

Artículo científico

Defoliación de *Digitaria eriantha* Steudel: producción forrajera, estructura y eficiencia de uso de las radiaciones y el agua

Defoliation of *Digitaria eriantha* Steudel: forage production, structure and radiation and water use efficiency

Ricardo Enrique Rossi y Liliana M. J. Privitello

Universidad Nacional de San Luis, San Luis, Argentina

Correo electrónico: rossiricardo73@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6274-1109>

Resumen

Con el objetivo de evaluar el efecto de las defoliaciones en la producción de forraje, la estructura y la eficiencia de utilización de la radiación y el agua de *Digitaria eriantha* Steudel spp. *eriantha* cv. Irene, se realizó un experimento en la Universidad Nacional de San Luis, sede Villa Mercedes, –San Luis, Argentina–. Se evaluaron tres tratamientos de defoliación: final del ciclo (CCC), en vida media foliar (CVMF) y a tiempo fijo cada 30 días (CTF). Hubo diferencias significativas en producción de forraje, masa total y número de cortes ($p < 0,05$) para CVMF, CCC y CTF (1 100 g de MS/m²; 912,693 g de MS/m²; y 4, 1 y 6 cortes, respectivamente). Las altas frecuencias alteraron la estructura vertical, al disminuir la producción de tallos; y la horizontal, al aumentar la densidad de macollos, con menor producción de biomasa total. CTF mejoró H/T (CTF: 45,45 vs. CVMF: 16,13) y aumentó la densidad de macollos (CTF: 3 773 vs. CVMF: 2 264 macollos/m²). CVMF no mostró alteraciones en la estructura horizontal, pero se debilitó la intercepción (CVMF: 0,85 vs. CCC: 0,97) y captura de la radiación respecto a CCC; sin embargo generó una alta producción foliar que permitió maximizar la eficiencia de uso del agua y de la radiación (1,38 g MS/m²/mm y 1,30 g MS/MJ, respectivamente). El manejo de la defoliación influye sobre la estructura del cultivo e incide en la oferta forrajera. Gestionar los forrajes bajo conceptos morfogenéticos induce un aprovechamiento equilibrado de producción y calidad, y mejora la eficiencia del uso de los recursos ambientales.

Palabras clave: biomasa, morfogénesis, siega.

Abstract

In order to evaluate the effect of defoliations on forage production, structure and efficiency of radiation and water utilization of *Digitaria eriantha* Steudel spp. *eriantha* cv. Irene, a trial was conducted at the National University of San Luis, Villa Mercedes campus, –San Luis, Argentina–. Three defoliation treatments were evaluated: cycle end (CCC), in mean leaf lifespan (CMLL) and at fixed time every 30 days (CFT). There were significant differences in forage production, total mass and number of cuts ($p < 0,05$) for CMLL, CCC and CFT (1 100 g DM/m²; 912,693 g DM/m²; and 4, 1 and 6 cuts, respectively). The high frequencies altered the vertical structure, by decreasing stem production; and the horizontal structure, by increasing the tiller density, with lower total biomass production. CFT improved L/S (CFT: 45,45 vs. CMLL: 16,13) and increased tiller density (CFT: 3 773 vs. CMLL: 2 264 tillers/m²). CMLL did not show alterations on the horizontal structure, but the interception (CMLL: 0,85 vs. CCC: 0,97) and radiation capture were weakened with regards to CCC; nevertheless, it generated high leaf production which allowed to maximize the efficiency of water and radiation use (1,38 g DM/m²/mm and 1,30 g DM/MJ, respectively). Defoliation management influences the crop structure and has incidence on the forage offer. Managing forages under morphogenetic concepts induces a balanced utilization of production and quality, and improves the efficiency of the use of environmental resources.

Keywords: biomass, morphogenesis, mowing

Introducción

Los pastizales naturales han constituido la principal fuente de recursos forrajeros para la región central semiárida de la Argentina. A partir de la década de 1960 en adelante, la introducción y utilización de especies perennes megatérmicas permitió aumentar la producción forrajera y

ganadera de la región (Frasinelli y Veneciano, 2014). Además, dichas especies combinadas con pastizales naturales resultan en una alternativa nutricional acorde con los requerimientos de los sistemas de cría del ambiente semiárido de la provincia de San Luis (Privitello, 2004).

Digitaria eriantha Steudel spp. *eriantha* (digitaria, digitgrass) es una especie poacea perenne de ciclo estival originaria de África oriental y del sur, de gran difusión en el país (Avila *et al.*, 2014). La provincia de San Luis se ubica en la región semiárida templada, donde esta especie se adapta a fríos extremos durante el reposo invernal; pero durante los rebrotes primaverales tempranos, las heladas tardías pueden interrumpir sus primeros crecimientos (Frigerio *et al.*, 2016). Se reportan distintos niveles en la producción anual de biomasa aérea para digitaria, que oscilan entre 1 200 y 12 500 kg MS/ha, desde el sur de San Luis hasta Villa Mercedes (centro de la provincia), y según tecnologías de insumos (fertilización y riego) y manejo de la defoliación (Privitello *et al.*, 2009; Frasinelli, 2014; Frasinelli *et al.*, 2014; Celdrán *et al.*, 2015).

La producción de materia seca está ligada a la capacidad de captación de la radiación y, por lo tanto, al índice de área foliar (IAF). Cuando la planta crece aumenta su IAF y, por ende, la capacidad de intercepción lumínica hasta alcanzar el estado de elongación o inicio de floración, en especies forrajeras del tipo de digitaria (Ugarte, 2014).

Para emitir pautas de manejo que privilegien la compensación entre la disponibilidad y calidad forrajera es conveniente conocer el comportamiento morfogénico y estructural de la especie. La morfogénesis abarca las transformaciones que determinan la formación, expansión y muerte de los órganos de la planta en el espacio y en el tiempo. En especies forrajeras se describe por tres variables: aparición de hojas, tasa de elongación foliar (TEF) y vida media foliar (VMF). Las variables morfogénicas definen los cambios estructurales que ocurren durante el desarrollo de los macollos: tamaño foliar, densidad de macollos y número de hojas por macollo (Lemaire y Agnusdei, 2000).

