

INCIDENCIA DE LOS EVENTOS LLUVIOSOS EN UN PASTIZAL PAMPEANO, SANTA FE, ARGENTINA

INCIDENCE OF RAIN EVENTS ON PAMPA GRASSLAND, SANTA FE, ARGENTINA

Maria Sofia Vilche^{1*}, Beatriz Martin¹, Liliana Spiller¹

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario, Campo Experimental Villarino, CC 24, 2125 Zavalla, Santa Fe, Argentina.

* Autor para correspondencia E-mail: marisovilche@yahoo.com.ar

RESUMEN

Se analizó la incidencia de eventos climáticos húmedos en la estructura y funcionalidad de un pastizal pampeano (32°40' S; 61°17' O). El muestreo de la vegetación se realizó cada 30-40 días en 200 ha (marzo 2006 - noviembre 2010) utilizando un aro de 0,25 m². En cada oportunidad se identificaron y separaron las especies para determinar materia seca (MS) y calcular su proporcionalidad relativa. