

SECUENCIAS DE DOBLE CULTIVO ANUAL Y ALFALFA EN VALLES REGADOS DE PATAGONIA NORTE. 2. CALIDAD DEL FORRAJE

Irrigated double annual crop sequences and alfalfa of North Patagonia. 2. Forage quality

Colabelli^{1*} MR, Gallego^{2,3} JJ, Malaspina M⁴, Barbarossa^{2,3} RA, Neira Zilli² F, Miñón^{2,1} DP

¹Universidad Nacional de Río Negro; ²Estación Experimental Agropecuaria Valle Inferior Convenio Provincia de Río Negro-INTA.; ³Universidad Nacional del Comahue-Centro Universitario Regional Zona Atlántica; ⁴Universidad Nacional del Sur

*Email de contacto: mcolabelli@unrn.edu.ar

RESUMEN

Los objetivos de este trabajo fueron cuantificar las diferencias en composición morfológica y en calidad del forraje de una pastura perenne de alfalfa y seis secuencias de doble cultivo anual resultantes de combinar dos verdeos de verano (VV) y tres verdeos de invierno (VI), todos con destino a heno o silaje y en condiciones no limitantes de agua y nutrientes. Los VV fueron maíz y sorgo y los VI, avena, cebada y raigrás anual. El ensayo se realizó en la EEA Valle Inferior del Río Negro Convenio Provincia de Río Negro-INTA. En el último de los 3 ciclos evaluados, se determinó la composición morfológica y la calidad del forraje de alfalfa, de cada componente de la secuencia y de la secuencia total. Las secuencias más destacadas en términos de composición morfológica fueron aquellas integradas por maíz con avena o cebada, dado que presentaron el mayor aporte de grano. En cuanto a la composición química, alfalfa presentó el mayor contenido de proteína por su elevada relación hoja/tallo; mientras que maíz alcanzó la mayor digestibilidad, debido a su elevada proporción de grano. Todas las secuencias de doble cultivo presentaron mayor producción de materia seca digestible por hectárea que alfalfa, mientras que con respecto a la proteína bruta por hectárea ninguna secuencia igualó al cultivo de alfalfa. Estos resultados tienen implicancias prácticas para el desarrollo de sistemas ganaderos irrigados más intensivos en la región Patagonia Norte que procuren alcanzar óptimos de producción combinando superficies importantes de pasturas base alfalfa con pequeñas superficies de doble cultivo anual, que permitan incrementos de la carga animal y de la producción de carne por unidad de superficie minimizando los costos y las externalidades negativas.

Palabras clave. maíz, sorgo, avena, cebada, raigrás anual.

ABSTRACT

The objectives of this work were to quantify the differences in morphological composition and forage quality of a perennial alfalfa pasture and six sequences of double annual crop sequences resulting from combining two summer forage crop (VV) and three winter forage crop (VI), all destined for hay or silage in non-limiting water and nutrients conditions. The VV were maize and sorghum and the VI, were oats, barley and annual ryegrass. The trial was carried out in the EEA Valle Inferior del Río Negro, Agreement Province of Río Negro-INTA. In the last evaluated cycle, the morphological composition and forage quality of the alfalfa, and each component of the sequence and the overall sequence has been determined. The most remarkable sequences in term of morphological composition were those composed of maize with oats and barley, because they showed the highest grain contribution. Regarding the chemical composition, alfalfa presented the highest protein content due to its high leaf/stem ratio, while maize reached the highest digestibility, due to its high grain proportion. All double cropping sequences showed higher digestible dry matter per hectare production than alfalfa, while in terms of crude protein per hectare, no sequence equaled the alfalfa crop values. These results have practical implications for the development of more intensive irrigated livestock systems in the North Patagonia region that seek to achieve optimal production by combining large areas of alfalfa-based pastures with small areas of irrigated double annual crop sequences, which allow increases in animal density and meat production per surface unit minimizing costs and negative externalities.

Key words. maize, sorghum, oats, barley, annual ryegrass.

Recibido: septiembre 2021

Aceptado: abril 2022

Introducción

Los sistemas irrigados de producción de carne en los valles de la región Patagonia Norte están sujetos a fuertes variaciones estacionales, debido a que las bajas temperaturas invernales limitan la producción de forraje. Para equilibrar las dietas o bien cubrir las variaciones en la oferta forrajera de las pasturas a lo largo del año, se pueden utilizar henos, silajes y granos. En la región, en los últimos años se ha intensificado el uso de forrajes conservados y granos, particularmente por el incremento en el número de los corrales de engorde (Miñón *et al.* 2013). En el trabajo anterior se demostró que las combinaciones más productivas del doble cultivo anual de un verdeo de invierno (VI) y de verano (VV) con destino a heno o silaje incrementan la producción anual de forraje en comparación con *Medicago sativa* (alfalfa) que es la especie forrajera más difundida en la región (Colabelli *et al.* 2021). El conocimiento de la cantidad de forraje producido es necesario, aunque resulta insuficiente para el desarrollo de un planteo ganadero, por lo que debe ser complementado con información sobre su calidad nutritiva. Ambas, cantidad y calidad del forraje, constituyen las herramientas básicas para planificar la alimentación de sistemas ganaderos. La calidad del forraje influye notablemente en la producción animal, ya que a medida que ésta disminuye limita el nivel de consumo animal (Ramírez *et al.* 1999; Santini 2014).