La vida media foliar (VMF) es el intervalo entre la aparición de una hoja y el inicio de su senescencia, y es un indicador del momento en el que la planta comienza a acumular material muerto (Lemaire y Agnusdei, 2000). En estudios morfogénicos realizados en la región, digitaria presentó valores de VMF entre 444 y 690 °C día⁻¹, con cinco hojas verdes por macollo en rebrotes estacionales de primavera y verano respectivamente, en un ciclo de crecimiento (Privitello *et al.*, 2012). Para otro ciclo, Rossi *et al.* (2015a) determinaron una VMF de 613 °C día⁻¹ (56 días), con cuatro hojas vivas por macollo.

La oferta de forraje se modifica cuando la pastura se somete a esquemas de defoliaciones

para especies con distinta velocidad de recambio foliar. El desconocimiento de las características morfogénicas de las pasturas conduce a utilizar similares estrategias de defoliación en especies con crecimiento y desarrollo foliar diferentes. Experiencias realizadas en Villa Mercedes sugieren distintas velocidades de recambio foliar entre las forrajeras megatérmicas más difundidas de la región, por lo que las frecuencias de defoliación deberían ser mayores para *Eragrostis curvula* (Schrader) Ness, intermedias para *Digitaria eriantha* spp. *eriantha* Steudel y menores para *Panicum coloratum* L. (Privitello *et al.*, 2012). Estudios realizados en grama rhodes (*Chloris gayana* Kunth) muestran que, para la zona de estudio, esta pastura podría soportar defoliaciones con breves períodos de descanso dado su rápido ritmo de aparición foliar y corta longevidad (VMF) (Guerra *et al.*, 2017), además de su alta velocidad de elongación foliar (Falco *et al.*, 2017); mientras que otras como *Tetrachne dregei* Nees y *Panicum coloratum* L. tienen una prolongada vida media foliar, por lo que resultan aptas para defoliaciones con mayores períodos de descanso (Lucero *et al.*, 2015). En digitaria, al estudiar los efectos de la defoliación durante un ciclo, se determinó que cortes en VMF permiten mayor captación de radiación e IAF comparado con frecuencias más altas (Rossi *et al.*, 2015b).

El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de las defoliaciones en la producción de forraje, la estructura y eficiencia de utilización de la radiación y del agua en *D. eriantha* Steudel spp. *eriantha* cv. Irene.

Materiales y Métodos

Caracterización del área de estudio. El trabajo se llevó a cabo en la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de San Luis, sede ubicada en la localidad de Villa Mercedes (latitud: -33° 38' 30" S, longitud: -65° 26' 48" O) dentro de la provincia de San Luis en la República Argentina.

Condiciones edafoclimáticas. El suelo donde se realizó este ensayo experimental pertenece a la serie Villa Mercedes, que se describe con un perfil poco desarrollado típicamente: A-AC-C, de textura limosa gruesa, susceptible a la erosión eólica, con bajos contenidos de materia orgánica (alrededor de 1,5 %). Estos suelos se clasifican como Haplustoles énticos, de acuerdo a la denominación de Soil Taxonomy (Peña Zubiarte *et al.*, 2000).

Parte de la provincia de San Luis se encuentra dentro de la región semiárida templada central de la República Argentina, donde los registros históricos de precipitaciones (1903-1999) para Villa Mercedes (San Luis) muestran un régimen promedio de 594 mm anuales; pero al igual que en el resto de la región, se han determinado aumentos por corrimientos de las isohietas. Veneciano y Federigi (2008) establecieron las precipitaciones y temperaturas medias mensuales del período 2000-2008 para Villa Mercedes y, al compararlas con los valores del promedio histórico (1903-1999), observaron aumentos en los niveles hídricos. Durante el período de crecimiento de la especie (septiembre a abril), las precipitaciones reportadas por estos autores fueron de 538 y 659 mm, respectivamente.

Cuando se comparan estos registros con las precipitaciones ocurridas para la estación de crecimiento de la pastura (septiembre de 2015 a abril de 2016), se observa que estas alcanzaron valores superiores a los mencionados. Todos los tratamientos acumularon un total de 837,2 mm de agua entre el rebrote y finales de marzo (figura 1), lo que significa un 27 y un 56 % más respecto a ambos períodos de comparación (2000/2008 y 1903/1999, respectivamente). Durante el ciclo de crecimiento de digitaria, se presentó una primavera con temperaturas menores a los promedios y más lluviosa; mientras que en el verano, las temperaturas fueron mayores y las lluvias levemente superiores al promedio histórico de la región.

Tratamientos y diseño experimental. Se plantearon tres tratamientos con diferentes frecuencias de corte, según distintos estados de crecimiento: producción final, CCC (un solo corte al final del ciclo o «corte ciclo completo»); corte en vida media foliar, CVMF (inicio senescencia); y corte a tiempo fijo, CTF, en estado folioso (cada 30 días a partir del rebrote inicial). Se aplicó un diseño de bloques completos aleatorizados con tres repeticiones, sobre una pastura de *D. eriantha* spp. *eriantha* cv. Irene con más de cinco años de implantación y en unidades experimentales de 4 m².

Procedimiento experimental

Se realizó un corte de limpieza al final del invierno (agosto de 2015), previo a la aplicación de los tratamientos. El ciclo de crecimiento del cultivo se inició con el rebrote primaveral (17 de septiembre de 2015). Este momento coincidió con el primer día con temperatura media diaria superior a la temperatura base de crecimiento -7°C (Rossi *et al.*, 2018) y ulterior a la ocurrencia de la última helada. Para determinar la ocurrencia de VMF se identificaron cinco macollos por parcela y, una vez a la semana, estos fueron observados para detectar el inicio de senescencia de la primera hoja.

