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00104-X) McKnight, T. L., & Hess, D. (2002). Zonas y tipos climáticos: El sistema de Köppen. En *Geografía física: Una apreciación del paisaje* (7.ª ed., pp. 205–211). Upper Saddle River, Nueva Jersey, EE. UU.: Prentice Sala.
- Mertens, D. (1987). Predicción de la ingesta y la digestibilidad mediante modelos matemáticos de la función ruminal. *Journal of Animal Science*, 64, 1548–1558.
- Meyer, R., Marcum, D., Orloff, S., & Schmierer, J. (2007). Estrategias de fertilización de la alfalfa. En G. Summers & D. H. Putnam (Eds.), *Manejo de la alfalfa de regadío en zonas mediterráneas y desérticas* (pp. 73–87). Oakland, CA: Universidad de California.
- Mills, A., Lucas, R., & Moot, D. (2015). Experimento de pastoreo 'MaxClover': I. Rendimientos anuales, composición botánica y tasas de crecimiento de seis pastizales de secano durante nueve años. *Grass and Forage Science*, 70, 557–570.
- Moot, D. J., Bennett, S. M., Mills, A. M. & Smith, M. C. (2016). Manejo óptimo del pastoreo para lograr altos rendimientos y utilización de la alfalfa de secano. *Journal of New Zealand Grasslands*, 78, 27–34.
- Moot, D. J., Brown, H. E., Teixeira, E. I. & Pollock, K. M. (2003). El crecimiento y desarrollo de los cultivos afectan las prioridades estacionales para el manejo de la alfalfa. *NZGA: Serie de Investigación y Práctica*, 11, 201–208.
- Moot, D. J., Yang, X., Ta, H. T., Brown, H. E., Teixeira, E. I., Sim, R. E. & Mills, A. (2021). Métodos simplificados para la predicción del rendimiento en la explotación agrícola.
- Potencial de los cultivos de alfalfa pastoreada en Nueva Zelanda. *Revista Neozelandesa de Investigación Agrícola*, 64(1), 1–19.
- NASA (2021). Predicción de los recursos energéticos mundiales. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> [En línea].
- Neal, M., & Roche, J. R. (2019). Empresas lecheras rentables y resilientes basadas en pastos en Nueva Zelanda. *Animal Production Science*, 60, 169–174.
- Nosetto, M. D., Paez, R., Ballesteros, S., & Jobbágy, E. (2015). Niveles freáticos más elevados y riesgo de inundaciones en sistemas de producción de cereales frente a sistemas de producción ganadera en las llanuras subhúmedas de la Pampa. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 206, 60–70.
- Ojeda, J., Caviglia, O., Agnusdei, I. M., & Errecart, P. (2018). Rendimiento de forraje, productividad del agua y de la radiación solar de secuencias de pastos perennes y cultivos anuales en las pampas del sureste de Argentina. *Investigación sobre cultivos de campo*, 221, 19–31.
- Ojeda, J. J., Caviglia, O. P., Irisarri, J. G. N., & Agnusdei, I. M. (2018). Modelización de la variación interanual en el rendimiento de materia seca y la eficiencia en el uso de la precipitación de secuencias de pastos perennes y cultivos forrajeros anuales. *Meteorología Agrícola y Forestal*, 259, 1–10.
- Otero, A., & Castro, M. (2019). Variabilidad de la producción estacional de forraje de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en el suroeste de Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 23, 65–75.
- Peel, M. C., Finlayson, B. L. & McMahon, T. A. (2007). Mapa mundial actualizado de la clasificación climática de Köppen-Geiger. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 4, 439–473.
- Pembleton, K., Donaghy, D., Volenec, J., Smith, R., & Rawnsley, R. (2010). Rendimiento, componentes del rendimiento y morfología de los brotes de cuatro cultivares contrastantes de alfalfa (*Medicago sativa*) cultivados en tres ambientes templados fríos. *Crop and Pasture Science*, 61, 503–511.
- Peoples, M., & Baldock, J. (2001). Dinámica del nitrógeno en los pastos: Aportes de fijación de nitrógeno, el impacto de las leguminosas en la fertilidad del nitrógeno del suelo y las contribuciones del nitrógeno fijado a los sistemas agrícolas australianos. *Revista Australiana de Agricultura Experimental*, 41, 327–346.
- Pereyra, F. X. (2019). Geología y geomorfología. En G. Rubio, R. S. Lavado & F. X. Pereyra (Eds.), *Los suelos de Argentina* (pp. 7–25). Madison, WI: Springer.
- Quintero, C. E., Boschetti, N. G., & Benavidez, R. A. (1997). Efecto residual y refertilización fosfatada de pasturas implantadas en Entre Ríos (Argentina) [Residual effects and phosphorus fertilisation of pastures in Entre Ríos]. *Ciencia del Suelo*, 15, 1–5.
- Racca, R., & González, N. (2007). Nutrición nitrogenada de la alfalfa e impacto de la fijación biológica del nitrógeno. In *El cultivo de la alfalfa en la Argentina* (pp. 67–79). Buenos Aires, Argentina: INTA.
- Ramsbottom, G., Horan, B., Berry, D., & Roche, J. R. (2015). Factores asociados con el desempeño financiero de las granjas lecheras de pastoreo con partos en primavera. *Journal of Dairy Science*, 98, 3526–3540.
- Rice, W., Penney, D., & Nyborg, M. (1977). Efectos de la acidez del suelo en el número de rizobios, la nodulación y la fijación de nitrógeno por la alfalfa y el trébol rojo. *Canadian Journal of Soil Science*, 57, 197–203.
- Ridley, A., Christy, B., Dunin, F., Haines, P., Wilson, K., & Ellington, A. (2001). Alfalfa en rotaciones de cultivos en las llanuras ribereñas. 1. El balance hídrico del suelo. *Australian Journal of Agricultural Research*, 52, 263–277.
- Rimi, F., Macolino, S., Leinauer, B., Lauriault, L. M. & Ziliotto, U. (2012). Efectos de la dormancia otoñal y la etapa de cosecha sobre el valor nutritivo de la alfalfa en un clima subtropical. *Agronomy Journal*, 104, 415–422.
- Rubio, G., Pereyra, F. X., & Taboada, M. (2019). Suelos de la región pampeana. En G. Rubio, R. S. Lavado, & F. X. Pereyra (Eds.), *Los suelos de Argentina* (pp. 81–100). Madison, WI: Springer.
- Rubio, G., & Taboada, M. A. (2013). Árbol de decisión para diagnosticar la capacidad productiva de suelos de la región pampeana. *Ciencia del Suelo*, 31, 235–243.
- Saeed, I., & El-Nadi, A. (1997). Efectos del riego en el crecimiento, rendimiento y eficiencia del uso del agua de la alfalfa. *Irrigation Science*, 17, 63–68.
- Sainz Rozas, H., Echeverría, H., & Angelini, H. (2011). Niveles de materia orgánica y pH en suelos agrícolas de la Región Pampeana y