La calidad nutricional de los forrajes se estima mediante parámetros como fibra detergente ácido (FDA), fibra detergente neutro (FDN), lignina, proteína bruta (PB) y digestibilidad de la materia seca (DMS) (Di Marco 2011). Es ampliamente conocido que durante el período de crecimiento la composición morfológica de las plantas varía, de la misma manera que la calidad nutricional (Agnusdei 2007). En general, a medida que el ciclo de crecimiento avanza, se acumula el forraje y se reduce su calidad como consecuencia de un incremento del contenido y de la indigestibilidad de la pared celular, aunque dicho efecto podría ser compensado por el almidón aportado por los granos (Van Soest 1994). Esto ocurre debido a que a medida que las plantas aumentan de tamaño, también lo hace la cantidad de tejidos de sostén y disminuye la relación hoja/tallo en la biomasa (Insúa 2018). Por lo tanto, las variaciones de calidad de una especie son el resultado de procesos vinculados con el estado de desarrollo del forraje, la acumulación de biomasa y las variaciones en peso y tamaño de sus diferentes fracciones. Así, la variación de la proporción de espigas o panojas, hojas y tallo determina la calidad del forraje a ensilar o henificar. Las espigas o las panojas contienen el grano, el cual es de alto valor nutritivo, mientras que el resto de la planta, compuesta por hojas y tallos, es equivalente a un forraje de mediana a baja calidad (Carrete y Ceconi 2001; Di Marco y Aello 2007). Si bien el sentido de los cambios es similar entre especies, existen diferencias en la velocidad y magnitud en la que éstos ocurren tanto en planta entera como en cada fracción morfológica (Van Soest 1994). Trujillo y Uriarte (2011) determinaron que en las leguminosas, la digestibilidad de las hojas a lo largo de todo el ciclo de crecimiento permanece prácticamente sin variaciones, mientras que en las gramíneas como el maíz y el sorgo, disminuye marcadamente, aunque en menor proporción que en el tallo.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la calidad del forraje con destino a heno o silaje de diferentes secuencias de doble cultivo anual y de alfalfa en valles regados de la Patagonia Norte, y cuantificar la composición morfológica de los cultivos en el momento de su cosecha, como información adicional que contribuya a interpretar los resultados obtenidos.

Materiales y Métodos

Se evaluaron 6 secuencias de doble cultivo anual resultantes de la combinación de 2 VV: *Zea mays* (maíz) y *Sorghum spp.* (sorgo) con 3 VI: *Avena sativa* L. (avena), *Hordeum vulgare* L. (cebada) y *Lolium multiflorum* Lam. (raigrás anual), y una pastura de alfalfa, durante 3 ciclos productivos. La experimentación fue descrita en Colabelli *et al.* (2021). Para el presente trabajo, se utilizó el tercer ciclo (2014-2015) del trabajo mencionado, para estudiar aspectos de composición morfológica y calidad de las secuencias doble cultivo y de alfalfa. Todos los cultivos crecieron en condiciones no limitantes de agua y nutrientes. Maíz y sorgo se fertilizaron a la siembra con 140 kg ha⁻¹ de fosfato di amónico (18:46:0); y en V4, V7 y V10, con 651 kg ha⁻¹ de urea (46:0:0) fraccionada en partes iguales. Los VI se sembraron en líneas a 17,5 cm y se fertilizaron a la siembra con 100 kg ha⁻¹ de fosfato di amónico y con 217 kg ha⁻¹ de urea en macollaje avanzado. Alfalfa recibió 50 kg ha⁻¹ a la siembra y 100 kg ha⁻¹ de fosfato di amónico a comienzos del ciclo. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con 7 tratamientos y 3 bloques. Las secuencias de VV+VI se dispusieron en un diseño de parcela dividida (Parcela Principal= VV, Subparcelas= VI).

Variables de respuesta

En alfalfa se realizaron cortes de forraje cada vez que alcanzó el 10% de floración. Para el ciclo 2014-2015, se realizaron 5 cortes (22/10/2014, 27/11/2014, 7/01/2015, 27/02/2015 y 28/04/2015). En los VV y los VI se realizó un solo corte para heno o silaje, en los estados fenológicos apropiados a cada especie (maíz, avena y cebada: grano lechoso-pastoso; sorgo: tercio medio de la panoja en grano pastoso; raigrás anual: pre-floración). La cosecha de VV se realizó sobre 1,4 m² (maíz) y 0,7 m² (sorgo) a 15 cm de altura efectuando los cortes con tijera manual, mientras que para VI y alfalfa se cortaron 6,25 m² con motosegadora a 5 cm de altura. En todas las cosechas se tomaron alícuotas de forraje para determinaciones de porcentaje de materia seca (%MS). La composición morfológica se evaluó en las muestras obtenidas para estimación de biomasa aérea. Para el caso de los VV se separaron 10 plantas por especie y repetición. Cada planta fue separada en hoja, tallo y estructuras reproductivas (mazorca en el caso de maíz, incluye marlo y chala; panoja en el caso de sorgo y avena; y espigas en el caso de cebada y raigrás anual). Cada una de estas fracciones fueron llevadas a estufa a 60°C durante 48 h para determinar el peso seco. Para los VI y el último corte de alfalfa, se tomó una alícuota del forraje cosechado, se separaron en las mismas fracciones que los VV y fueron secados con el mismo procedimiento. Se calculó además la relación hoja/tallo (H/T) como: peso seco de hoja/peso seco de tallo.

Las fracciones hoja, tallo y estructuras reproductivas de cada especie de las secuencias de doble cultivo anual luego

de secadas y pesadas fueron molidas a través de una malla de 1 mm y enviadas al laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Nacional del Sur para el análisis de distintas variables de calidad de forraje. Se determinó: FDN, FDA y lignina por el método de Van Soest (1963); proteína bruta (PB) a partir de la ecuación $\%N \times 6,25$; el $\%N$ fue determinado por el método de Kjeldahl; y la digestibilidad de la materia seca (DMS) por cálculo ($DMS = (3,20 - 0,028 \times \%FDA) / 3,62 \times 100$, Rohweder *et al.* 1978). Con los valores obtenidos para cada fracción, para los VV y VI se ponderó por su aporte a la MS total, y se obtuvieron los valores de FDN, FDA, lignina, proteína bruta y digestibilidad de planta entera. Para alfalfa, se determinó la composición química de planta entera del último corte del ciclo de crecimiento. La materia seca digestible ($MSD \text{ ha}^{-1}$) y proteína bruta por hectárea ($PB \text{ ha}^{-1}$) para cada secuencia, fueron calculadas como la sumatoria de biomasa acumulada por cada cultivo de la secuencia multiplicado por el $\%DMS$ o $\%PB$, respectivamente. Para alfalfa, la $MSD \text{ ha}^{-1}$ y $PB \text{ ha}^{-1}$ fueron calculados como la sumatoria de biomasa acumulada en los 5 cortes multiplicado por el $\%DMS$ o $\%PB$, respectivamente.

Análisis estadístico

Se realizó análisis de varianza de las variables mencionadas y prueba de diferencias mínimas significativas (LSD, $P < 0,05$) para determinar diferencias entre medias. Se utilizó el programa InfoStat.

Resultados y Discusión

Porcentaje de materia seca y composición morfológica

En el presente experimento, el $\%MS$ del forraje difirió entre especies al momento de corte ($P = 0,0001$). El $\%MS$ de maíz (28,6%) fue levemente inferior al recomendado para la confección de silajes, que oscila entre 30-35% (Di Marco y Aello 2007), mientras que el $\%MS$ de sorgo (31,1%) se ubicó por encima del límite inferior del valor recomendado (Tabla 1). En el caso de los VI y de alfalfa, presentaron valores de $\%MS$ que no ofrecen inconvenientes para la realización de henos, aunque si la decisión es la elaboración de silajes, el $\%MS$ de raigrás anual y alfalfa (25,2 y 20,1% respectivamente) resultan insuficientes comparados con los valores de referencia; esto indica que ambos cultivos deberían someterse a un proceso de pre-marchitado para evitar inconvenientes en la fermentación.

Tanto los VV como los VI mostraron diferencias apreciables en la composición morfológica ($P = 0,0001$). Alfalfa y raigrás anual presentaron la mayor proporción de hojas (48,1% y 25,1%), la mayor relación hoja/tallo (0,93 y 0,52), y el menor aporte de estructuras reproductivas ($ER = 0,9\%$ y $27,2\%$ respectivamente) en comparación con el resto de las especies (Tabla 1). Si bien maíz, sorgo, avena y cebada no difirieron en su proporción de hojas (promedio=13,2%), la proporción de tallos mostró un contraste entre maíz y el resto de las especies por su menor valor (22,1%). Ello determinó que la relación hoja/tallo de maíz (0,64) fuera intermedia entre los valores obtenidos para alfalfa y raigrás anual, y todos ellos

presentaran relaciones superiores a sorgo, avena y cebada (promedio= 0,25).

