

Secuencias de cultivos anuales para forraje y pastura perenne en suelo agrícola degradado

Bertin, O.D.¹; Camarasa, J.N.^{1,2}; Barletta, P.F.¹; Mattera, J.¹; Pacente, E.¹; Beribe, M.J.¹

RESUMEN

La intensificación de los sistemas ganaderos a través de la incorporación de los cultivos anuales permite potenciar a las pasturas perennes. El objetivo del trabajo fue evaluar la producción forrajera, contenido de proteína bruta del forraje y las variables físicoquímicas del suelo, con dos regímenes hídricos y con distintas secuencias de cultivos de verano para forraje conservado y de verdes de invierno para corte, complementando a una pastura de alfalfa en un suelo agrícola degradado. Los tratamientos consistieron en una combinación de secuencias de cultivos de verano y de verdes de invierno. El diseño experimental fue en subparcelas divididas con estructura en bloques completos al azar ($n=3$), donde la parcela principal fue el régimen hídrico (alto: lluvias más riego complementario; normal: lluvias), la subparcela el cultivo de verano y la sub-sub-parcela el verdeo de invierno. Los datos se analizaron mediante ANVA y la comparación de medias por la prueba de Tukey ($p 0,05$). La evaluación se realizó durante siete ciclos productivos (2009/10 hasta 2015/16). El estudio se dividió en dos períodos 2009/13 y 2013/16. En el segundo período se reemplazó la moha por el doble cultivo de maíz para ensilaje. El régimen hídrico fue significativo en los dos períodos considerados, pero fue más importante en el primero por un ciclo seco (2011/12). Las secuencias más productivas fueron las que tuvieron doble cultivo de maíz, pero que no se diferenció del simple cultivo de maíz en ciclos húmedos (2014/15). En situaciones de escasas lluvias el doble cultivo de maíz debe ser evaluado, ya que podría ser altamente riesgoso. Las secuencias que incluyen al maíz para ensilaje fueron las de mayor producción de forraje. Las secuencias con soja para ensilaje-verdeos invernales presentaron menor producción de forraje que las secuencias con maíz para ensilaje, pero similar producción de forraje y de proteína bruta a la alfalfa y fue la secuencia de mayor acumulación de PB. La elección del verdeo de invierno, avena o raigrás anual no tuvo impacto sobre la productividad de las secuencias. Las secuencias de cultivos anuales aumentaron la densidad aparente superficial y subsuperficial en comparación con la alfalfa. El riego complementario tuvo efectos positivos sobre la producción de forraje y de proteína bruta. Como contraparte, el riego complementario tuvo efectos negativos sobre variables físicoquímicas del suelo, convirtiéndolo en un suelo ligeramente alcalino y sódico.

Palabras clave: ensilaje de maíz, ensilaje de soja, alfalfa, verdes de invierno, producción de forraje.

ABSTRACT

The intensification of livestock production systems through the incorporation of annual crops can potentiate perennial pastures. The objective of this work was to evaluate forage production, protein content and soil variables of different annual crop sequences summer crops and winter crops, complementing an alfalfa pasture, under two precipitation levels. Treatments consisted of a combination of summer and winter crops. The experiment was a split-split randomized complete block design ($n=3$) with precipitation level as the main plot (high: rainfall plus irrigation; normal, rainfall), summer crop as sub-plot and winter crop as sub-sub-plot. The data were analyzed by ANOVA and mean separation was made using Tukey test ($p 0.05$). The evaluation was done over seven productive cycles (2009/10 to

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Pergamino, Ruta 32 km 4,5, Pergamino, Buenos Aires. Correo electrónico: camarasa.joni@gmail.com

²Universidad Nacional Noroeste Buenos Aires, Monteagudo 2772, Pergamino, Buenos Aires.

2015/16). The study was divided in two periods 2009/13 and 2013/16. In the second period foxtail millet was replaced by double corn crop for silage. Precipitation effect was significant for both periods, but was more important in the first dry cycle (2011/12). The most productive sequences were those that included double corn crop, but did not differ from one corn crop in humid cycles (2014/15). In years with scarce precipitations the double corn crop should be evaluated as it could be very risky. The sequences that included corn for silage were the most productive. The sequences with soybean for silage and winter crop produced less than sequences with corn, but had similar forage production and protein content than alfalfa pastures, and was the sequence with the highest protein accumulation. The selection of the winter crop, oat or annual ryegrass, did not affect the production of the sequences. The annual crop sequences increased the superficial and sub-superficial soil bulk density in comparison with the alfalfa. Irrigation had positive effects on forage production and protein accumulation. However, had negative effects on physiochemical soil variables, making the soil slightly alkaline and sodic.

Keywords: corn silage, soybean silage, alfalfa, forage winter crops, forage production.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción bovina con base forrajera de pasturas perennes dan estabilidad anual a la producción de forraje y tienen menor costo por unidad de materia seca. Entre las pasturas perennes, la alfalfa, sin limitantes de agua y de nutrientes, presenta un elevado potencial de producción de forraje de 28,4 t MS.ha⁻¹.año⁻¹ (Collino *et al.*, 2008). En condiciones de campo sin riego en el norte de la provincia de Buenos Aires la producción de forraje fue de 14,9 t MS.ha⁻¹.año⁻¹ (Bertin y Scheneiter, 1998). La combinación de cultivos forrajeros anuales, de invierno y de verano, como alternativa para aumentar la producción de forraje por una mayor eficiencia en el uso de los recursos fue definida como sistemas de forraje complementario (García *et al.*, 2008). El establecimiento de dichos sistemas en una proporción de 35% del área permitió lograr elevados niveles productivos de ganadería de leche, de esta forma intensificar la producción animal (Fariña *et al.*, 2011). Las decisiones tomadas en un cultivo de la secuencia repercuten en el siguiente y por lo tanto los recursos que usa el primero no están disponibles para el segundo (Chakwizira *et al.*, 2017). El propósito con estas combinaciones de cultivos anuales es maximizar la producción de forraje manteniendo una adecuada calidad forrajera (Densley *et al.*, 2006; García *et al.*, 2008).

Según los antecedentes disponibles, en las secuencias de cultivos anuales con riego se alcanzaron en Australia producciones de forraje de 42,3 t MS.ha⁻¹.año⁻¹ con la combinación de dos verdeos de invierno y maíz para ensilaje, comparado con pasturas de 17,3 t MS.ha⁻¹.año⁻¹ (García *et al.*, 2008). En seco hay antecedentes de producción de forraje de hasta 41,7 t MS.ha⁻¹.año⁻¹ en regiones con altas lluvias (Chakwizira *et al.*, 2017). En la Argentina, con o sin riego y uso de fertilizantes se han logrado producciones de forrajes de más de 30 t MS.ha⁻¹.año⁻¹ (Ojeda *et al.*, 2018) hasta 40 t MS.ha⁻¹.año⁻¹ (Colabelli *et al.*, 2016; Spara *et al.*, 2016 a). Identificar la combinación de cultivos anuales en las secuencias permitirá una mayor eficiencia en el uso de los recursos como también rotaciones sustentables (García *et al.*, 2008).

El objetivo del trabajo fue evaluar la producción forrajera, contenido de proteína bruta del forraje y las variables físico-químicas del suelo, con dos regímenes hídricos y con distintas secuencias de cultivos de verano para forraje conservado y de verdeos de invierno para corte, complementando a una pastura de alfalfa en un suelo agrícola degradado.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Pergamino (33° 57' S, 60° 33' O), en un suelo Argiudol típico serie Pergamino (capacidad de uso IIe).

Los cultivos anuales y la alfalfa fueron manejados de acuerdo a las recomendaciones agronómicas para la región (siembra directa con densidades y fechas recomendadas, correcta elección del cultivar/híbrido, fertilizaciones con N-P-S-Ca, control de plagas, enfermedades y malezas y momentos de cosecha). Para elevar el pH del suelo se aplicó al voleo 1400 kg.ha⁻¹ de Ca.

Al iniciar el experimento, los cultivos anuales y la alfalfa fueron implantados en un sitio que luego de tres ciclos se intercambiaron, o sea, donde estaba la alfalfa se sembraron las secuencias de cultivos anuales y viceversa. Finalmente, al cabo de los siete ciclos (2009/10 hasta 2015/16), considerando tres iniciales, uno de transición y tres finales, se realizó un maíz para grano, en seco, como cultivo indicador.

Las variables medidas fueron la producción de forraje en materia seca (MS) por ha y durante el ciclo 2010/13 se midió proteína bruta (PB) mediante Kjeldahl tanto de los cultivos anuales como de la alfalfa. La acumulación de PB surgió del producto entre la producción de forraje y la concentración de PB. Al inicio y al final se analizó el agua de riego y las propiedades químicas del suelo. En el otoño del 2013 se efectuaron mediciones físicas del suelo: densidad aparente a 0-5, 5-10, 10-20 y 20-30 cm de profundidad e infiltración básica.

Las características del agua de riego fue de pH alcalino bicarbonatada-sódica, siendo el pH: 8,1; CE: 1,0 ds.m⁻¹; Ca²⁺: 14 mg.l⁻¹; Mg²⁺: 10 mg.l⁻¹; K⁺: 12 mg.l⁻¹; Na⁺: 276 mg.l⁻¹; carbonatos: 27 mg.l⁻¹; bicarbonatos: 588 mg.l⁻¹; cloruros: 24 mg.l⁻¹; sulfatos: 44 mg.l⁻¹; nitratos: 15 mg.l⁻¹; carbonato de sodio residual: 9 meq.l⁻¹ y RAS 13,5.

El análisis de suelo (0-20 cm) inicial dio los siguientes rangos de valores: pH: 5,4-5,7; CE: 0,08-0,17 dS.m⁻¹; MO: 2,9-3,3%; N: 1,4-1,8 g.kg⁻¹; P: 20,7-24,8 mg.kg⁻¹; S: 3,2-9,0 mg.kg⁻¹; Na: 0,1 cmol.kg⁻¹; Ca: 7,7-9,8 cmol.kg⁻¹; Mg: 1,5-3,0 cmol.kg⁻¹; K: 1,3-1,5 cmol.kg⁻¹ y PSI: 0,6-0,8%.

Cultivos anuales

El estudio se dividió en dos períodos 2009/13 y 2013/16. La secuencia de cultivos anuales fue una combinación de verdeo

mes año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic.	total anual
2009	NC ¹	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	89	46	196	344	1125
2010	151 (31*)	215	35	61 (40)	75 (80)	8	24	0 (45)	87	85 (15)	27 (107)	49 (145)	817 (463)
2011	234 (40)	194	65	75 (45)	37 (15)	24	15 (30)	2	36	76	53 (95)	14 (205)	823 (430)
2012	82 (72)	273	141	17	127 (12)	4	9 (42)	230	79	301	136	89	1487 (126)
2013	27 (60)	160 (24)	92	89 (24)	67	7 (12)	28 (12)	2 (36)	32 (48)	62 (24)	172 (12)	20 (96)	757 (348)
2014	280	316	114	135 (24)	121	30	44	8 (24)	83	125 (24)	221 (48)	220	1696 (120)
2015	311	41 (12)	83 (36)	98 (48)	72	54 (12)	68 (12)	262	62	89	195	74 (249)	1409 (144)
2016	132 (36)	202 (60)	37 (24)	188	16	36	17	12 (36)	33 (24)	NC	NC	NC	1155 (190)
Lluvia histor. (1910-2016)	112	109	123	99	59	37	36	42	55	106	103	109	990

Tabla 1. Precipitaciones (mm) ocurridas durante siete ciclos (2009/10 hasta 2015/16) en un experimento de secuencias de cultivos. *Entre paréntesis riego a los cultivos anuales; ¹NC: no considerados por estar fuera del período experimental.

de invierno (avena y raigrás anual) y de cultivo de verano para ensilaje (maíz y soja) o para heno (moha). En el segundo período se reemplazó la moha por un doble cultivo de maíz para ensilaje.

Se establecieron dos regímenes hídricos: normal (lluvias de cada año) y alto (con riego presurizado por aspersión con cañón regador) (tabla 1). Los cultivos de verano recibieron en promedio 160 mm y los verdeos de invierno 100 mm, salvo en la secuencia maíz-maíz-verde de invierno que tuvieron 92, 80 y 36 mm, respectivamente.

Alfalfa

La producción de forraje se evaluó en los mismos períodos que las secuencias de cultivos anuales, realizándose 22 cortes en el primero (2010/13) y 30 cortes en el segundo (2013/16). La primera alfalfa fue sembrada el 29/03/2010 sobre barbecho químico y el último corte se realizó el 28/01/2013 para permitir un corto barbecho químico y la implantación de los verdeos de invierno. La segunda alfalfa se sembró el 15/03/2013 y tuvo como antecesores a las secuencias de cultivos anuales. El régimen hídrico alto recibió durante la implantación de la alfalfa 45 y 48 mm de riego hasta el primer corte en los años 2010 y 2013 respectivamente. Luego los riegos variaron y en promedio fueron de 200 mm (2011-12= 295, 2012-13= 241, 2013-14= 168, 2014-15= 120 y 2015-16= 180 mm).

Análisis estadístico

El diseño experimental fue en bloques completos al azar con una estructura en subparcelas divididas (n= 3), donde la parcela principal fue el régimen hídrico, la subparcela el cultivo de verano y la sub-sub-parcela el verdeo de invierno. La sub-sub-

parcela fue de 6 m de ancho por 10 m de largo. Se mantuvo el régimen hídrico de las parcelas al cambiar de período entre pasturas seguidas por secuencias de cultivos. En alfalfa, durante el primer período, 2010/13, solo se estudió el factor régimen hídrico (n= 3). Los datos se analizaron mediante ANVA con el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2010) y la comparación de medias a través de la prueba de Tukey (p<0,05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción de forraje de las secuencias de cultivos anuales

En ambos períodos las interacciones dobles, ciclo*régimen hídrico, ciclo*cultivo de verano y régimen hídrico*cultivo de verano fueron significativas. Se observó una mayor producción de forraje con régimen hídrico alto en los años de menores lluvias y los cultivos de verano tuvieron distintas producciones de forraje en función del ciclo y del régimen hídrico. En ambos períodos experimentales se hallaron efectos del ciclo, régimen hídrico y cultivo de verano, sin embargo, la elección del verdeo de invierno no tuvo efectos sobre la producción de forraje de las secuencias (p>0,05). Este resultado difiere del estudio de Chakwizira *et al.* (2017) que hallaron un incremento en el aporte de forraje de avena sobre el raigrás anual dentro de las secuencias.

Para el período 2010/13 la producción de forraje promedio de las secuencias fue de 17,4 t MS.ha⁻¹, para 2010/11 y 2012/13, sin diferencias entre ellos, y de 13,8 t MS.ha⁻¹ para 2011/12. Las secuencias anuales con régimen hídrico alto tuvieron una producción de forraje de 18,4 vs. 14,0 t MS.ha⁻¹ en régimen hídrico normal. Las secuencias con maíz fueron las de mayor