Variables medidas: acumulación de biomasa aérea total (ABAT) y acumulación de biomasa para cada corte para los tratamientos CTF y CVMF, acumulación de biomasa de hojas (ABH), acumulación de biomasa de tallos (ABt), relación hoja:tallo

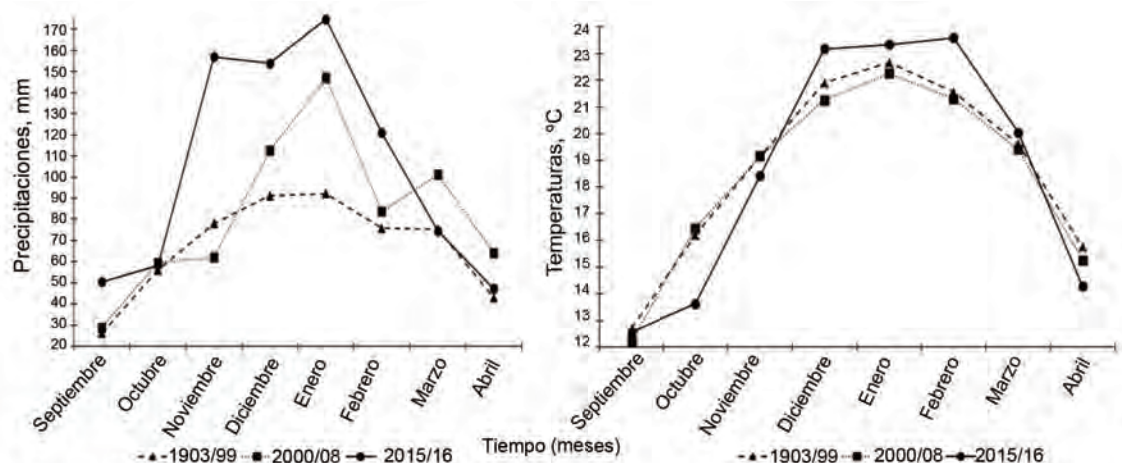


Figura 1. Temperaturas medias mensuales¹ y precipitaciones² para distintos periodos, y para las ocurridas durante el ensayo (2015-2016).

¹Datos brindados por la cátedra de Climatología de la Universidad Nacional de San Luis.

²Veneciano y Federigi (2008)

(H/T), densidad de macollos al final del ciclo, intercepción de la radiación (IR), radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAi), índice de área foliar (IAF), eficiencia de utilización del agua (EUA) y eficiencia de utilización de la radiación (EURFAi).

Para determinar la biomasa aérea se realizaron cortes en la parcela, utilizando un marco de 1 m x 0,50 m (0,5 m²). Después de su recolección, el material se llevó a estufa en bolsa de papel a 60 °C hasta peso constante (48 a 72 h). Se separaron las fracciones hoja y tallo para precisar la relación hoja:tallo (H/T). Al final del ciclo se definió la densidad de macollos en un aro de 10 cm de diámetro y se expresó en número de macollos por metro cuadrado. Para calcular la ABAT de todo el ciclo en los tratamientos con defoliación (CTF y CVMF), se realizó la sumatoria de lo producido en cada corte. De igual manera se procedió para determinar ABH y ABt.

La intercepción de la radiación (IR) y el índice de área foliar (IAF) se midieron con un ceptómetro (Accupar AR LP-80). La radiación fotosintéticamente activa incidente (RFA) se calculó corrigiendo la radiación incidente (obtenida en la estación meteorológica de la FICA-UNSL) por el factor 0,48. La RFA interceptada (RFAi) por cada tratamiento durante el ciclo (RFAi total) se calculó a partir del valor de intercepción (IR) y de la RFA incidente (Collino *et al.*, 2007). También se determinaron los valores máximos de IR e IAF para cada tratamiento, durante todo el ciclo.

La eficiencia de la utilización de recursos (EURFAi y EUA) se calculó como el cociente entre la materia seca total producida (sumatoria de cortes) y la variable ambiental correspondiente (RFAi y agua total recibida).

Análisis estadístico. Se utilizó Excel para confeccionar las gráficas, y el software Infostat versión 2016 (Balzarini *et al.*, 2016) para los análisis estadísticos de los datos. Asimismo, se realizó análisis de varianza (ANOVA) y test LSD Fisher para identificar las diferencias de medias entre tratamientos. Mediante el análisis de regresión simple se relacionaron las variables IR e IAF. Se tomaron como criterios estadísticos para elegir el modelo: los valores de significación de los coeficientes y del modelo ($p < 0,05$), el coeficiente de determinación (R^2), el error cuadrático medio de predicción (ECMP), y los criterios de información de Akaike (AIC) y bayesiano (BIC). Se constató la distribución normal de los residuos (test de Shapiro-Wilks) y homogeneidad de la varianza [prueba de Levene; Balzarini *et al.* (2016)].

Resultados y Discusión

Acumulación de biomasa aérea de tallos, de hojas y total

El tratamiento CCC presentó la mayor acumulación de tallos (ABt), mientras que para CVMF el valor de esta variable fue intermedio y menor en CTF ($p < 0,05$). Valores superiores de acumulación foliar (ABH) se obtuvieron con cortes al inicio de la senescencia (VMF), con diferencias significativas ($p < 0,05$), lo cual generó mayor biomasa aérea total (tabla 1).

Mayores frecuencias de defoliación alteraron la estructura vertical de la pastura, al disminuir la producción de tallos; pero garantizaron la mayor producción foliar (97,6 %). Experiencias en la misma región indican que la digitaria sometida a varias frecuencias de defoliación (28, 35, 42 días y final de ciclo), al fertilizarla con fosfato diamónico

Tabla 1. Acumulación de biomasa aérea de tallos, hojas y total (ABAT) en *D. eriantha* spp. *eriantha* cv. Irene, en diferentes estrategias de manejo.

Tratamiento	Número de cortes	Acumulación de biomasa aérea, g de MS/m ²					
		ABt		ABH		ABAT	
		Media	EE ±	Media	EE ±	Media	EE ±
CVMF	4	81,5 ^b	0,621	1 018,9 ^a	41,821	1 100,4 ^a	42,253
CCC	1	110,7 ^a	10,609	801,0 ^b	14,106	911,7 ^b	24,456
CTF	6	17,0 ^c	0,491	675,8 ^c	0,542	692,7 ^c	0,067

Letras distintas en una misma columna difieren significativamente ($p < 0,05$).

ABt: acumulación de biomasa aérea de tallos, ABH: acumulación de biomasa en hojas, ABAT: acumulación de biomasa total, CCC: defoliación al final del ciclo, CVMF: defoliación en vida media foliar, CTF: defoliación a tiempo fijo cada 30 días.