Las fracciones reproductivas de los VV mostraron diferencias significativas (Tabla 1; $P = 0,0001$), dado que maíz mostró valores de aporte de mazorca que casi duplicaron en promedio los valores de panoja de sorgo (63,6 vs 36,0% respectivamente). Estos resultados son similares a los obtenidos en la evaluación de un conjunto de híbridos de ambas especies en la región (Miñón *et al.* 2009a; 2009b). La composición morfológica del maíz fue similar a la descripta por Rimieri *et al.* (1997) para la partición de la materia seca de híbridos semi-precoces y es consistente con los posibles rangos de partición de la materia seca en plantas de híbridos cosechados para silaje citado por Romero (2004). La composición morfológica del sorgo TOB 80 Sil fue similar a la descripta por Mayo *et al.* (2017) para el mismo cultivar y para el promedio de un conjunto de cinco híbridos sileros. No obstante, Gallego *et al.* (2013) observaron aportes menores (21%) de ER para este mismo híbrido y en condiciones similares a los del presente estudio. Este resultado puede interpretarse como una variabilidad asociada a las condiciones del ciclo de estudio y/o el momento de corte. En cuanto a los VI, la contribución de panojas y espigas de avena y cebada (44,4 y 31,7% respectivamente), fue superior a la contribución de espigas de raigrás anual (27,2%). Esto puede asociarse a que tanto avena como cebada son cereales de invierno, con mayor producción de granos y mayor tamaño de granos que raigrás anual, que es una especie netamente forrajera. Además, el raigrás anual fue cortado en prefloración mientras que avena y cebada se cortaron en estado de grano lechoso. Por esta razón, avena y cebada ofrecen un material con mejores características para conservar dado que aportan mayor producción de forraje y cantidad de grano. Blanco (2018) reportó valores superiores de ER para avena y cebada de 55 y 50% respectivamente, en condiciones experimentales similares a las del presente estudio, aunque cosechado en un estado más avanzado.

Calidad forrajera de la planta entera

Las especies integrantes de las secuencias de doble cultivo anual mostraron diferencias en su composición morfológica, y las mismas pueden determinar diferencias en la composición química. La proporción total de FDN fue inferior ($P = 0,001$) en alfalfa (48,6%) seguido por raigrás anual (58%), mientras el resto de las especies mostraron valores superiores a 60% sin diferencias significativas entre sí (Tabla 2). Este resultado puede vincularse con la mayor contribución de hojas de ambos cultivos comparado con el resto de las especies (Tabla 1). El contenido de lignina difirió entre especies ($P = 0,001$) aunque siguió una tendencia opuesta mostrando alfalfa y raigrás anual los mayores valores (7% y 4,6% respectivamente) y a diferencia de la FDN, maíz mostró el menor valor (2,5%). Estos valores son relevantes dado que la lignina es una fracción indigestible para los rumiantes. Los resultados pueden explicarse a partir de las diferentes características anatómicas de los tallos de gramíneas (monocotiledóneas) y leguminosas (dicotiledóneas), la diferente relación hoja/tallo (Tabla 1), y

Tabla 1. Materia seca al momento de corte (MS%) y composición morfológica en términos de peso seco (%) de hoja, tallo y estructuras reproductivas (ER) y relación hoja/tallo de las especies integrantes de la secuencia del doble cultivo anual y alfalfa en valles regados de

Patagonia Norte. Los valores son promedios $\pm$ desvío estándar. Para cada variable, letras diferentes indican diferencias significativas ($P<0,05$) entre cultivos. DMS: Diferencia Mínima Significativa.

Table 1. Dry matter at cutting (MS%) and morphological composition in terms of dry weight (%) of leaf, stem and reproductive structures (ER) and leaf/stem ratio of annuals winter-summer forage crops and alfalfa in irrigated valleys of North Patagonia. Values are means $\pm$ standard deviation. For each variable, different letters indicate significant differences ($P<0,05$) among crops. DMS: Minimum Significant Difference.