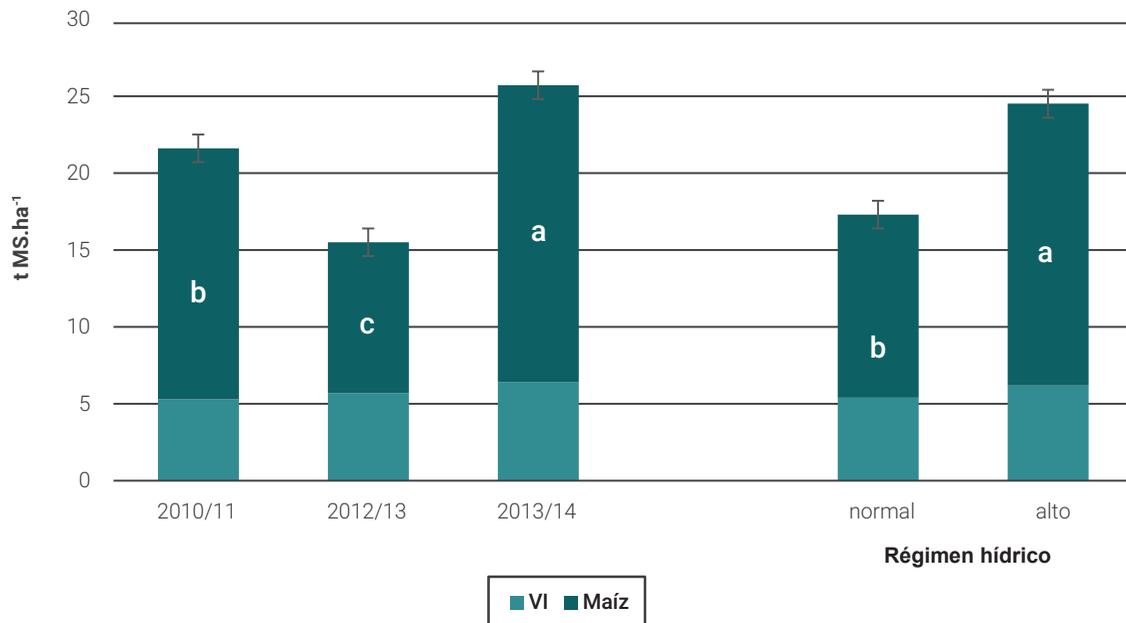


Figura 1. Producción de forraje de secuencias con maíz-verdeo de invierno durante tres ciclos y con dos regímenes hídricos.

producción de forraje (20,9 t MS.ha⁻¹) vs. las de moha y soja (13,9 t MS.ha⁻¹) y sin diferencias entre ellas. Similares resultados fueron observados por Sardiña *et al.* (2014) y Spara *et al.* (2016 a). Dentro de maíz-verdeo de invierno hubo interacción con el ciclo y el régimen hídrico. Aunque los efectos ciclo y régimen hídrico fueron significativos (figura 1). En el ciclo más húmedo, 2012/13, la producción de forraje fue de 25,7 t MS.ha⁻¹ y en el ciclo seco, donde el maíz con régimen hídrico normal no formó espiga por el estrés hídrico, la producción de forraje fue de 15,5 t MS.ha⁻¹. En régimen hídrico normal la producción fue similar a la observada por Sardiña *et al.* (2014) en el mismo período.

La producción de forraje de soja-verdeo de invierno fueron bajas (14,4 ± 0,3 t MS.ha⁻¹) y similares a las obtenidas en el mismo período por Sardiña *et al.* (2014). Con moha-verdeo de invierno fueron también de baja producción de forraje y son coincidentes con los datos observados por Spara *et al.* (2016b). Ambas as secuencias dejarían menor remanente, lo que genera una mayor compactación (datos no presentados), principalmente bajo riego, que podría afectar la sustentabilidad ambiental.

Para el período 2013/16 la producción de forraje de las secuencias fue de 26,1 t MS.ha⁻¹ para las campañas 2013/14 y 2014/15, sin diferencia entre ellas, similar a lo obtenido por Fariña *et al.* (2011) y de 22,8 t MS.ha⁻¹ para la 2015/16. Las secuencias anuales con régimen hídrico alto tuvieron una producción de forraje de 26,2 vs. 23,7 t MS.ha⁻¹ en régimen normal. Las secuencias que tuvieron al doble cultivo de maíz fueron las de mayor producción de forraje (31,3 t MS.ha⁻¹), le siguieron las de maíz (27,6 t MS.ha⁻¹) y por último con soja (16,0 t MS.ha⁻¹; figura 2). A medida que la producción de forraje de los cultivos de verano aumenta se reduce la importancia de los verdeos de invierno, siendo el aporte de estos un 10% en maíz-maíz, 25% en maíz y 50% en soja de la producción de forraje, coincidente con un aporte del 20% en la secuencia maíz-verdeo de invierno o del 40%, si la secuencia fue intercultivo de maíz y soja-verdeo de invierno (Ojeda *et al.*, 2018).

En maíz-maíz-verdeo de invierno la mayor producción de forraje fue en 2013/14, siendo un 28% más que en 2015/16 (figura 3). El régimen hídrico alto fue un 13% mayor que el régimen hídrico normal, este valor es bajo debido a un período húmedo que ocurrió durante el experimento. La alta producción de forraje observada en las secuencias de Garcia *et al.* (2008), con el uso de tres cultivos al año, es algo superior a los datos de este tratamiento. En el caso particular de este experimento se usaron dos cultivos en el período primavera-verano y no en otoño-invierno como en el trabajo citado, por consiguiente la producción del doble cultivo de maíz es más del 90% del total.

