

SECUENCIAS DE DOBLE CULTIVO ANUAL Y ALFALFA EN VALLES REGADOS DE PATAGONIA NORTE. 1. PRODUCCION DE FORRAJE

Irrigated double annual crop sequences and alfalfa in valleys of North Patagonia. 1. Forage production

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

*E-mail de contacto: mcolabelli@unrn.edu.ar

RESUMEN

En los valles regados del río Negro los sistemas de producción animal se desarrollan principalmente sobre pasturas perennes de alfalfa pura o en mezcla con gramíneas. La utilización de verdeos anuales es poco frecuente. El objetivo de este trabajo fue comparar las diferencias en producción de 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), con destino a heno o silaje 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. Se evaluaron 3 ciclos productivos, utilizando un diseño en bloques completos al azar con tres repeticiones. En todos los cultivos se determinó la producción de forraje. Adicionalmente, en los VV se evaluó densidad de plantas a cosecha y peso de plantas. La acumulación total de forraje promedio de los tres ciclos de las secuencias de cultivos anuales superó la producción de la pastura de alfalfa ($34,5 \pm 8,2$ vs. $21,9 \pm 0,9$ t MS ha⁻¹ para el promedio general del doble cultivo y alfalfa, respectivamente). Las secuencias más destacadas fueron aquellas integradas por maíz con avena o cebada, dado que presentaron mayor producción de forraje. Los resultados indican que las secuencias de doble cultivo anual con adecuada disponibilidad de agua y nutrientes constituyen alternativas tecnológicas que permiten elevar significativamente la producción anual de forraje modificando los encadenamientos e incorporando los forrajes conservados a los sistemas de producción ganadera de Patagonia Norte.

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

ABSTRACT

In the Río Negro irrigated valley, the animal production systems are developed mainly on alfalfa, either pure or mixed with grasses. The use of annual forage crops is infrequent. The objective of this work was to quantify the differences in forage production of a perennial alfalfa pasture and six double annual crop sequences resulting from combining a summer forage crop (VV) with a winter forage crop (VI), destined for hay or silage in non-limiting conditions of water and nutrients. The VV were maize and sorghum and the VI, oats, barley and annual ryegrass. The trial was carried out in the EEA Valle Inferior del Río Negro, Agreement Province of Río Negro-INTA. Three productive cycles were evaluated, using a random complete block design with three repetitions. In all crops the forage production was determined. Additionally, plant density and weight per plant were evaluated at harvest in VV. The average total forage accumulation of the annual crop sequences exceeded alfalfa pasture production ($34,5 \pm 8,2$ vs. $21,9 \pm 0,9$ t DM ha⁻¹ for the overall average of the crops sequence and alfalfa, respectively). The most outstanding sequences were those integrated by corn with oats or barley, since they presented higher forage production. The results indicate that double annual crop sequences with adequate water and nutrients availability constitute technological alternatives that allow to significantly increase the annual forage production by modifying the chains and incorporating the conserved forages into the animal production system of North Patagonia.

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

Recibido: septiembre 2021

Aceptado: abril 2022

Introducción

En marzo de 2013 el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación estableció que la región Norpatagónica (Patagonia Norte A) había alcanzado el estatus de zona libre de aftosa sin vacunación y con reconocimiento internacional, por lo que a partir de esa fecha se prohibió el ingreso de ganado en pie y de carne con hueso de la región ubicada al norte de los ríos Barrancas y Colorado donde es obligatoria la vacunación contra fiebre aftosa (MAGyP resolución Nº 141/2013). Como consecuencia de esta política se produjo una transformación de la ganadería regional que históricamente se comportaba como zona de cría, hacia un modelo de ciclo completo, en el cual se terminan comercialmente las distintas categorías de ganado en pasturas con *Medicago sativa* (alfalfa), pasturas perennes de gramíneas, se suplementa con granos, heno, silajes, y se utilizan los corrales de engorde cuyo número creció significativamente (Miñón et al. 2016). Como resultado de este proceso entre 2012 y 2016 se incrementó un 26% la faena regional patagónica fiscalizada por SENASA (Villareal et al. 2018).

No obstante los avances producidos, la región patagónica no se autoabastece de carne e “importa” carne deshuesada de la región pampeana (Bassi et al. 2010). Actualmente se producen en la región alrededor de 24 kg de un total de 57 kg de carne habitante⁻¹ año⁻¹ que se consumen (Villarreal et al. 2018). Por otro lado, la apertura de mercados internacionales *Premium* para la exportación de carne producida en la región, ejerce una fuerte tracción para la intensificación de la actividad ganadera (IPCVA 2018). El término intensificación puede tener distintas interpretaciones y en general se lo relaciona con el incremento de la velocidad del flujo de energía y nutrientes de un sistema (Viglizzo 2017). En el presente trabajo se define operativamente el término como la cantidad de forraje producido por hectárea y por año (Oeonema et al. 2014). Si se considera que el ambiente de secano se encuentra al límite de su capacidad productiva (Bassi et al. 2010), el aumento de la producción de forrajes en los valles regados del norte patagónico adquiere un rol estratégico para la intensificación ganadera regional (Miñón et al. 2013). La producción de grandes cantidades de forraje a bajo costo en los valles regados tendría beneficios indudables. Por un lado, proporcionaría mayor sustentabilidad a los sistemas de cría mejorando la articulación secano-riego; por otro, permitiría incrementar la cantidad de animales terminados para faena (La Rosa et al. 2010; Miñón et al. 2015).