(Veneciano *et al.*, 2005) y sin fertilizar (Veneciano *et al.*, 2006), también presentó disminución en la acumulación de biomasa total cuando la frecuencia de corte aumentó, y, al mismo tiempo, se favoreció la proporción de hojas generadas.

Al realizar un solo corte al final del ciclo, ABAT resultó intermedia respecto a los tratamientos sometidos a defoliaciones con diferentes frecuencias. Sin embargo, Veneciano *et al.* (2006) mencionan que la mayor producción se obtuvo con un corte al final de cada ciclo. En el ciclo de estudio, la menor ABAT de CCC coincidió con una menor generación relativa de cañas florales (12 % en CCC vs. 60 % de tallos en estudios citados), como probable efecto del lavado de nitrógeno edáfico coincidente con un alto régimen de precipitaciones. Sin embargo, el mayor nivel pluviométrico acontecido durante el ciclo de estudio no perjudicó el rendimiento de hojas.

Producciones de MS más altas fueron alcanzadas en Villa Mercedes (SL) por Privitello *et al.* (2009), quienes estudiaron el potencial productivo de la especie y encontraron producciones máximas de 722 g MS/m² para digitaria bajo riego y fertilizada (300 kg de N/ha), solo para el período estival (fines de diciembre-enero).

De manera similar, diferentes investigaciones concluyen que el rendimiento de forraje se reduce al aumentar la frecuencia de defoliación, tanto para las pasturas perennes en general (Hakl *et al.*, 2017) como para digitaria en particular (Gargano y Adúriz, 2005).

Oferta de biomasa aérea por corte y su distribución

Teniendo en cuenta que el tratamiento CCC recibió un solo corte y, además, que este no se realizó cuando las condiciones favorecían el crecimiento de la pastura, solo se analizan los resultados para los tratamientos en que las frecuencias de defoliación se aplicaron dentro del período de crecimiento de la pastura (CTF y CVMF).

Los tratamientos tuvieron un número variable de cortes durante el ciclo según las frecuencias planteadas, que definieron una determinada producción y distribución de la oferta forrajera, y además presentaron un número diferente de hojas por macollo. Estudios morfogenéticos en *Digitaria eriantha* spp. *eriantha* cv. Irene muestran que, en la misma región, esta puede alcanzar entre cuatro y cinco hojas vivas por macollo antes de iniciar la senescencia de la primera hoja (Rossi *et al.*, 2015a). En cortes a tiempo fijo (CTF), se realizaron seis defoliaciones cada $31,8 \pm 1,47$ días, con un promedio de $3,10 \pm 0,42$ hojas/macollo al momento del corte, valor inferior de hojas al que puede alcanzar la especie antes de iniciar la senescencia. Por otro lado, en CVMF se hicieron cuatro cortes cada $55,25 \pm 6,95$ días, con $4,92 \pm 0,50$ hojas/macollo, un número de hojas que resulta más apropiado para un manejo de la defoliación con fundamentos morfogenéticos.

El período que abarcó cada tratamiento entre el inicio del crecimiento y el último corte fue distinto en CTF (191 días) y en VMF (221 días). Al considerar la distribución de la oferta de biomasa aérea, se destacó el tratamiento VMF por su rendimiento total (tabla 2). Con defoliaciones frecuentes o a inicios de la senescencia, se verificaron diferencias productivas entre cortes para un mismo tratamiento. La mayor producción en ambos casos se alcanzó en los cortes durante el verano (CTF: 4to corte a fines de enero; CVMF: 2do y 3er corte a fines de diciembre y febrero, respectivamente), mientras que las últimas defoliaciones resultaron menores ($p < 0,05$) (tabla 2). Veneciano *et al.* (2006) hallaron resultados similares para esta especie en Villa Mercedes (SL), donde los cortes a mitad del ciclo (pleno verano) ofrecían mayor producción de MS, y los últimos, menor producción, para frecuencias de defoliación prefijadas cada 28, 35 y 42 días.

Tabla 2. Acumulación de biomasa aérea por corte (g MS/m²) de *D. eriantha* spp. *eriantha* cv Irene, en diferentes estrategias de manejo.

Corte	Número de corte ¹											
	1		2		3		4		5		6	
	Media	EE ±	Media	EE ±	Media	EE ±	Media	EE ±	Media	EE ±	Media	EE ±
CTF	101,4 ^{bc}	8,784	110,7 ^b	7,333	119,3 ^b	8,667	176,0 ^a	13,013	112,0 ^b	9,018	73,3 ^c	6,360
CVMF	204,7 ^b	16,826	374,0 ^a	9,866	402,0 ^a	37,470	119,7 ^c	8,110	-	-	-	-

¹Letras distintas en una misma fila difieren significativamente ($p < 0,05$).

CTF: defoliación a tiempo fijo cada 30 días, CVMF: defoliación en vida media foliar.

En CVMF la producción media de los cortes fue superior a CTF, y produjo mayor biomasa aérea ($p < 0,05$): $275,1 \pm 36,521$ vs. $115,5 \pm 8,094$ g MS/m². Mayores frecuencias de defoliación generaron una mayor cantidad de rebrotes, pero las diferencias en producción media indican que estos no lograron equiparar lo producido en CVMF. Por su parte, Rossi *et al.* (2015b) encontraron que una frecuencia de corte elevada impide maximizar la acumulación de biomasa aérea.

Al analizar los momentos en que se realizaron las defoliaciones, se detectó que el último corte en CTF ocurrió un mes antes que en CVMF (fines de marzo vs. fines de abril). Esto se debió a que existió una perturbación por el tratamiento aplicado (defoliación más frecuente) sobre la expansión foliar del rebrote posterior al sexto corte, que impidió alcanzar una acumulación de biomasa suficiente para ser cosechada (altura menor a 10 cm).

Al considerar los momentos de corte y la producción por corte, se deduce que existió una importante acumulación de biomasa en el segundo corte en CVMF que generó mayor producción en un menor tiempo (374 g MS/m² en 45 días). Dicha producción fue igualada en el tercer corte, pero el tiempo de acumulación fue mayor (59 días), lo cual indica una aceleración en la acumulación de biomasa entre fines de la primavera e inicios del verano (2do corte: noviembre y 3er corte: diciembre). Según Frigerio *et al.* (2016), las gramíneas perennes megatérmicas se adaptan a condiciones de marcada estacionalidad estival (lluvias, alta intensidad de la radiación solar y régimen térmico), por lo que digitaria comienza etapas de intensa acumulación de biomasa durante la floración (mediados a fines de diciembre). Por ello, los incrementos en acumulación de biomasa en este estudio pueden estar asociados a una mayor oferta ambiental de luz, temperatura y precipitaciones, que favorecen la etapa de máxima expresión del crecimiento

(elongación-floración; diciembre, enero). Por otro lado, en CTF se observó un mayor retraso en el crecimiento foliar, dado que la producción alcanzó su máximo en pleno verano (cuarto corte: 21/01/16).

Relación hoja:tallo y densidad de los macollos por planta

El tratamiento CCC mostró menor relación hoja:tallo (H/T), mientras que la mayor frecuencia de defoliación (CTF) impidió que la pastura llegara a generar una cantidad importante de varas florales ($p < 0,05$). Los incrementos en la frecuencia de defoliación mejoraron la estructura de la planta, al tener una mayor relación H/T (tabla 3).

Los resultados de producción de biomasa foliar (tabla 1) y de la relación H/T (tabla 3) muestran que el tratamiento CTF presentó mejor estructura vertical y mayor proporción foliar, fracción más deseada por el ganado y de mayor contenido proteico. En la región, se han detectado aumentos en la calidad de digitaria al incrementar la frecuencia de defoliación (Veneciano *et al.*, 2005; Veneciano *et al.*, 2006).

La estructura horizontal del cultivo al final del ciclo se alteró en CTF, que presentó mayor densidad de macollos ($p < 0,05$). En cambio, tanto CVMF como CCC manifestaron un comportamiento similar ($p > 0,05$) (tabla 3). Altas frecuencias de pastoreo aumentaron la densidad de macollos, mientras que una defoliación establecida según la VMF no alteró la estructura horizontal de la pastura durante el ciclo de evaluación. Los mecanismos de compensación fenotípica de la especie no fueron suficientes cuando la frecuencia de defoliación fue alta (30 días), por lo que la densidad de macollos aumentó; pero la producción de biomasa total fue inferior. Otras investigaciones demuestran cambios en la estructura horizontal por efecto de la frecuencia de pastoreo (Da Silva *et al.*, 2015).

Tabla 3. Comparación H/T y densidad de macollos entre tratamientos.

Tratamiento	Relación hoja:tallo		Densidad de macollos, macollos/m ²	
	Media	EE±	Media	EE±
CCC	7,4 ^c	0,617	2489,9 ^b	130,685
CVMF	16,4 ^b	0,657	2263,5 ^b	261,371
CTF	44,7 ^a	0,708	3772,6 ^a	494,767

Letras distintas en una misma columna difieren significativamente ($p < 0,05$).

CCC: defoliación al final del ciclo, CVMF: defoliación en vida media foliar,

CTF: defoliación a tiempo fijo cada 30 días.

Intercepción de radiación (IR), acumulación de radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAi) e índice de área foliar (IAF)

Hubo diferencias significativas para los valores máximos de IR e IAF de todos los cortes y para la RFAi total (tabla 4). El tratamiento CCC fue significativamente mayor en las tres variables. Al comparar los restantes tratamientos, CVMF mostró mejor comportamiento que CTF, al presentar mayores niveles relativos de IR, IAF máx, y RFAi total ($p < 0,05$).

Con defoliaciones al inicio de la senescencia (VMF), se resintió la intercepción (IR) y captura de la radiación (RFAi) respecto a CCC, pero ambos tratamientos resultaron superiores a CTF. Igualmente, la menor intercepción no repercutió en la producción de hojas de CVMF. Rossi *et al.* (2015b)

hallaron intercepciones máximas similares (80 %) para plantas sometidas a cortes cada VMF (promedio cortes 65 días) y menores (65 %) con cortes cada 30 días. Al igual que en el ciclo de estudio, el mayor número de cortes para altas frecuencias de defoliación no logró compensar la captura de radiación (841; 1 072 y 1 648 MJ/m² para CTF, CVMF y CCC, respectivamente), lo que afectó la producción de biomasa foliar.

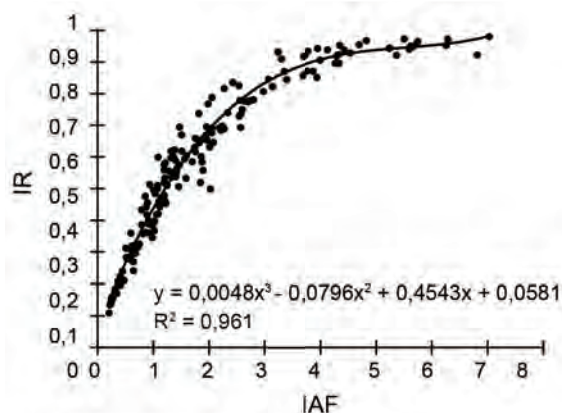
A partir de la serie de datos obtenidos y sin discriminar tratamientos, se obtuvo un modelo de regresión de tercer grado entre la IR y el IAF ($R^2 = 0,96$; $p < 0,001$ tanto para el modelo como para los coeficientes, y menores valores de ECMP, AIC y BIC). En la figura 2 se observa el aumento progresivo de la intercepción a medida que se desarrollaba la biomasa aérea de la pastura, con consecuentes incrementos del IAF. Se alcanzó la

Tabla 4. Máxima intercepción de la radiación, índice de área foliar máximo y acumulación de radiación fotosintéticamente activa interceptada de *D. eriantha* spp. *eriantha* cv. Irene.

Tratamiento	IR máxima		IAF máxima		RFAi total, MJ/m ²	
	Media	EE \pm	Media	EE \pm	Media	EE \pm
CCC	0,97 ^a	0,005	6,5 ^a	0,396	1431,4 ^a	19,067
CVMF	0,85 ^b	0,011	2,4 ^b	0,227	846,3 ^b	28,794
CTF	0,73 ^c	0,022	1,6 ^c	0,097	642,3 ^c	34,620

Letras distintas en una misma columna difieren significativamente ($p < 0,05$).