En maíz-verdeo de invierno hubo interacción entre el ciclo*régimen hídrico (figura 4). Debido a la importancia que tiene el maíz dentro de las secuencias, cuando el ciclo es más seco de lo normal (2013/14) la producción de forraje es baja aún con régimen hídrico alto, en comparación con el ciclo más productivo. Por el contrario, cuando el ciclo es óptimo (2014/15), en cuanto a lluvias, no hay diferencias entre régimen hídrico normal y alto. En el ciclo 2015/16, el régimen alto no expresó su potencial debido a la caída de granizo ocurrido el 22 de diciembre de 2015 que afectó parcialmente al maíz en plena floración. La producción de forraje de esta secuencia en el ciclo más favorable fue similar a las obtenidas por Colabelli *et al.* (2016) y el promedio de todo el período fue similar a lo observado por Spara *et al.* (2016a).

En soja-verdeo de invierno hubo efecto significativo del ciclo y de la interacción de ciclo*régimen hídrico, aunque el efecto régimen hídrico no fue significativo. Esto demuestra la menor sensibilidad de la soja al régimen hídrico con respecto a los otros cultivos de verano. La producción de forraje en 2013/14 fue de 17,5 t MS.ha⁻¹, le siguió el 2015/16 con 15,9 t MS.ha⁻¹ y por último el 2014/15 con 14,6 t MS.ha⁻¹. Estas producciones son similares a los resultados de Sardiña *et al.* (2014).

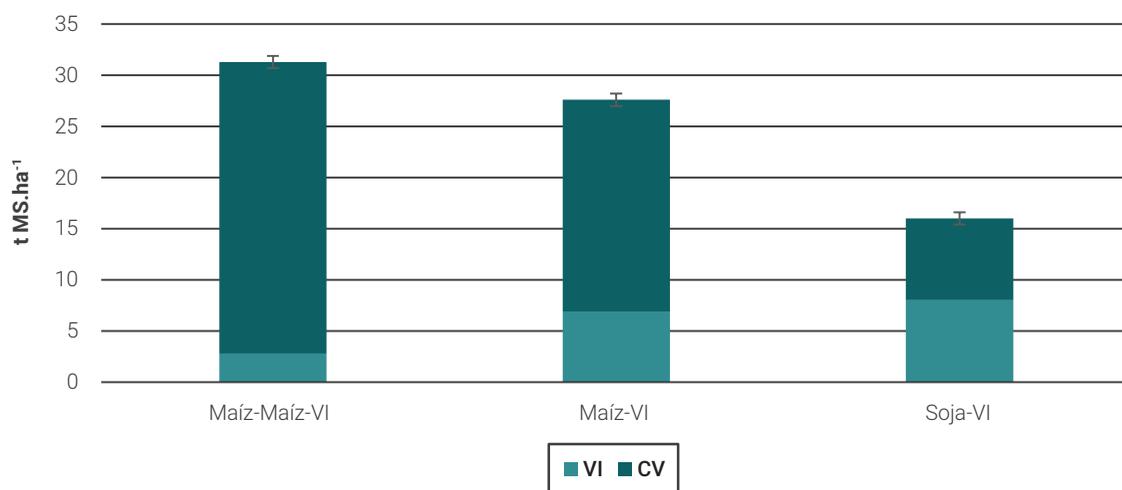


Figura 2. Producción de forraje en el período 2013-16 de secuencias de cultivos de verano-verdeo de invierno con dos regímenes hídricos.

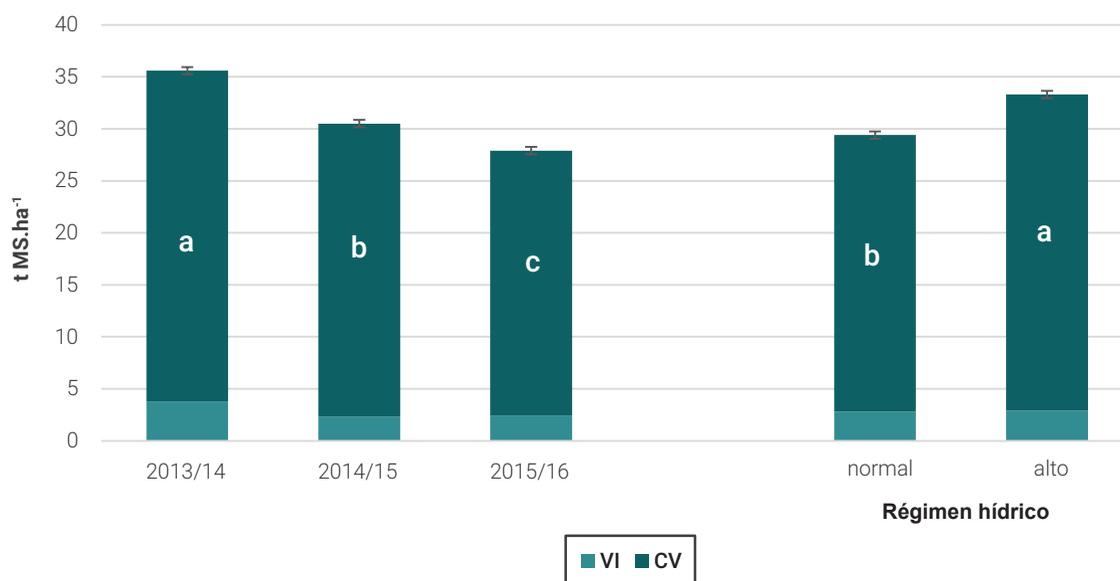


Figura 3. Producción de forraje de secuencias con maíz-maíz-verdeo de invierno durante tres ciclos y con dos regímenes hídricos.