- Extrapampeana Argentina. Informaciones Agronomicas del Cono Sur 12.6–12.
- Serio, L., Antelo, M., & Zalazar, S. (2019). Evapotranspiración de Hargreaves en Argentina con datos grillados en alta resolución: valores medios y tendencias. *Revista Argentina de Agrometeorología*, 10, 15–23.
- Sevilla, G. H., & Agnusdei, M. G. (2016). Efecto del agregado de fosforo y nitrogeno en el crecimiento de cultivos de alfalfa en rebrotes de primavera y verano en un suelo vertisol de Entre Ríos. *Revista Investigaciones Agropecuarias*, 42(1), 93–101.
- Sheaffer, C., Tanner, C., & Kirkham, M. (1988). Relaciones hídricas y riego de la alfalfa. *Alfalfa and Alfalfa Improvement*, 29, 373–409.
- Sheehy, J., Woodward, F., Jones, M., & Windram, A. (1979). Microclima, fotosíntesis y crecimiento de la alfalfa (*Medicago sativa* L.).
I. Microclima y fotosíntesis. *Anales de Botánica*, 44, 693–707.
- Snow, V.O., Rotz, C., Moore, A.D., Martin-Clouaire, R., Johnson, I., Hutchings, N., & Eckard, R. (2014). Los desafíos –y algunas soluciones– para el modelado basado en procesos de sistemas agrícolas de pastoreo.
Modelado y software ambiental, 62, 420–436.
- Spada, M., Frigerio, K., Amigone, M.A., Romero, L.A., Peralta, O., García, J.,... Berti, R. (2008). Avances en alfalfa.
Manfredi, Argentina: INTA.
- Ta, H.T., Teixeira, E.I., Brown, H.E., & Moot, D.J. (2020). Cambios en el rendimiento y la calidad de la alfalfa con diferentes grados de dormancia otoñal bajo tres regímenes de defoliación. *European Journal of Agronomy*, 115, 126012.
- Taylor, R., Crosson, P., Kelly, A., & McGee, M. (2018). Benchmarking technical and economic performance of beef cow-tern to finish production systems in Ireland. *The Professional Animal Scientist*, 34, 421–434.
- Teixeira, E.I., Moot, D.J., Brown, H.E. & Pollock, K.M. (2007). ¿Cómo influye el manejo de la defoliación en el rendimiento y los procesos de formación del dosel?
y la intercepción de luz de los cultivos de alfalfa (*Medicago sativa* L.)? *European Journal of Agronomy*, 27, 154–164.
- Van Ittersum, M.K., Cassman, K.G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P., & Hochman, Z. (2013). Análisis de la brecha de rendimiento con relevancia local a global: una revisión. *Field Crops Research*, 143, 4–17.
- Ventroni, L.M., Volenec, J.J. & Cangiano, C.A. (2010). Impacto de la dormancia otoñal y la frecuencia de corte en el rendimiento y los componentes del rendimiento de la alfalfa. *Field Crops Research*, 119, 252–259.
- Wales, W., & Kolver, E. (2017). Desafíos de la alimentación de vacas lecheras en Australia y Nueva Zelanda. *Animal Production Science*, 57, 1366–1383.
- White, S., Benson, G., Washburn, S., & Green, J., Jr. (2002). Producción de leche y medidas económicas en sistemas de confinamiento o pastoreo utilizando vacas Holstein y Jersey con partos estacionales. *Journal of Dairy Science*, 85, 95–104.
- Zappi, A. (2012). Una evaluación de las posibilidades de expansión del riego en Argentina. En VI Conferencia sobre Actualización en Riego y Fertilización, 2012.
- INA Mendoza, Argentina: Instituto Nacional del Agua.

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

En la versión en línea del artículo, disponible en el sitio web de la editorial, se puede encontrar información adicional.

Cómo citar este artículo: Jáuregui, J.M., Ojeda, J.J., Berone, G. D., Lattanzi, F.A., Baudracco, J., Fariña, S.R. y Moot, D.J. (2022). Brechas de rendimiento de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) en sistemas ganaderos de Argentina. *Annals of Applied Biology*, 1–11. <https://doi.org/10.1111/aab.12745>