Cultivo	MS (%)	Hoja (%)	Tallo (%)	Relación H/T	ER (%)
Maíz	28,6 $\pm$ 0,9 ab	14,3 $\pm$ 1,0 c	22,1 $\pm$ 3,4 c	0,64 $\pm$ 0,1 b	63,6 $\pm$ 2,5 a
Sorgo	31,1 $\pm$ 1,9 a	17,1 $\pm$ 1,2 c	46,9 $\pm$ 8,3 b	0,36 $\pm$ 0,04 d	36,0 $\pm$ 9,5 c
Avena	29,9 $\pm$ 1,5 a	9,3 $\pm$ 0,9 c	46,3 $\pm$ 1,3 b	0,20 $\pm$ 0,02 d	44,4 $\pm$ 2,1 b
Cebada	29,6 $\pm$ 0,3 a	12,0 $\pm$ 1,9 c	56,3 $\pm$ 4,2 a	0,21 $\pm$ 0,04 d	31,7 $\pm$ 3,1 c
Raigrás anual	25,2 $\pm$ 2,2 b	25,1 $\pm$ 4,5 b	47,7 $\pm$ 3,2 b	0,52 $\pm$ 0,1 c	27,2 $\pm$ 3,0 d
Alfalfa*	20,1 $\pm$ 1,4 c	48,1 $\pm$ 0,8 a	51,3 $\pm$ 0,9 b	0,93 $\pm$ 0,03 a	0,90 $\pm$ 0,02 e
DMS	2,4	3,9	7,1	0,21	7,5

* Valores correspondientes al último de los 5 cortes realizados

Tabla 2. Fibra detergente neutro (FDN, %), fibra detergente ácido (FDA, %), lignina (%), proteína bruta (%) y digestibilidad de la materia seca (DMS, %) de planta entera de especies integrantes de la secuencia del doble cultivo anual y alfalfa en valles regados de Patagonia Norte. Los valores son promedios $\pm$ desvío estándar. Para cada variable, letras diferentes indican diferencias significativas ($P<0,05$) entre cultivos. DMS: Diferencia Mínima Significativa.

Table 2. Neutral detergent fiber (FDN, %), acid detergent fiber (FDA, %), lignin (%), crude protein (%) and dry matter digestibility (DMS, %) of whole plant of integral crops of double annual crop and alfalfa in irrigated valleys of North Patagonia. Values are means $\pm$ standard deviation. For each variable, different letters indicate significant differences ($P<0,05$) among crops. DMS: Minimum Significant Difference.

Cultivo	FDN (%)	FDA (%)	Lignina (%)	Proteína (%)	DMS (%)
Maíz	62,2 $\pm$ 3,1 a	20,4 $\pm$ 2,1 c	2,5 $\pm$ 0,7 d	9,1 $\pm$ 0,8 c	72,6 $\pm$ 1,6 a
Sorgo	63,5 $\pm$ 0,3 a	28,1 $\pm$ 0,2 b	3,8 $\pm$ 0,1 c	5,2 $\pm$ 0,7 d	64,6 $\pm$ 0,9 b
Avena	61,7 $\pm$ 2,8 a	31,1 $\pm$ 0,8 a	4,4 $\pm$ 0,6 b	8,7 $\pm$ 1,0 c	64,7 $\pm$ 0,7 b
Cebada	61,5 $\pm$ 3,2 a	29,1 $\pm$ 1,0 b	3,3 $\pm$ 0,9 c	9,6 $\pm$ 2,1 c	66,2 $\pm$ 0,8 b
Raigrás anual	58,0 $\pm$ 2,7 b	33,3 $\pm$ 0,7 a	4,6 $\pm$ 0,1 b	12,8 $\pm$ 1,3 b	62,9 $\pm$ 0,6 c
Alfalfa*	48,6 $\pm$ 1,2 c	28,6 $\pm$ 4,1 b	7,0 $\pm$ 0,9 a	23,5 $\pm$ 1,7 a	66,6 $\pm$ 3,2 b
DMS	5,1	3,0	1,1	3,4	2,2

* Valores correspondientes al último de los 5 cortes realizados

las diferencias de estado fenológico a la cosecha. Como era de esperar por ser una leguminosa, alfalfa presentó el mayor %PB (23,5%), valor significativamente superior ($P=0,001$) a todas las gramíneas (Tabla 2). Entre los VI, se distingue el mayor %PB de raigrás anual (12,8%) respecto de avena (8,7%) y cebada (9,6%) resultado que puede asociarse a su mayor relación hoja/tallo (0,52% para raigrás anual y 0,20%-0,21% para avena y cebada, Tabla 1). En los VV, el %PB de maíz fue similar a los VI y mayor que sorgo (9,1 vs 5,8%, Tabla 2).

En relación a los valores absolutos de %PB, puede observarse que los mismos son superiores a los encontrados en otros trabajos. Romero (2004) cita para maíz valores extremos entre 6 y 17 % aunque el promedio de 8% se ubica por debajo del valor observado en el presente experimento de 9,1%. Estos resultados se explican por la condición de manejo de todos los cultivos, que tuvieron un aporte adicional de fertilizantes fosfo-nitrogenados. Mazzanti *et al.* (1996) mostraron que la fertilización fosfo-nitrogenada en invierno determina aumentos en la concentración de N total y por ende en el %PB del forraje de avena y raigrás anual respecto de los mismos no fertilizados. Un comportamiento similar de incrementos significativos en el %PB con el aporte

de la fertilización nitrogenada se documentó para maíz con destino a ensilaje (Soto *et al.* 2004) y para el cultivo de sorgo (Carrasco, Zamora y Melín, 2011).