CCC: defoliación al final del ciclo, CVMF: defoliación en vida media foliar, CTF: defoliación a tiempo fijo cada 30 días, IR máx: máxima intercepción de la radiación, IAF: índice de área foliar máximo, RFAi: acumulación de radiación fotosintéticamente activa interceptada.



IR: intercepción, IAF: índice de área foliar

Figura 2. Modelo de regresión para la relación entre intercepción de la radiación (IR) e IAF, sin discriminar tratamientos.

máxima intercepción de la radiación (IR: 90-95 %), con IAF entre 4 y 6; posteriormente IR se estabilizó y se alcanzaron valores máximos de IAF (7).

Se encontraron resultados similares en mediciones realizadas para otro ciclo, con iguales tratamientos de defoliación: un IAF de 5 con 95 % de IR, en condiciones hídricas inferiores a las de este ciclo, pero con mayores niveles de radiación (Rossi *et al.*, 2015b). Al considerar los valores de IAF registrados en el transcurso de los tres tratamientos, la ocurrencia del IAF crítico se manifestó en el punto de inflexión de la curva, próximo a la máxima tasa de crecimiento, con exigua senescencia que en este caso coincidió con el IAF máximo de VMF (2,4) e IR intermedia (85 %). Por arriba de este punto, el tratamiento CCC (con tasas de crecimiento decrecientes) provocó cambios en la biomasa aérea acumulada de la pastura, que manifestó valores máximos de IAF (6,5-7,0) e IR (> 95 %), pero con acumulación de material senescente. CTF presentó su máximo de IAF (1,6) e IR (0,7) por debajo del punto de inflexión, coincidente con la etapa de aceleración del crecimiento de la planta. Ello implica que manejos tendientes a mantener la pastura con altos valores de IAF y máximas intercepciones permitirían una mayor acumulación de biomasa, pero con significativos niveles de senescencia en el forraje ofrecido. En cambio, defoliaciones en VMF aseguran una armonización entre el rendimiento productivo y nutricional del forraje; imponer a la pastura cortes frecuentes implicaría restringir la oferta de MS, aunque la calidad de lo ofrecido aventaje a los otros tratamientos (solo hojas vivas).

Privitello *et al.* (2009) midieron intercepciones mayores al 95 % con valores de IAF entre 5,0 (98 %)

y 6,6 (99 %) para digitaria, al incrementar la oferta del nitrógeno edáfico (150 kg de N/ha vs. 300 kg de N/ha, respectivamente), emplear un sistema de riego por goteo, y mantener el suelo en capacidad de campo durante el crecimiento al inicio de verano (fines de diciembre-enero); mientras que en condiciones de secano y sin fertilizar, estos indicadores de crecimiento se deprimieron (75 % de intercepción de la radiación con IAF de 1,7).

Eficiencia de uso de los recursos lumínicos e hídricos

Con defoliaciones al inicio de la senescencia (CVMF), se logró maximizar el uso de la radiación solar y el agua pluvial ($p < 0,05$). Mayores frecuencias de corte (CTF) generaron una EURFAi intermedia y la menor EUA (tabla 5).

Al analizar comparativamente los resultados, se evidencia que en CCC se registró la mayor RFAi, pero no se logró suficiente ABAT (CCC: 911,7 g MS/m² y CVMF: 1 100,4 g MS/m²), lo cual afectó la EURFAi.

La máxima EURFAi y EUA manifestadas con defoliaciones ajustadas a la VMF (cronológicamente intermedias entre CCC y CTF) indican que la renovación de la masa aérea del forraje por efecto del corte permitió una mejor utilización de los recursos ambientales.

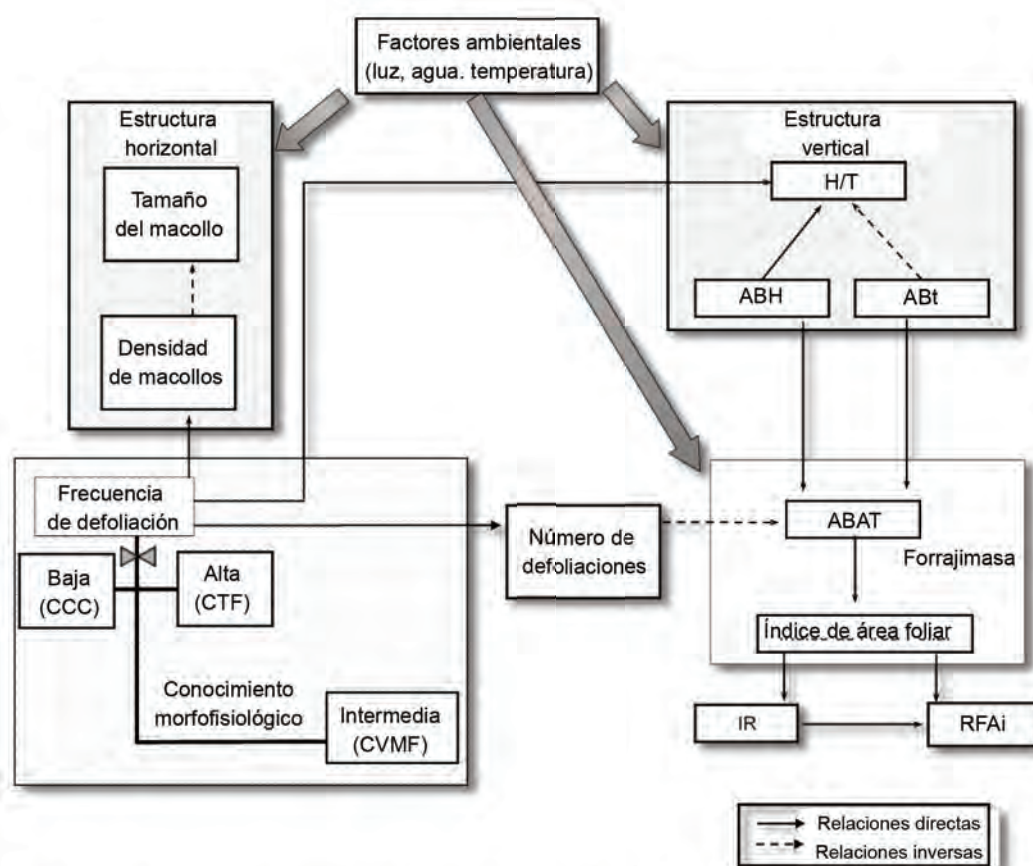
En la figura 3 se relacionan frecuencias de defoliación contrastantes (CCC y CTF) e intermedias (CVMF) con las variables de respuesta evaluadas, al considerar la estructura horizontal (densidad de macollos) y vertical de la pastura (H/T: indicador de calidad), la producción de biomasa aérea (ABAT), el crecimiento y la captura de la radiación (IAF), bajo el efecto de factores ambientales.

Tabla 5. Eficiencia en el uso de la radiación y el agua, en *D. eriantha* spp. *eriantha* cv. Irene durante todo el ciclo.

Tratamiento	EURFAi		EUA	
	g de MS/MJ		g de MS/m ² /mm	
	Media	EE ±	Media	EE ±
CCC	0,6 ^c	0,025	1,2 ^b	0,031
CVMF	1,3 ^a	0,010	1,4 ^a	0,050
CTF	1,1 ^b	0,058	0,9 ^c	0,0001

Letras distintas en una misma columna difieren significativamente ($p < 0,05$).

EURFAi: eficiencia en el uso de la radiación, EUA: eficiencia en el uso del agua, CCC: defoliación al final del ciclo, CVMF: defoliación en vida media foliar, CTF: defoliación a tiempo fijo cada 30 días.



CCC: defoliación al final del ciclo, CVMF: defoliación en vida media foliar, CTF: defoliación a tiempo fijo cada 30 días, H/T: hoja:tallo, ABH: acumulación de biomasa aérea en tallos, ABt: acumulación de biomasa en hojas, ABAT: acumulación de biomasa total, IR: intercepción, RFAi: acumulación de radiación fotosintéticamente activa interceptada.

Figura 3. Relaciones entre la frecuencia de defoliación y las variables de respuesta.

Las altas frecuencias de defoliación aumentan la cantidad de cortes que se pueden realizar durante el ciclo de crecimiento, pero disminuyen la capacidad del follaje para interceptar la radiación, producir biomasa y utilizar de manera eficiente recursos ambientales como el agua y la radiación. Al mismo tiempo mejoran la estructura vertical de las plantas y, como consecuencia, aumenta la fracción más rica en proteína y preferida por el ganado. Los mecanismos de plasticidad fenotípica modifican la estructura de la pastura, al aumentar la densidad de macollos, pero no logran compensar la acumulación de biomasa; por lo que hay pérdida de productividad y se genera un efecto indeseado sobre la estructura horizontal (aumento de la densidad de macollos de menor porte), acorde a lo expresado por Da Silva *et al.* (2015). Además, regímenes de utilización intensivos pueden llegar a reducir la persistencia de la pastura (Hakl *et al.*, 2017).

Frecuencias de defoliación ajustadas a VMF mejoran la intercepción, aumentan la captura de la radiación, incrementan la eficiencia de uso de los recursos ambientales y permiten un mayor desarrollo del IAF, que repercuten en una mayor producción de biomasa aérea.

Sin defoliación, digitaria logra la máxima intercepción de la radiación (97 %) con alto índice de área foliar (6,5), lo cual pone de manifiesto su potencial forrajero, sustentado por una acorde arquitectura de planta para la captura de luz y crecimiento foliar elevado.

Conclusiones

El manejo de la defoliación influye sobre la estructura del cultivo, al inducir la compensación tamaño-densidad de los macollos (estructura horizontal), definir la composición morfológica de la planta

(estructura vertical), e incidir en la cuantía y distribución de la oferta forrajera.

Según sea el tipo de defoliación empleada, la estructura, la biomasa producida y el IAF generado influyen en la utilización de los recursos ambientales (luz y agua). Los principios morfogenéticos brindan una alternativa de manejo confiable si se pretende la concomitancia entre producción y calidad forrajera, así como la mejora en la eficiencia de utilización de la radiación solar y el agua pluvial.

Resulta necesario seguir investigando la respuesta de la pastura a diferentes condiciones ambientales y de defoliación, para proponer herramientas tecnológicas que permitan generar un manejo dinámico de la pastura que se ajuste a las necesidades del rodeo, pero que también permita una mejor utilización de los recursos ambientales disponibles.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de San Luis, por la financiación de este estudio a través del proyecto de Investigación PROICO N° 14-0816 «Evaluación del potencial forrajero y utilización de pasturas cultivadas y naturales del ambiente semiárido de San Luis».