Producción de forraje de alfalfa

El efecto del régimen hídrico sobre la producción de forraje de alfalfa durante el período 2010/13 fue significativo (39,7 vs. 29,8 t MS.ha⁻¹ período para régimen hídrico alto y normal, respectivamente). Esta diferencia del 33% no se expresó en forma similar en todas las estaciones climáticas, siendo la interacción régimen hídrico*estación climática significativa. Las mayores respuestas al régimen hídrico alto fueron en primavera-verano, siendo la media de 1,4 t MS.ha⁻¹ con respecto a otoño-invierno de 0,5 t MS.ha⁻¹.

En el período 2013/16 la producción de forraje de alfalfa, el efecto del cultivo anual del período anterior no fue significativo. El régimen hídrico fue significativo (56,7 vs. 43,6 t MS.ha⁻¹ período para régimen hídrico alto y normal, respectivamente), con una diferencia del 30%, valor similar al período anterior,

que no se expresó igual en todas las estaciones climáticas, siendo significativa la interacción régimen hídrico*estación climática. Las mayores respuestas en producción de forraje al régimen hídrico alto vs. normal se dieron en primavera-verano, siendo en promedio de 1,4 t MS.ha⁻¹, mientras que en otoño-invierno fueron en promedio de 0,7 t MS.ha⁻¹. En este segundo período la producción de forraje se acercó en mayor medida al potencial planteado por Collino *et al.* (2008), probablemente asociado a las mejores condiciones hídricas.

Proteína bruta del forraje

La concentración de PB fue en promedio en alfalfa de 20,2 ± 2,1%, en avena de 19,0 ± 4,9%, en raigrás anual de 18,2 ± 5,8%, en soja de 15,1 ± 2,6%, en moha de 6,3 ± 1,8% y en maíz de 5,8 ± 1,0%.

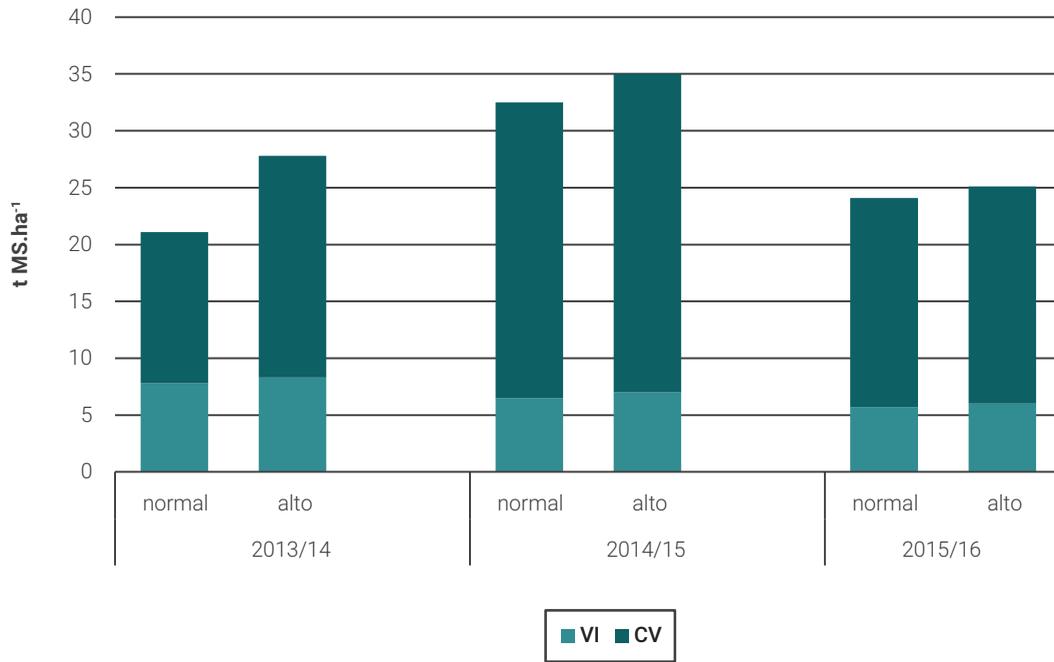


Figura 4. Producción de forraje de secuencias con maíz-verdeo de invierno durante tres ciclos y con dos regímenes hídricos.

No hubo efecto de la elección del verdeo de invierno en la acumulación de PB en las secuencias salvo con moha. En el caso de esta última, con avena respecto a con raigrás tuvo una mayor acumulación de PB (1.687 vs. 1.539 kg PB.ha⁻¹.ciclo⁻¹). Esto fue debido a dos factores: mayor % PB de la avena y al efecto positivo de esta sobre la producción de forraje de la moha.

El efecto régimen hídrico fue significativo considerando todas las secuencias, esto se debió en mayor medida a la producción de forraje y en menor magnitud al % PB, aunque interactúa con el ciclo, salvo en soja. En la secuencia soja-verdeo de invierno el régimen hídrico fue significativo (2.565 vs. 2.111 kg PB.ha⁻¹. ciclo⁻¹ para régimen hídrico alto vs. normal, respectivamente), sin diferencias entre ciclos, que demuestra la estabilidad de la producción de PB de esta secuencia. Estos datos son similares a los observados por Sardiña *et al.* (2014) en años normales, y fueron un 20 y 45% mayor respecto a maíz-verdeo de invierno y moha-verdeo de invierno.

La acumulación de PB fue mayor en el cultivo de alfalfa con régimen hídrico alto vs. normal (2.703 vs. 1.984 kg PB.ha⁻¹.ciclo⁻¹, respectivamente). El primer valor fue similar a lo observado por Sardiña *et al.* (2014) y está asociado a una mayor producción de forraje, más que a una diferencia en el contenido de PB. La alfalfa alcanzó mayores valores de acumulación de PB, seguida por las secuencias con presencia de soja, este resultado es coincidente con lo reportado por García *et al.* (2011) de un mayor contenido de PB de las pasturas.

Propiedades edáficas

Al finalizar el experimento, luego dos períodos con un total de 7 ciclos, el pH, la CE y el Na⁺ aumentaron (p<0,05) con régimen hídrico alto respecto al normal (7,2 vs. 5,9; 0,14 vs. 0,06 dS.m⁻¹

y 2,1 vs. 0,3 cmol.kg⁻¹, respectivamente). Sin embargo, la CE no alcanzó valores que pudiesen afectar a los cultivos, ya que se mantuvo en valores considerados normales (<0,5 dS.m⁻¹) debido al efecto natural de lavado (dilución) en el suelo, típico de climas húmedos, aunque existe peligro de un mayor deterioro físico de los suelos bajo riego durante los períodos lluviosos. La MO, el carbono orgánico particionado (COP), el N y el Pe no tuvieron efecto de los tratamientos (2,9±0,04%; 0,14±0,01%; 1,8±0,12 g.kg⁻¹ y 14,9±7,6 mg.kg⁻¹, respectivamente). El Ca, Mg y K tuvieron valores altos y sin diferencias entre tratamientos (10,5±0,5 cmol.kg⁻¹; 1,8±0,7 cmol.kg⁻¹ y 0,87±0,12 cmol.kg⁻¹; respectivamente). El suelo con régimen hídrico alto pasó a ser ligeramente sódico con un PSI mayor (12,2%) en comparación con el régimen hídrico normal (1,7%). Estos resultados, mayor pH y PSI, son similares a los observados por Andriulo *et al.* (2000) que indica que la calidad de agua de riego usada es considerada dudosa dado que es dable esperar un aumento del Na⁺ del suelo con el transcurso del tiempo con efectos negativos de este catión sobre las propiedades físicas del suelo.

Entre ambos períodos, las mediciones físicas del suelo indican que después de un cultivo de alfalfa no hubo diferencias en las propiedades físicas entre los tratamientos (densidad aparente e infiltración básica; 1,29±0,02 g.cm⁻³ y 2,69±0,37 cm.h⁻¹). En cambio, después de los cultivos anuales se detectó mayor densidad aparente superficial y subsuperficial, en la profundidad 0-10 y 10-20 cm (1,38 vs. 1,28 g.cm⁻³ y 1,33 y 1,29 g.cm⁻³ para régimen hídrico alto y normal, respectivamente), en el resto de las profundidades no hubo diferencias. A pesar de que en las secuencias de cultivos anuales se producen elevadas cantidades de biomasa, una elevada proporción se extrae del sistema, debido a uso como silaje, esto pudo haber determinado la mayor densidad aparente superficial y subsuperficial con respecto a la alfalfa, que es una pastura perenne con una elevada

partición de recursos a estructuras subterráneas (Brown *et al.*, 2006). La infiltración básica fue menor en soja-verde de invierno que en maíz-verde de invierno (1,96 vs. 3,09 cm.h⁻¹, respectivamente), probablemente asociado a la menor cantidad de residuos poscosecha que deja la soja.

Cultivo indicador

Posterior a la finalización del experimento, un cultivo de maíz para grano fue utilizado como indicador de la situación edáfica. Sobre la secuencia de los cultivos anuales fue significativo ($p < 0,05$) el efecto régimen hídrico y el cultivo de verano. Con régimen hídrico alto hubo un efecto negativo sobre el rendimiento de grano del maíz, con respecto a régimen hídrico normal (7,5 vs. 9,2 t.ha⁻¹, respectivamente). El doble cultivo de maíz-verde de invierno tuvo un efecto negativo con respecto al maíz-verde de invierno y soja-verde de invierno (7,2 vs. 9,0 t.ha⁻¹, respectivamente). En el maíz para grano la respuesta a los distintos tratamientos con antecesor alfalfa no fueron estadísticamente significativos (9,3±0,3 t.ha⁻¹).

CONCLUSIONES

Las secuencias que incluyen al maíz para ensilaje fueron las de mayor producción de forraje. En un año con elevadas lluvias las secuencias con maíz como único cultivo no se diferenciaron del doble cultivo, en cambio en un año de lluvias similares a las históricas el doble cultivo de maíz tuvo una mayor productividad. En situaciones de escasas precipitaciones esta última secuencia debe ser evaluada, ya que podría ser riesgosa.