Los sistemas de engorde basan sus cadenas de alimentación principalmente en pasturas de alfalfa, en mezclas de alfalfa con gramíneas y en menor medida en pasturas de gramíneas en las que predominan *Festuca arundinacea* Schreb. (festuca alta) *Thinopyrum ponticum* Podp. (agropiro alargado) (Miñón et al. 2015). Con el objetivo de incrementar la productividad en las áreas bajo riego, se condujeron experimentos para evaluar diferentes recursos forrajeros anuales tales como distintos híbridos de sorgo para heno o silaje (Miñón et al. 2009b; 2012), híbridos de maíz para silaje (Miñón et al. 2009a), y cultivos forrajeros invernales (Gallego et al. 2014). Una alternativa tecnológica que permitiría incrementar la producción por unidad de

superficie es el doble cultivo anual, resultante de la combinación de cultivos anuales complementarios de ciclo estival e invernal (Miñón et al. 2015). La productividad comparada de secuencias de cultivos complementarios con adecuada provisión de agua y nutrientes, podría resultar superior a las pasturas perennes debido a una mayor captura de la radiación solar anual y a los efectos positivos sobre la utilización de los recursos ambientales restantes (Collino et al. 2007).

El objetivo del presente trabajo fue cuantificar las diferencias en producción de 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). En todos los casos, el destino es la elaboración de reservas forrajeras (heno o silaje) y en condiciones experimentales de riego y fertilización aproximadamente no limitantes para mejorar la eficiencia de uso de los recursos ambientales. La experimentación conducida durante tres ciclos productivos procuró explorar los techos de la producción primaria para la región Patagonia Norte, que compatibilicen criterios de intensificación con objetivos de sustentabilidad de los sistemas ganaderos del área de mayor potencialidad de la región.

Materiales y Métodos

Sitio experimental

El trabajo se realizó en la EEA Valle Inferior del Río Negro (40° 48'S; 65° 05'W), en un suelo Vertisol serie “Chacra” de textura arcillo-limosa, desarrollado sobre sedimentos fluvio-aluvionales (Guerra et al. 1966; Martínez et al. 2004). Al inicio del período experimental, los valores de las variables edáficas fueron pH: 7,9; P (Olsen): 11,4 ppm y MO: 3,2%. Según Thornthwaite (1948) el clima es semiárido, mesotermal con pequeño a nulo exceso de agua y baja eficiencia térmica estival. La temperatura media anual es de 14,1 °C con una máxima media en verano de 20,9 °C y una mínima media en invierno de 7,9 °C. El otoño y la primavera son estaciones de transición con temperaturas variables. La precipitación media histórica es de 409 mm anuales y el período libre de heladas es de 199 días (Martín 2009).

Diseño, tratamientos y manejo experimental

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 (ciclo 1: 2012-2013, ciclo 2: 2013-2014 y ciclo 3: 2014-2015) (ver detalle en Tabla 1). Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con 7 tratamientos y 3 repeticiones. Las secuencias de VV+VI se dispusieron en un diseño de parcelas divididas (Parcela Principal= VV, Subparcelas= VI). Los cultivares de cada especie se seleccionaron por su probada adaptación a la región. Para maíz se eligió el híbrido granífero de ciclo intermedio DK 684, mientras que para sorgo se eligió el híbrido de tipo silero TOB 80 Sil. Ambos materiales ya no se encuentran disponibles en el mercado y han sido reemplazados por otros cultivares de características similares o superiores. Para los verdeos de invierno, se eligieron el cv. Violeta INTA de avena

Tabla 1. Especies, cultivares, densidad, fecha de siembra y cosecha de las secuencias de verdeos estivales e invernales y alfalfa en valles regados de Patagonia Norte.**Table 1.** Species, cultivars, seed density, sowing date and harvest date of annual winter and summer forage crops and alfalfa in irrigated valleys of North Patagonia.

Especie	Cultivar	Densidad Semillas m ⁻²	Ciclo 1		Ciclo 2		Ciclo 3	
			Siembra	Cosecha	Siembra	Cosecha	Siembra	Cosecha
Maíz	DK 684	10	05/12/2012	16/04/2013	28/11/2013	18/04/2014	28/11/2014	06/04/2015
Sorgo	TOB80SIL	32	05/12/2012	16/04/2013	28/11/2013	21/04/2014	28/11/2014	25/04/2015
Avena	Violeta INTA	300	27/04/2013	19/04/2013	02/06/2014	19/11/2014	02/06/2015	19/11/2015
Cebada	Alicia INTA	300	27/04/2013	12/11/2013	02/06/2014	18/11/2014	02/06/2015	18/11/2015
Raigrás	Beef Builder III	500	27/04/2013	06/11/2013	02/06/2014	30/11/2014	02/06/2015	17/11/2015
Alfalfa	CW 830	500	12/04/2012	30/10/2012		19/11/2013		22/10/2014
				29/11/2012		03/01/2014		27/11/2014
				03/01/2013		04/02/2014		07/01/2015
				05/02/2013		13/04/2014		27/02/2015
				27/04/2013				28/04/2015

y el cv. Alicia INTA de cebada forrajera, ambos de ciclo intermedio a corto y alto potencial de rendimiento de granos; mientras que el cv. Beef Builder III de raigrás anual es tetraploide de tipo westerwoldicum y ciclo corto; para alfalfa se eligió el cv. CW830, de grado de reposo invernal 8, gran tolerancia a heladas, y alta resistencia a enfermedades fúngicas y a pulgones (Spada 2012). La distancia entre líneas de siembra fue de 70 cm para maíz y 35 cm para 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 en todos los ciclos se fertilizó a la siembra con 100 kg ha⁻¹ de fosfato di amónico y con 217 kg ha⁻¹ de urea en macollaje avanzado. El cultivo de alfalfa se fertilizó con 50 kg ha⁻¹ a la siembra y 100 kg ha⁻¹ de fosfato di amónico a comienzos de cada ciclo. Se aplicaron riegos en forma gravitacional por melga. El criterio utilizado fue regar todas las parcelas cuando en alguno de los cultivos se registraba el 50% del agua útil del suelo (diferencia entre el contenido hídrico del suelo a capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP). Los valores de CC y PMP para el suelo del experimento fueron determinados previamente (43,8% y 22,5% respectivamente; Zubillaga 2017). La evolución del contenido hídrico del suelo durante el período experimental se realizó por el método gravimétrico en muestras extraídas en los primeros 20 cm del suelo, con una frecuencia semanal. Durante los meses invernales no se dispone de agua en el sistema de riego de la región. El agua aplicada en cada riego se estimó aproximadamente en 120 mm (Lui *et al.* 2012).

Variables de respuesta

Se registraron la temperatura media diaria y las precipitaciones en la estación meteorológica automática de la EEA Valle Inferior ubicada en cercanía de las parcelas experimentales. La cantidad de agua recibida como láminas de riego fueron similares entre ciclos evaluados, observándose diferencias pequeñas en las precipitaciones (Tabla 2). Con los valores de temperatura media del aire se calcularon los grados centígrados día de crecimiento (GDC) desde siembra a cosecha para cada cultivo integrante de la secuencia en cada ciclo evaluado. La acumulación de GDC se calculó como: $\sum (T^{\circ} \text{ media diaria} - T^{\circ} \text{ base de crecimiento})$.

Para maíz, se consideró temperatura base de crecimiento 8°C (Jones y Kiniry 1986), para sorgo 10°C (Vanderlip 1993) y para los verdeos de invierno se consideró una temperatura base de crecimiento de 0°C (Marino 1996). En el presente experimento las fechas de siembra y cosecha presentaron leves diferencias entre ciclos, lo cual sumado a las diferencias térmicas normales entre años, determinaron variaciones en la suma de temperaturas o GDC de los cultivos. El cultivo de maíz presentó más GDC en el ciclo 2 comparado con los otros ciclos, mientras que el cultivo de sorgo alcanzó más GDC en el ciclo 3 en comparación con los restantes. Para los VI, en las 3 especies se observaron mayores GDC en el ciclo 1 (Tabla 3). Esto ocurrió debido a que la fecha de siembra en el ciclo 1 se anticipó en 35 días respecto de los ciclos 2 y 3.

En los verdeos de verano, se realizó el recuento de plantas a cosecha en 2 m lineales en cada repetición; se realizaron los cálculos para expresarlas como densidad (plantas ha⁻¹). En cada cosecha (ver fechas en Tabla 1), se cortaron 10 plantas al azar por cultivo y repetición, y se llevaron a laboratorio para determinar el peso seco individual. Para ello, cada planta fue pesada en fresco y luego de secada en estufa de aire forzado a 65 °C durante 48 h. Para evaluar la acumulación de forraje, en alfalfa se realizaron cortes de forraje cada vez que alcanzó 10% de floración o bien cuando el rebrote de corona alcanzaba 3-5 cm. Se realizaron 5 cortes en el ciclo 1 y 3, y 4 cortes en el ciclo 2. En los VV y en 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. Los resultados de acumulación de biomasa se expresaron en t MS ha⁻¹. La cosecha de VV se realizó sobre 1,4 m² (maíz) y 0,7 m² (sorgo) a 15 cm de altura 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 que fueron llevadas a laboratorio para determinar el porcentaje de materia seca (%MS). Para ello, las muestras fueron pesadas en fresco y luego de secadas en estufa de aire forzado a 65°C durante 48 h. El cálculo se realizó a través de la fórmula: %MS= ((peso fresco-peso seco)/peso fresco) x 100.

Tabla 2. Precipitaciones, riego y agua total recibida en cada ciclo de crecimiento en valles regados de Patagonia Norte.**Table 2.** Rainfall, irrigation and total water received in each growth cycle in irrigated valleys of North Patagonia.

Cultivo	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
VERDEOS DE VERANO			
Riego (mm)	600	600	600
Precipitaciones (mm)	95	137	115
Total (mm)	695	737	715
VERDEOS DE INVIERNO			
Riego (mm)	480	360	360
Precipitaciones (mm)	138	231	151
Total (mm)	618	591	511
ALFALFA			
Riego (mm)	960	960	960
Precipitaciones (mm)	233	368	266
Total (mm)	1193	1328	1226

Tabla 3. Grados día de crecimiento (GDC) desde siembra a cosecha para las secuencias de cultivos estivales e invernales en tres ciclos productivos en valles regados de Patagonia Norte.**Table 3.** Growth degree day (GDC) from sowing to harvest for the sequences of summer and winter crops in three production cycles in irrigated valleys of North Patagonia.

Cultivo	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
Maíz	1477	1599	1567
Sorgo	1214	1337	1407
Avena	1447	1229	1109
Cebada	1346	1218	1100
Raigrás anual	1268	975	1088

Análisis estadístico

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

Resultados y Discusión

Acumulación de forraje de las secuencias de doble cultivo y alfalfa

La acumulación total de forraje presentó interacción entre los ciclos evaluados y los tratamientos ($P < 0,0001$). En el primer ciclo, la secuencia maíz-cebada y alfalfa fueron los tratamientos más y menos productivos respectivamente. Sin embargo, la secuencia de mayor producción total maíz-cebada no se diferenció de las otras secuencias de maíz con VI y solo se diferenció de la secuencia de menor producción sorgo-raigrás anual y alfalfa (Tabla 4). En el ciclo 2, todas las secuencias con maíz presentaron mayor acumulación de forraje que las secuencias con sorgo y ambas secuencias se diferenciaron de alfalfa, que mostró los menores valores. En el ciclo 3, las secuencias de sorgo con avena y cebada superaron a las secuencias con maíz; al igual que en los ciclos previos, alfalfa fue superada por todas las combinaciones de doble cultivo (Tabla 4).

El valor de producción de forraje de las secuencias promedio de los 3 ciclos fue de $34,5 \text{ t MS ha}^{-1}$, con valores máximos promedio de $37,0 \text{ t MS ha}^{-1}$ y mínimo promedio de $30,6 \text{ t MS ha}^{-1}$. Estos valores son similares a los informados por Spara et al. (2016) en Luján (provincia de Buenos Aires), con secuencias similares de doble cultivo fertilizadas y con riego complementario, las cuales alcanzaron valores promedio en un solo ciclo productivo de $34,1 \text{ t MS ha}^{-1}$ y máximos y mínimos de $38,8$ y $28,3 \text{ t MS ha}^{-1}$

respectivamente; y fueron superiores a los obtenidos en experimentos conducidos en condiciones hídricas naturales en el noroeste de la provincia de Buenos Aires. En esta última región, en experimentos realizados en Pergamino que también incluyeron 3 ciclos productivos de secuencias de doble cultivo anual, se informaron producciones de forraje promedio entre $13,8$ y $20,3 \text{ t MS ha}^{-1}$ (Camarasa et al. 2014), mientras que en Gral. Villegas se lograron entre $12,2$ y $17,7 \text{ t MS ha}^{-1}$ (Sardiña et al. 2014). Las diferencias productivas entre regiones son en parte consecuencia del control de la disponibilidad hídrica y la fertilización con N y P.

La producción de forraje de las secuencias de doble cultivo comparado con alfalfa en Gral. Villegas, mostró que las secuencias duplicaron la acumulación de forraje de alfalfa en el ciclo con mayores precipitaciones, mientras que lo contrario ocurrió en el ciclo con el verano más seco en el cual alfalfa duplicó la acumulación de forraje de las secuencias (Sardiña et al. 2014). Estos resultados muestran una amplia variabilidad entre años, típica de ambientes de secano en los cuales la acumulación de forraje se asocia a la variabilidad de las precipitaciones, y además deja en evidencia la interacción con las especies sembradas: alfalfa explora el suelo a mayores profundidades que las especies anuales, cualidad que le permite mayor productividad en condiciones de limitación hídrica. En el presente experimento si bien hubo variabilidad entre ciclos en la acumulación de forraje de las secuencias, las mismas siempre superaron a alfalfa. Este resultado es consecuencia de la disponibilidad de riego integral, que sumado a la aplicación de fertilizantes nitrogenados y fosforados resultaron en una alta productividad y estabilidad entre años. No obstante, la pastura de alfalfa regada y fertilizada

Tabla 4. Acumulación total de forraje (t MS ha⁻¹) ± desvío estándar por ciclo y promedio de 3 ciclos de secuencias de verdeos de invierno-verano y de alfalfa en valles regados de Patagonia Norte. Letras minúsculas o mayúsculas diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre secuencias dentro de un mismo ciclo y entre ciclos para una misma secuencia, respectivamente. DMS: Diferencia Mínima Significativa.

Table 4. Total forage accumulation (t DM ha⁻¹) ± standard deviation per cycle and average of 3 cycles of annual winter-summer forage crops and alfalfa in irrigated valleys of North Patagonia. Different lowercase or capital letters indicate significant differences ($P < 0,05$) among sequences within the same cycle and among cycles for the same sequence, respectively. DMS: Minimum Significant Difference.

Cultivo	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Promedio
Maíz + Avena	28,2 ± 1,4 aC	46,7 ± 2,3 aA	35,2 ± 5,6 bB	36,7
Maíz + Cebada	30,2 ± 4,6 aC	45,1 ± 2,9 aA	35,8 ± 3,5 bB	37,0
Maíz + Raigrás anual	29,0 ± 3,1 aB	43,4 ± 2,6 aA	30,5 ± 2,2 cB	34,1
Sorgo + Avena	27,4 ± 2,1 abB	34,4 ± 6,3 bB	40,2 ± 9,9 aA	34,0
Sorgo + Cebada	28,5 ± 3,5 abB	33,3 ± 8,6 bB	40,8 ± 7,9 aA	34,2
Sorgo + Raigrás anual	24,8 ± 3,9 bB	31,6 ± 6,2 bB	35,5 ± 7,3 bA	30,6
Alfalfa	20,9 ± 3,1 cA	22,3 ± 1,4 cA	22,1 ± 0,4 cA	21,9
DMS	2,88	4,19	4,38	

mantuvo una producción elevada (20 t MS ha⁻¹) y estable entre los ciclos. Este aspecto es interesante para planteos de intensificación en los cuales con el agregado de P se mantienen alfalfares de alta producción.

La acumulación de forraje de los VV impuso el orden productivo de las secuencias por su mayor producción de forraje respecto de los VI (Figura 1 y 2). Esta mayor producción de los VV es esperable debido al metabolismo fotosintético que presentan. El maíz y el sorgo son especies C4 por lo cual intrínsecamente pueden tener mayor producción de forraje que especies C3 como los VI, dada su mayor eficiencia fotosintética debido a que minimizan el proceso de fotorespiración (Montaldi 1995). En consecuencia, en todas las secuencias de doble cultivo la contribución promedio de los VV sobre la acumulación total de forraje superó el 60%. Para las secuencias de maíz con avena o cebada, la contribución fue de 64%, mientras que para maíz-raigrás anual fue 70%. En el caso del sorgo, fue de 62% para las secuencias con avena o cebada, y 68% cuando raigrás anual integraba la secuencia.

Acumulación de forraje de los verdeos de verano

El cultivo antecesor (VI) no tuvo efecto significativo en la acumulación de forraje de los VV. La acumulación de forraje de los VV presentó interacción entre el ciclo y la especie ($P = 0,0001$). En el primer ciclo ambos VV presentaron similar producción de forraje, mientras que en el ciclo 2 maíz presentó la mayor producción, y el sorgo fue el más productivo en el ciclo 3 (Figura 1). Para el cultivo de maíz, la mayor acumulación de forraje del ciclo 2 podría explicarse por la interacción de tres condiciones: a) el ciclo 2 acumuló más GDC que los otros ciclos (Tabla 3). Es conocido que la temperatura tiene un efecto lineal y positivo sobre los procesos de crecimiento y desarrollo cuando no hay otros factores limitantes, como en este experimento; b) el ciclo 2 presentó mayor peso por planta para una densidad de plantas a cosecha similar a los ciclos 1 y 3 (Tabla 5); c) el ciclo 2 tuvo mayor %MS a cosecha que en el 1 y 3, por lo tanto, plantas más pesadas (Tabla 5). En el cultivo de sorgo, la mayor acumulación de biomasa del ciclo 3 puede explicarse principalmente por el mayor %MS a cosecha de este ciclo respecto de los dos anteriores, un mayor peso seco por planta y más GDC; la densidad de plantas a cosecha no fue

un factor que explicara diferencias entre ciclos dado que no presentó diferencias significativas entre los mismos (Tabla 5)

En cuanto a los valores de producción de forraje de los VV integrantes de las secuencias evaluadas, se encuentran comprendidos dentro del rango obtenido en la región en experimentos que evaluaron distintos híbridos de maíz y sorgo específicamente para silaje (Miñón *et al.* 2009a; 2009b; 2012). En estos trabajos, la acumulación de forraje para distintos híbridos de maíz varió entre 16,4 y 34,4 t MS ha⁻¹, mientras que para sorgo los valores estuvieron comprendidos entre 20,2 y 20,4 t MS ha⁻¹ para distintos híbridos sileros. Esta información comparada con los datos obtenidos en este experimento indica que el doble cultivo anual no afectó el potencial de rendimiento de los VV. Adicionalmente, si se tiene en cuenta que el período siembra-cosecha fue en promedio de los 3 ciclos 134 días para maíz y 141 días para sorgo (Tabla 1), los valores alcanzados revelan el alto potencial de producción de forraje de los VV en la región Patagonia Norte.

Acumulación de forraje de los verdeos de invierno

Al igual que en el caso de los VV, el cultivo antecesor (VV) no tuvo efecto significativo en la acumulación de forraje de los VI. Hubo interacción entre ciclo y especie. En el primer ciclo la acumulación de forraje fue similar entre las especies ($P = 0,07$) mientras que en los ciclos 2 y 3 las diferencias entre especies fueron altamente significativas ($P = 0,001$), mostrando avena y cebada una superior acumulación de forraje respecto de raigrás anual (Figura 2). En evaluaciones bajo corte realizadas en esta región, raigrás anual mostró similares valores de producción de forraje que avena o cebada, aunque a diferencia de éstos, presentó una marcada concentración de la producción en primavera tardía debido a su crecimiento inicial más lento (Gallego *et al.* 2014). Las condiciones de siembras tardías y en consecuencia de un ciclo más corto como en el presente experimento, habrían impedido a raigrás anual alcanzar producciones similares a los cereales de invierno.

La fecha de siembra de los VI más temprana en el ciclo 1 respecto del 2 y 3 permitió acumular más GDC en dicho ciclo (Tabla 3), y justificaría la mayor cantidad de agua recibida debido a un riego otoñal que no se realizó en los ciclos 2 y 3. Sin embargo, no se verificó mayor acumulación de forraje en

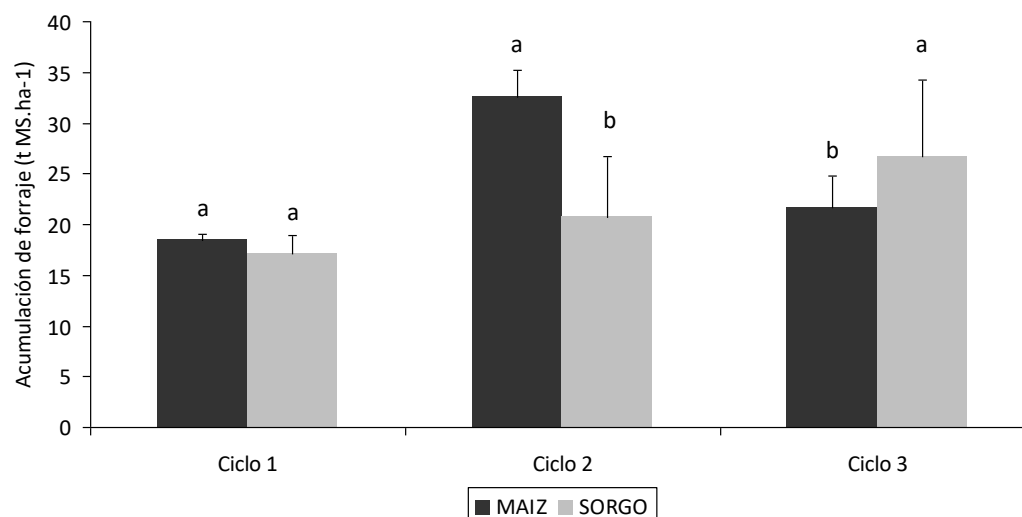


Figura 1. Acumulación total de forraje (t MS ha⁻¹) de verdeos de verano integrantes de secuencias de cultivos anuales en tres ciclos de evaluación en valles regados de Patagonia Norte. Para cada ciclo, letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre cultivos. Líneas verticales sobre las barras indican desvío estándar de la media.

Figure 1. Total forage accumulation (t DM ha⁻¹) of summer forage crops integrating the sequence of annual crops in three evaluation cycles in irrigated valleys of North Patagonia. For each cycle, different letters indicate significant differences ($P < 0,05$) between crops. Vertical lines on the bars indicate standard deviations of the means.

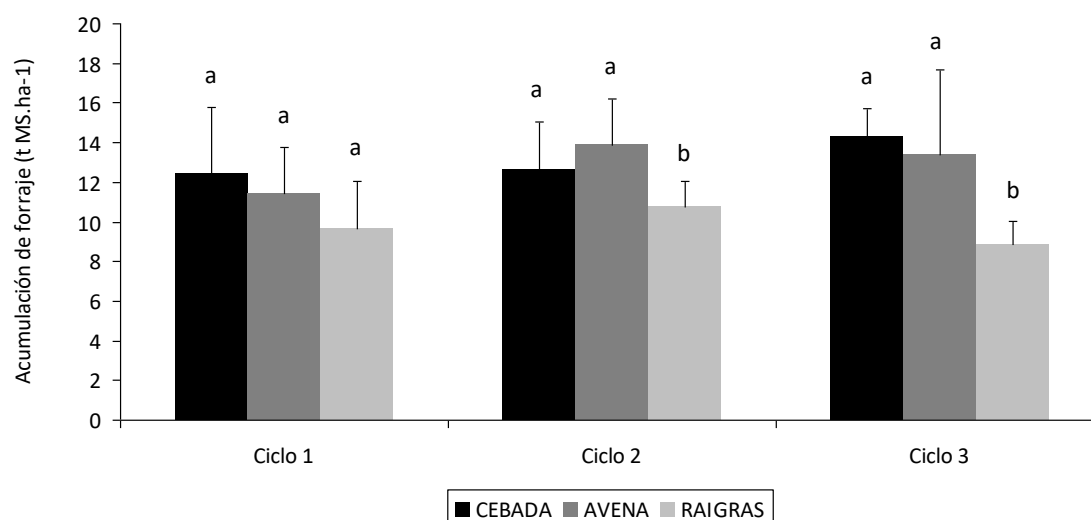


Figura 2. Acumulación total de forraje (t MS ha⁻¹) de verdeos de invierno integrantes de secuencias de cultivos anuales en tres ciclos de evaluación en valles regados de Patagonia Norte. Para cada ciclo, letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre cultivos. Líneas verticales sobre las barras indican desvío estándar de la media.

Figure 2. Total forage accumulation (t DM ha⁻¹) of winter forage crops integrating the sequence of annual crops in three evaluation cycles in irrigated valleys of North Patagonia. For each cycle, different letters indicate significant differences ($P < 0,05$) between crops. Vertical lines on the bars indicate standard deviation of the means.

Tabla 5. Densidad (plantas ha⁻¹), peso por planta (g MS pl⁻¹) y porcentaje de materia seca (%MS) al momento de la cosecha $\pm$ desvío estándar de los cultivos de maíz y sorgo en valles regados de Patagonia Norte. Para cada cultivo, letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre ciclos productivos. DMS: Diferencia Mínima Significativa.

Table 5. Plant density (plant ha⁻¹), weight per plant (g DM pl⁻¹) and dry matter (% MS) $\pm$ standard deviation of maize and sorghum crop at harvest in irrigated valleys of North Patagonia. For each crop, different letters indicate significant differences ($P < 0,05$) between cycles. DMS: Minimum Significant Difference.

Ciclo	Maíz				Sorgo			
	1	2	3	DMS	1	2	3	DMS
Densidad (x 1000)	85 $\pm$ 16 a	87 $\pm$ 4 a	79 $\pm$ 5 a	9,2	225 $\pm$ 90 a	257 $\pm$ 27 a	234 $\pm$ 40 a	26,5
Peso por planta (g)	195 $\pm$ 42 b	420 $\pm$ 82 a	276 $\pm$ 48 b	60,8	63 $\pm$ 12 b	80 $\pm$ 21 ab	108 $\pm$ 24 a	12,7
%MS	27 $\pm$ 2 a	30 $\pm$ 5 a	29 $\pm$ 1 a	2,1	24 $\pm$ 3 b	23 $\pm$ 3 b	31 $\pm$ 2 a	2,9

el ciclo 1. Ello pudo ocurrir porque en los VI la producción y pérdida de forraje ocurren en forma simultánea como consecuencia de los procesos de crecimiento y senescencia (Colabelli *et al.* 1998). Un período sin defoliación que exceda la vida media foliar de una especie, necesariamente desencadenará el comienzo de la senescencia e impondrá un techo a la acumulación de forraje. Estos mecanismos pudieron haber operado para explicar los resultados presentados en la Figura 2, dado que el ciclo 1 tuvo una fase vegetativa más prolongada. En esta Figura también puede observarse que la mayor diferencia entre el ciclo 2 y 3 respecto del ciclo 1 se manifestó en avena, que precisamente es la especie de más corta vida media foliar (alrededor de 400°C d en comparación con raigrás anual, 530°C d, Mazzanti *et al.* 1997). El valor de vida media foliar no está disponible para cebada, por lo cual no es posible incluirla en esta discusión. El análisis precedente respecto a la fecha de siembra de los VI es relevante, dado que en el diseño de las secuencias de doble cultivo anual, los VI necesariamente deberían ser sembrados en fecha más tardía que la recomendada para pastoreo o doble propósito. La utilización para pastoreo en la región Patagonia Norte es posible aunque con la consecuencia de menor producción de forraje; la utilización para confección de reservas forrajeras permite compatibilizar el objetivo de siembra tardía y alta producción de forraje. En efecto, los valores de producción de forraje de los tres VI con un solo corte al final de su ciclo, fueron 35-45% superiores a los obtenidos en promedio de 4 ciclos de evaluación de distintos cultivares de estas mismas especies bajo un régimen de cortes secuenciales a lo largo de su ciclo (Gallego *et al.* 2014). Para los VI integrantes de las secuencias evaluadas, no se dispone de datos en la región sobre la producción de forraje con un solo corte. Los resultados encontrados revelan un alto potencial de producción para la confección de reservas forrajeras, en particular de avena y cebada, ya que superaron las 10 t MS ha⁻¹ en los 3 ciclos evaluados. De los resultados del experimento se desprende que tanto el agua como los nutrientes actúan como factores limitantes del crecimiento de los VV y VI y que al ser eliminados permiten alcanzar volúmenes de forraje cercanos a su potencial de producción (Oeonema *et al.* 2014).

Conclusiones

La acumulación total de forraje de las secuencias de doble cultivo anual superó en un 60 a 80% la acumulación promedio de la alfalfa en los 3 ciclos evaluados, aunque algunas combinaciones de doble cultivo duplicaron en un ciclo particular la producción de la leguminosa. Por ello, la región Patagonia Norte revela una alta disponibilidad de recursos ambientales (radiación, temperatura) para secuencias de doble cultivo anual. Las secuencias más destacadas fueron aquellas integradas por maíz con avena o cebada, dado que presentaron mayor producción de forraje. En las secuencias estudiadas, los VV realizaron el mayor aporte de forraje. Si bien maíz se destacó respecto de sorgo en producción de forraje, la mayor adaptación del sorgo a los suelos halohidromórficos que presentan los valles regados permite contar con una alternativa altamente productiva

para los suelos en mosaico que abundan en la región. En los VI destinados a heno o silaje, avena y cebada se destacaron respecto de raigrás anual por su mayor producción de forraje.

Los resultados indican que las secuencias de doble cultivo anual con adecuada disponibilidad de agua y nutrientes constituyen alternativas tecnológicas que permiten elevar significativamente la producción anual de forraje modificando los encadenamientos e incorporando los forrajes conservados al sistema de producción. Asimismo, la elevada y sostenida producción de la alfalfa con una fertilización anual de fósforo constituye una alternativa de intensificación que presenta menores requerimientos de combustible fósil, laboreo del suelo e insumos en general, que debería evaluarse económicamente por sus menores costos. Además, las pasturas de alfalfa cubren el suelo todo el año lo cual reduce las pérdidas de agua por evaporación, poseen raíces más desarrolladas que los cultivos forrajeros anuales por lo que extraen el agua del perfil de suelo con mayor eficiencia, posibilitan el aporte de N al sistema a través de la fijación simbiótica, y devuelven materia orgánica esencial para mantener o mejorar la calidad del suelo.

A manera de reflexión, puede destacarse que las elevadas dosis de fertilización nitrogenada necesarias para hacer viables estas secuencias de cultivos de alta producción requieren de aplicaciones fraccionadas para minimizar pérdidas por lixiviación o volatilización y evitar o atenuar perjuicios ambientales. Estas áreas de suelos de alta producción, podrían ocupar pequeñas superficies que permitan un manejo muy ajustado de las mismas, incluirse en la rotación y utilizarse muy eficientemente ya que permitirían elevar significativamente los niveles de producción de carne por hectárea.

Por último, es importante remarcar que la extensa lista de cultivares particularmente de maíz, sorgo y alfalfa disponibles en el mercado provenientes de diferentes empresas, agregan una fuente adicional de variabilidad, por lo tanto los resultados del presente experimento deben considerarse orientativos.

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

- Bassi T, Miñón DP, Giorgetti H (2010) La ganadería en el noreste patagónico. Situación actual y perspectivas. Período 2001-2010. Información Técnica **28**, 32 pp. Convenio Provincia de Río Negro-INTA EEA Valle Inferior. (INTA Ediciones: Buenos Aires).
- Camarasa J, Bertin OD, Barletta PF, Pacente E, Peña J (2014) Secuencias de cultivos anuales para maximizar la producción de forraje en el norte de la provincia de Buenos Aires. *Revista Argentina de Producción Animal* **34** Supl. 1, 128.

- Colabelli MR, Agnusdei M, Mazzanti A, Labreux M (1998) El proceso de crecimiento y desarrollo de gramíneas forrajeras como base para el manejo de la defoliación. *Boletín Técnico* **148**, 21 pp. INTA, CERBAS-EEA Balcarce, Argentina. (INTA Ediciones: Buenos Aires).
- Collino D, Dardanelli J, De Luca M (2007) Uso del agua y la radiación para la producción de forraje. En 'El cultivo de alfalfa en la Argentina'. pp. 47-65. (INTA Ediciones: Buenos Aires).
- Gallego JJ, Barbarossa RA, Neira Zilli F, Miñón DP (2014) Verdeos de invierno: producción de forraje de cultivares de avena, cebada, centeno, triticale y raigrás anual en valles regados del norte patagónico. *Información Técnica* **35**, 25 pp. Convenio Provincia de Río Negro-INTA EEA Valle Inferior. (INTA Ediciones: Buenos Aires).
- Guerra P, Masota HT, Olivieri JJ (1966) Estudios de suelos con fines de riego. Proyecto FAO Viedma.
- Jones CA, Kiniry JR (1986) CERES-maize. A simulation model of maize growth and development (Texas AM University Press College Station). 194 pp.
- [IPCVA] Instituto de Promoción de la Carne Vacuna Argentina (2018) Guía de Exportadores. Registro de Exportadores de Carne Vacuna Argentina. Matriz de Acceso a Mercados. www.ipcva.com.ar/intranet/mercados_listados/marcados_listados.php. (visita: 15 de diciembre de 2018).
- La Rosa F, Sánchez J, Miñón DP (2010) Sistemas irrigados de producción bovina del valle Inferior del Río Negro. Estructura y funcionamiento. Período 2003-2009. *Información Técnica* **30**, 40 pp. Informe Convenio Provincia de Río Negro-INTA EEA Valle Inferior. (INTA Ediciones: Buenos Aires).
- Lui EN, Roa RC, Martínez RS, Zelmer H, Reinoso L, D'Onofrio L (2012) Evaluaciones de riego parcelarias en el Valle Inferior del Río Negro, estrategias para la mejora de indicadores. En VI Jornadas de actualización en riego y fertiriego: prácticas para incrementar la productividad y asegurar la sostenibilidad del uso del agua y del suelo. Mendoza, Argentina.
- Martín D (2009) Estadísticas climáticas del Valle de Viedma. *Información Técnica* **27**, 80 pp. Convenio Provincia de Río Negro-INTA EEA Valle Inferior. (INTA Ediciones: Buenos Aires).
- Martínez RM, Chávez H, Margiotta A, Alarcón A, Martínez RS (2004) Producción de maíz en el Valle Inferior del Río Negro: efecto de la distribución de semillas, la densidad de plantas y la fertilización nitrogenada. *Revista Pilquén* **6**, 7-13.
- Marino MA (1996) Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento invernal primaveral, la composición química y la calidad del forraje de *Avena sativa* y *Lolium multiflorum*. Tesis Magister Scientiae en Producción Animal, Universidad Nacional Mar del Plata, Argentina.
- Mazzanti A, Marino MA, Lattanzi F, Echeverría H, Andrade F (1997) 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, CERBAS-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, Gallego JJ, Barbarossa RA (2012) Acumulación de forraje de sorgos híbridos regados con destino a silaje. *Revista Argentina de Producción Animal* **32** Supl. 1, 371.
- 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.
- Miñón DP, Alvarez M, Gallego JJ, Garcilazo G, Barbarossa RA, García Vincent JC (2015) Recursos forrajeros para la intensificación de la producción de carne en valles regados. *Información Técnica* **36**, 71 pp. Convenio Provincia de Río Negro-INTA EEA Valle Inferior. (INTA Ediciones: Buenos Aires).
- Miñón DP, Bolla D, Villegas Nigra M, Zapata RR, Silva MA, Vireto PE (2016) Los corrales de engorde bovinos tras la modificación del estatus sanitario en la Patagonia Norte. En 'Tópicos de Políticas Públicas. Desarrollo económico de la provincia de Río Negro'. (Ed. P Tagliani) pp. 179-196. (Editorial Pilquén: Universidad Nacional del Comahue, Argentina).
- Montaldi ER (1995) Principios de Fisiología Vegetal. (Ediciones Sur: La Plata, Argentina).
- Oenema O, de Klein C, Alfaro M (2014) Intensification of grassland and forage use: driving forces and constraints. *Crop and Pasture Science* **65**, 524-537.
- Sardiña C, Díez M, Lardone A, Barraco M (2014) Evaluación de secuencias de cultivos forrajeros anuales: producción, proteína bruta y variables edáficas. *Memoria Técnica* 2013-2014, pp. 119-123. INTA EEA Gral Villegas, Argentina.
- Spada MC (Ed) (2012) Avances en alfalfa. Ensayos territoriales. (INTA Ediciones: Buenos Aires).
- Spara F, Bersachia D, Mosquera L, Barneto J, Vernengo E (2016) Producción de biomasa aérea en encadenamientos forrajeros invernales y estivales. *Revista Argentina de Producción Animal* **36** Supl. 1, 341.
- Thorntwaite CW (1948) An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review* **38**, 55-94.
- Vanderlip RL (1993) How a Grain Sorghum Plant Develops (Kansas State University) Disponible en: <http://www.oznet.ksu.edu>.
- Viglizzo EF (2017) Las dos caras de Jano. Seguridad Alimentaria en Tiempos de Tensión Ambiental. (De Yeug: Tigre, Argentina).
- Villarreal P, Bolla DA, Romagnoli SO, Cariat G (2018) Efectos sobre la ganadería bovina de la ampliación del área sin vacunación aftósica en Patagonia. Asociación de

Economía Agraria. <https://inta.gob.ar/documentos/efecto-sobre-la-ganaderia-bovina-de-la-ampliacion-del-area-sin-vacunacion-aftosica-en-patagonia>. 21 pp.

Zubillaga MF (2017) Comportamiento del cultivo de amaranto en el Valle Inferior del Río Negro, Argentina. Optimización de las condiciones de cultivo. Tesis doctoral, Universidad Nacional del Sur, Argentina.