Respecto a la DMS, es una variable relevante dado que se acepta como sinónimo de "calidad del forraje" (Agnusdei 2007). El mayor valor de %DMS ($P=0,001$) correspondió a maíz (72,6%), resultado atribuible a su alto aporte de grano. El resto de las especies mostró valores similares de %DMS (promedio 65%). En este experimento, las diferencias de comportamiento entre las especies de las variables FDN, FDA, lignina y %PB mencionadas en párrafos previos, pudieron generar compensaciones que determinaron que a nivel de %DMS no se observaran diferencias significativas, por ejemplo entre sorgo, avena, cebada y alfalfa (Tabla 2).

Proteína y materia seca por unidad de superficie

La información de la acumulación total de forraje se presenta como resultado necesario para estimar la producción de PB y MSD por unidad de superficie. Esta variable mostró que las secuencias de sorgo con avena y cebada superaron a las secuencias con maíz mientras alfalfa fue superada por todas las combinaciones de doble cultivo (Tabla 3). La respuesta observada en el tercer ciclo contrasta

Tabla 3. Acumulación total de forraje (kg MS ha⁻¹) de secuencias de doble cultivo anual y de alfalfa, y aporte de los verdeos de invierno y verano (%) en valles regados de Patagonia Norte. Ciclo 2014-2015. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P<0,05$) entre secuencias de doble cultivo y alfalfa. DMS: Diferencia Mínima Significativa.

Table 3. Total forage accumulation (kg MS ha⁻¹) of double annuals crops and alfalfa, and contribution of annual winter-summer forage crops (%) in irrigated valleys of North Patagonia. Cycle 2014-2015. Different letters indicate significant differences ($P < 0,05$) between double crops sequences and alfalfa. DMS: Minimum Significant Difference.

Secuencia	Acumulación total kg MS ha ⁻¹	% Verdeo de Verano	% Verdeo de Invierno
Maíz + Avena	35.241 b	62	38
Maíz + Cebada	35.808 b	61	39
Maíz + Raigrás anual	30.511 c	71	29
Sorgo + Avena	40.177 a	66	34
Sorgo + Cebada	40.744 a	65	35
Sorgo + Raigrás anual	35.447 b	75	25
Alfalfa *	22.139 c		
DMS	4386		

* Sumatoria de 5 cortes

con la de los ciclos previos, en las cuales las secuencias con maíz no difirieron o fueron superiores a las secuencias con sorgo (Colabelli *et al.* 2021). Avena y cebada fueron los VI más productivos, superando ambos significativamente al raigrás anual. En consecuencia, la contribución de los VV cuando integraron la secuencia de doble cultivo con raigrás anual, fueron superiores a 70%, mientras que cuando se combinaron con avena o cebada no superaron el 66% (Tabla 3).

La PB por hectárea fue superior en alfalfa (Tabla 4), resultado que puede ser explicado por los más de 10 puntos de diferencia del %PB en este cultivo en comparación con los VI y VV (Tabla 2). En las secuencias de doble cultivo, aquellas integradas por maíz con cualquiera de los VI evaluados, superaron en PB por hectárea a las secuencias con sorgo con los mismos VI (Tabla 4). Si bien la producción de forraje de las secuencias con sorgo fueron superiores a aquellas con maíz (Tabla 3), el mayor %PB del cultivo de maíz en relación a sorgo (Tabla 2) permite explicar los resultados obtenidos. Un comportamiento diferente se observó para MSD por hectárea: todas las secuencias de doble cultivo superaron a alfalfa (Tabla 4). Entre las secuencias, si bien la máxima variación en %DMS fue de 10 puntos entre cultivos (Tabla 2), las diferencias en producción de forraje (Tabla 3) no se trasladaron a la MSD por hectárea. Estos resultados pueden explicarse porque el mayor %DMS de maíz respecto de sorgo compensó la mayor acumulación de biomasa de este cultivo.

Implicancias prácticas del doble cultivo anual

Desde un punto de vista sistémico, el doble cultivo anual representa un sistema de alta producción de MSD por unidad de superficie, donde se logra una aproximación al potencial de producción de forrajes de los suelos, permite un significativo incremento de la carga animal por hectárea y de la producción de carne por hectárea, aunque con un alto consumo de energía fósil y de insumos como semillas y fertilizantes. Por otro lado, la elevada producción de proteínas por hectárea de los alfalfares con una producción intermedia-alta de MSD por hectárea permitiría producciones intermedias de carne por hectárea empleando menores cantidades de energía fósil y fertilizantes y liberando menores cantidades de gases de efecto invernadero por hectárea (Smil 2000; Oenema *et al.* 2014). La intensificación de la producción de forrajes y carnes en los valles regados de Patagonia Norte es un proceso en desarrollo que se cumple en un contexto regional y global de incremento de la productividad de los sistemas donde el óptimo es un blanco móvil que depende de un contexto económico, social y ambiental cambiante. Probablemente este óptimo requiera de sistemas que combinen una alta proporción de pasturas base alfalfa con pequeñas áreas de doble cultivo anual.

Tabla 4. Proteína bruta (PB kg ha⁻¹) y materia seca digestible (MSD kg ha⁻¹) por unidad de superficie de cultivos integrantes y de secuencias de doble cultivo anual y alfalfa en valles regados de Patagonia Norte. Para cada secuencia y alfalfa, los valores son promedios $\pm$ desvío estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre cultivos. DMS: Diferencia Mínima Significativa.

Table 4. Crude protein (PB, kg ha⁻¹) and digestible dry matter (MSD, kg ha⁻¹) per unit area for integral crops and sequences of double annual forage crops and alfalfa in irrigated valleys of North Patagonia. For each sequence and alfalfa, values are means $\pm$ standard deviation. Different letters indicate significant differences ($P < 0,05$) between crops. DMS: Minimum Significant Difference.

Secuencia	PB kg ha ⁻¹			MSD kg ha ⁻¹		
	VV	VI	Total VV+VI	VV	VI	Total VV+VI
Maíz + Avena	2152	1175	3327 $\pm$ 185 b	15781	8697	24478 $\pm$ 360 ab
Maíz + Cebada	2152	1210	3362 $\pm$ 213 b	15781	9273	25054 $\pm$ 422 ab
Maíz + Raigrás anual	2152	1123	3275 $\pm$ 124 b	15781	5493	21273 $\pm$ 330 c
Sorgo + Avena	1627	1175	2802 $\pm$ 88 c	17311	8697	26008 $\pm$ 1112 a
Sorgo + Cebada	1627	1210	2837 $\pm$ 55 c	17311	9273	26584 $\pm$ 728 a
Sorgo + Raigrás anual	1627	1123	2750 $\pm$ 43 c	17311	5493	22804 $\pm$ 901 bc
Alfalfa			5282 $\pm$ 270 a			14889 $\pm$ 614 d
DMS			363,6			1075,5

Conclusiones

El cultivo de alfalfa presentó el mayor contenido de proteína, atribuible a la elevada relación hoja/tallo. Entre los

VI, la mejor relación hoja/tallo de raigrás anual se tradujo en mayor contenido proteico que avena y cebada. Todos los VI y maíz, presentaron mayor contenido de proteína que el

cultivo de sorgo. En cuanto a la digestibilidad (DMS) del forraje, el mayor valor correspondió a maíz, como resultado de su elevada proporción de grano. Entre los VI se destaca la DMS superior de avena y cebada respecto de raigrás anual, resultado que también se puede atribuir al menor contenido de grano de esta última especie.

La mayor producción de materia seca digestible por hectárea de las secuencias de maíz con avena o cebada indica la mayor aptitud de estas combinaciones para producir silaje. La secuencia de sorgo con avena o cebada presentó valores intermedios, ofreciendo una alternativa para suelos no aptos para siembra de maíz. Todas las secuencias de doble cultivo presentaron mayor materia seca digestible por hectárea que alfalfa; mientras que en términos de proteína bruta por hectárea ninguna secuencia de doble cultivo anual igualó al cultivo de alfalfa.

Estos resultados tienen implicancias prácticas para el desarrollo de sistemas ganaderos irrigados más intensivos en la región Patagonia Norte que procuren alcanzar óptimos de producción combinando superficies importantes de pasturas base alfalfa con pequeñas superficies de doble cultivo anual, que permitan incrementos de la carga animal y de la producción de carne por unidad de superficie minimizando los costos y las externalidades negativas.

Agradecimientos

El presente trabajo fue financiado por INTA (PNPA-1126073 "Pasturas para una Ganadería Ecoeficiente y de Bajo Carbono. 2013-2018") y por la Universidad Nacional de Río Negro mediante el Proyecto 40-C-295 "Incremento de la producción forrajera en los valles irrigados del norte patagónico. 2014-2017".

Bibliografía

Agnusdei M (2007) Calidad nutritiva del forraje. *Agromercado* **136**, 11-17.

Blanco F (2018) Evaluación de cereales de invierno para ensilaje con aportes nutricionales de *Vicia villosa* Roth. Tesis de grado, Universidad Nacional del Comahue, Argentina.

Carrasco N, Zamora MA, Melin A (2011) Nutrición del cultivo. En 'Manual de sorgo'. Pp. 37-40. (INTA Ediciones: Buenos Aires).

Carrete JR, Ceconi I (2001) Maíces Bt: Producción y calidad de la planta entera y del silaje. *Revista Argentina Producción Animal* **21** Supl. 1, 160-161.

Colabelli MR, Gallego JJ, Barbarossa RA, Neira Zilli F, Miñón DP (2021) Secuencias de doble cultivo anual y alfalfa en valles regados de Patagonia Norte. 1. Producción de forraje. *Revista Argentina de Producción Animal* **41**, 1-9.

Di Marco OA, Aello MS (2007) Calidad nutritiva de la planta de maíz para silaje. *Producir XXI* **15**, 36-43.

Di Marco OA (2011) Estimación de calidad de los forrajes. *Producir XXI* **20**, 24-30.

Gallego JJ, Miñón DP, Barbarossa RA (2013) Fertilización nitrogenada de sorgos para silaje en los valles Norpatagónicos. *Revista Argentina de Producción Animal* **33** Supl. 1, 299.

Insúa JR (2018) Enfoque morfogénico para mejorar la modelación biofísica de la calidad nutritiva de pasturas.

Tesis Doctor en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional Mar del Plata, Argentina.

Mayo A, Tranier E, Gallitric M (2017) Resultados de la evaluación de sorgos graníferos y sorgos sileros. Campaña 2016-2017. Informe INTA EEA Bordenave, 12 pp.

Mazzanti A, Marino MA, Lattanzi F, Echeverría HE, Andrade F (1996) Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento y la calidad del forraje de avena y raigrás anual en el sudeste bonaerense. *Boletín Técnico* **143**, 27 pp. INTA EEA Balcarce. (INTA Ediciones: Buenos Aires).

Miñón DP, Gallego JJ, Barbarossa R, Margiotta F, Martínez RS, Reinoso L (2009a) Evaluación de la producción de forraje de híbridos de maíz para silaje en el Valle Inferior del río Negro: campaña 2008-2009. Información Técnica **20**, 5 pp. Convenio Provincia de Río Negro-INTA EEA Valle Inferior. (INTA Ediciones: Buenos Aires).

Miñón DP, Gallego JJ, Murray F, Barbarossa R (2009b) Producción de sorgos para reserva de forraje (henificación/ensilaje) en el Valle Inferior del río Negro: campaña 2008-2009. Información Técnica **21**, 7 pp. Convenio Provincia de Río Negro-INTA EEA Valle Inferior. (INTA Ediciones: Buenos Aires).

Miñón DP, Bolla D, Martínez Luque J, Garcilazo G, Lascano O, Enrique M (2013) Fortalecimiento de la ganadería vacuna en la nueva zona libre de aftosa patagónica. Informe Convenio Provincia de Río Negro-INTA EEA Valle Inferior. 13 pp.

Oenema O, De Klein CA, Alfaro MA (2014) Intensification of grassland and forage use: driving forces and constraints. *Crop and Pasture Science* **65**, 524-537.

Ramírez E, Catani P, Ruiz S (1999) La importancia de la calidad del forraje y el silaje. Actualización Técnica **2**, 23-28. Disponible en http://www.produccionanimal.com.ar/produccion_y_manejo_reservas/reservas_silos/20-la_importancia_de_la_calidad_del_forraje_y_el_silaje

Rimieri P, Scheneiter JO, Carrete JR, Devito C (1997) Producción y calidad de maíz para silaje; efecto de la longitud del ciclo bajo condiciones de riego y secano. *Revista de Tecnología Agropecuaria* **2**, 27-29.

Rohweder DA, Barnes RF, Jorgensen H (1978) Proposed hay grading standards based on laboratory analyses for evaluating quality. *Journal of Animal Science* **47**, 747-759.

Romero LA (2004) Silaje de maíz. Calidad en Alimentos Conservados. La Nación, INTA, CACF, Claas y otros. EEA INTA Rafaela. pp. 31-33. Disponible en www.produccionanimal.com.ar

Santini FJ (2014) Conceptos básicos de la nutrición de rumiantes. En 'Nutrición Animal Aplicada'. (Eds. Grupo de Nutrición Animal) pp. 4-23. INTA, EEA Balcarce, Argentina.

Smil V (2000) Feeding the world. A challenge for the twenty-first century. (MIT Press: Cambridge, MA).

Trujillo AI, Uriarte G (2011) Valor nutritivo de las pasturas. (Facultad de Agronomía, UDELAR: Montevideo, Uruguay).

Soto OP, Jahn BE, Arredondo SS (2004) Mejoramiento del porcentaje de proteína en maíz para ensilaje con el aumento y parcialización de la fertilización nitrogenada. *Agricultura Técnica (Chile)* **64**, 156-162.

Van Soest PJ (1963) Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of Fiber and Lignin. *Official Agriculture Chemistry* **46**, 829.

Van Soest PJ (1994) Nutritional ecology of the ruminant. (Cornell University Press: Ithaca, NY).