Las secuencias anuales con participación de soja para ensilaje si bien fueron menos productivas que aquellas secuencias con maíz se destacaron por la acumulación de proteína bruta equivalente a la alfalfa y mayor que el resto de las secuencias. Los verdes de invierno aportaron a la producción de forraje anual de las secuencias, y especialmente, a la acumulación de proteína bruta, sin embargo, la elección del verdeo, avena o raigrás anual no tuvo impacto sobre la productividad de las secuencias.

Si bien en términos productivos algunas de las secuencias de cultivos anuales fueron superiores a la pastura de alfalfa como contrapartida afectaron negativamente las características físicas del suelo, como la densidad aparente e infiltración, probablemente asociado a una mayor extracción de la biomasa generada y menor cobertura del suelo.

Por último, el riego complementario tuvo efectos positivos sobre la producción de forraje y de proteína bruta. Las mayores respuestas en la producción de forraje fueron observadas en alfalfa y en las secuencias que incluían al maíz. Como contraparte, el riego complementario con agua de riego bicarbonatada sódica tuvo efectos negativos sobre variables físico-químicas del suelo, convirtiéndolo en un suelo ligeramente

alcalino y sódico. Estos efectos negativos podrían reducirse con la utilización de riego más restringida en momentos claves como por ejemplo en la implantación y en los períodos críticos de los cultivos.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDRIULO, A.; GALETTO, C.; SASAL, F.; ABREGO, M.; BUENO, F.; RIMATORI, DE LA CRUZ, M. 2000. Efecto del riego complementario con aguas salino-sódicas sobre algunas propiedades del suelo en el Sudoeste Santafesino. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.
- BERTIN, O.D.; SCHENEITER, J.O. 1998. Producción de forraje de pasturas y cultivos forrajeros en el norte de la provincia de Buenos Aires. RTA Vol. 3. N.º 7. 45 p.
- BROWN, H.E.; MOOT, D.J.; TEIXEIRA, E.I. 2006. Radiation use efficiency and biomass partitioning of lucerne (*Medicago sativa*) in a temperate climate. *European Journal of Agronomy* 25: 319-327.
- CHAKWIZIRA, E.; FLETCHER, A.L.; JOHNSTONE, P.R.; DE RUITER, J.M.; PEARSON, A. J.; PARKER, M. 2017. Maize silage-winter crop sequences that maximize forage production and quality, New Zealand J. Agric. Research. Doi: 10.1080/00288233.2017.1415943
- COLABELLI, M.R.; NEIRA ZILLI, F.; BARBAROSSA, R.A.; GALLEGO, J.J.; MIÑON, D.P. 2016. Producción de forraje de secuencias de cultivos anuales y alfalfa bajo riego en la norpatagonia: resultados de tres años de evaluación. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 36: 402.
- COLLINO, D.; DARDANELLI, J.; DE LUCA, M. 2008. Uso del agua y la radiación para la producción de forraje. En: BASIGALIP, D.H. (ed.). *El cultivo de la alfalfa en la Argentina*. 45-65 pp.
- DENSLEY, R.J.; AUSTIN, G.M.; WILLIAMS, I.D.; TSIMBA, R.; EDMEADES, G.O. 2006. Maize silage and winter crop options to maximise drymatter and energy for NZ dairy systems. *Proc. New Zealand Grassland Assoc.* 68:193-197.
- DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDÓ, C.W. 2010. InfoStat versión 2010. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. (Disponible: www.infoStat.com.ar verificado: marzo de 2018).
- FARIÑA, S.R.; GARCIA S.C.; FULKERSON, W.J. 2011. A complementary forage system whole-farm study: forage utilisation and milk production. *Animal Production Science* 51: 460-470.
- GARCIA, S.C.; FULKERSON, W.S.; BROOKES, U.S. 2008. Dry matter production, nutritive value and efficiency of nutrient utilization of a complementary forage rotation compared to a grass pasture system. *Grass Forage Sci.* 63: 284-300.
- OJEDA, J.J.; CAVIGLIA, O.P.; AGNUSDEI, M.G.; ERRECART, P.M. 2018. Forage yield, water-and solar radiation-productivities of perennial pastures and annual crops sequences in the south-eastern Pampas of Argentina. *Field Crops Research* 221: 19-31.
- SARDIÑA, C.; DIEZ, M.; LARDONE, A.; BARRACO, M. 2014. Evaluación de las secuencias de cultivos forrajeros anuales: Producción, proteínas brutas y variables edáficas. *Mem. Téc.* 2013-14. INTA Gral. Villegas. 119-123 pp.
- SPARA, F.; BERSACHIA, D.; MOSQUERA, L.; BARNETO, J.; ELGUE, M.; VERNENGO, E. 2016a. Producción de biomasa aérea en encadenamientos de cultivos forrajeros anuales invernales y estivales. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 36 (Supl. 1): 341.
- SPARA, F.; MOSQUERA, L.; BARNETO, J.; BERSACHIA, D.; VERNENGO, E. 2016b. Producción de forraje de diferentes secuencias de cultivos en el norte de la provincia de Buenos Aires. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 36 (Supl. 1): 342.