Referencias bibliográficas

- Avila, R.; Barbera, P.; Blanco, L.; Burghi, V.; De Battista, J.; Frasinelli, C., et al. *Gramíneas forrajeras para el subtrópico y el semiárido central de la Argentina*. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_gramineas_forrajeras_para_el_subtropico_y_el_se.pdf. Buenos Aires: Ediciones INTA, 2014.
- Balzarini, M.; Di Rienzo, J.; Tablada, M.; González, L.; Bruno, C.; Córdoba, M. et al. *Estadística y biometría: ilustraciones del uso de InfoStat en problemas de agronomía*. Córdoba, Argentina: Editorial Brujas, 2016.
- Celdrán, D.; Ferroni, L. & Terenti, O. Effect of fertilization and auxin on the production of *Digitaria eriantha* cv “sintético mejorada inta”. *Biocell*. 39 (2) 42, 2015.
- Collino, D.; Dardanelli, J. & De Luca, M. Uso del agua y la radiación para producción de forraje. En: D. Basigalup, eds. *El cultivo de alfalfa en la Argentina*. Buenos Aires: Ediciones INTA, 2007.
- Da Silva, S.; Sbrissia, A. & Pereira L. Ecophysiology of C₄ forage grasses —Understanding plant growth for optimising their use and management. *Agriculture*. 5(3):598-625. <https://pdfs.semanticscholar.org/8f2c/ade21eff6e9ccb0b70bb9a8bf2d4a6238252.pdf>, 2015.
- Falco, P.; Guerra, C.; Lucero, E.; Baigorria, B. & Privitello, L. Variables estructurales de *Chloris gayana* K. (grama rhodes) en un área deprimida de Villa Mercedes, San Luis (Argentina). *V reunión de la red argentina de salinidad: salinidad un desafío para el Semiárido. Recopilación*. Buenos Aires: Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo, 2017.
- Frasinelli, C. Sistema de cría de bovinos sobre la base de digitaria (*Digitaria eriantha* Steudel subsp. *eriantha*) como único recurso pastoril. En: *Sistemas bovinos sobre gramíneas megatérmicas perennes en San Luis*. Argentina: Ediciones INTA. p. 17-21, 2014.
- Frasinelli, C. & Veneciano, J. *Sistemas bovinos sobre gramíneas megatérmicas perennes en San Luis*. Argentina: Ediciones INTA, 2014.
- Frasinelli, C.; Panza, A. & Veneciano J. Sistema de cría sobre la base de pasto llorón y digitaria todo el año. En: *Sistemas bovinos sobre gramíneas megatérmicas perennes en San Luis*. Argentina: Ediciones INTA. p. 27-33, 2014.
- Frigerio, K.; Blanco, E.; Privitello, J.M.L.; Panza, A. & Frasinelli, C. Curva de dilución e índice de nutrición nitrogenada para *Digitaria eriantha* cv. Irene bajo diferentes regímenes de agua y nitrógeno. *RIA*. 42 (2):175-185, 2016.
- Gargano, A. & Adúriz M. Efectos de la frecuencia de corte, distancia de siembra y fertilización nitrogenada en *Digitaria eriantha* cv. Irene. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 13 (1): 1-12. <http://www.alpa.org.ve/PDF/Arch%2013-1/ALPA-2005-29.pdf>, 2005.
- Guerra, C.; Falco, P.; Lucero, E.; Baigorria B. & Privitello, L. Morfogénesis a nivel de macollo de *Chloris gayana* K. (grama rhodes) en un área deprimida de Villa Mercedes, San Luis. *V Reunión de la red argentina de salinidad: salinidad un desafío para el Semiárido*. Argentina: Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo, 2017.
- Hakl, J.; Šantrůček, J.; Písarčík, M. & Dindová, A. Agronomic factors affecting productivity and nutritive value of perennial fodder crops: a review. *Slovak J. Anim. Sci*. 50 (1):33-41, 2017.
- Lemaire, G. & Agnusdei, M. Leaf tissue turnover and efficiency of herbage utilization. In: G. Lemaire, J. Hodgson, A. de Moraes, C. Nabinger, P. C. de F. Carvalho, eds. In: *Grassland ecophysiology and grazing ecology*. Wallingford, United Kingdom: CABI Publishing. p. 265-288, 2000.
- Lucero, E.; Privitello, M. J. L.; Bacha, E. F.; Rossi, R. & Bornand, C. L. Aparición, expansión y muerte de hojas en macollos de *Panicum coloratum* y *Tetrachne dregei*. 38° Congreso de Producción Animal. 35 (1):233, 2015.
- Peña-Zubiate, C. A.; d'Hiriart, A.; Aguirre, E. R.; Demmi, M. A.; Elizondo, J. D.; García, S. M. & Pascuarelli, A. P. *Carta de suelos de la Repúbli-*

- ca Argentina. Hoja Villa Mercedes. Argentina: INTA, Gobierno de la Provincia de San Luis, 2000.
- Privitello, M. J. L. Evaluación comparativa de la calidad forrajera en especies subtropicales y nativas en la provincia de San Luis (Argentina). *Pastos y Forrajes*. 27 (2):165-176, 2004.
- Privitello, M. J. L.; Panza, A.; Frigerio, K. & Frasinelli, C. Potencial productivo estival de *Digitaria eriantha* en el semiárido templado. *32 Congreso de Producción Animal*. 29 (1):583-584, 2009.
- Privitello, M. J. L.; García, V.; Bacha, E. & Borcosqui, A. A. Morfogénesis a nivel de macollo en rebrotes de gramíneas megatérmicas. *35 Congreso de Producción Animal*. 32 (1):367, 2012.
- Rossi, R.; Privitello, L.; Bacha, E. F. & Lucero E. Dinámica de la generación y expansión foliar de *Digitaria eriantha*. *38 Congreso de Producción Animal*. 35 (1):230, 2015a.
- Rossi, R.; Privitello, M.; Bacha, E. & Bornand, C. Intercepción de la radiación y producción de *Digitaria eriantha* sometida a defoliación. *38 Congreso de Producción Animal*. 35 (1):231, 2015b.
- Rossi, R.; Privitello, M. J. L. & Bacha, E. F. Prediction of the growth base temperature of *Digitaria eriantha* Steud in pots. *Biocell*. 42 (1):59, 2018.
- Ugarte, Cristina. *Ecofisiología de plantas forrajeras*. Argentina: INTA EEA Reconquista. http://inta.gob.ar/documentos/ecofisiologia-plantas-/at_multi_download/file/INTA_VyE_NRO27, 2014.
- Veneciano, J. & Federigi, M. Las lluvias de Villa Mercedes en el inicio de siglo. *Actas de la XVI Jornadas Cuidemos Nuestro Mundo*. http://www.produccion-animal.com.ar/clima_y_ambientacion/59-lluvias.pdf. San Luis, Argentina: Universidad Nacional de San Luis. p. 49-53, 2008.
- Veneciano, J.; Frigerio, K. & Frasinelli, C. *Producción de forraje y contenido proteico de Digitaria eriantha fertilizada con nitrógeno*. Avances de la producción vegetal y animal en el NOA. Tucumán, Argentina. <http://www.faz.unt.edu.ar/images/stories/pdfs/pva/05007.pdf>, 2005.
- Veneciano, J.; Frigerio, K. & Frasinelli, C. Acumulación de forraje e indicadores de calidad en *Digitaria eriantha* cv. Irene bajo diferentes frecuencias de defoliación. *RIA*. 35 (3):121-133, 2006.

Recibido el 25 de febrero del 2019

Aceptado el 5 de julio del 2019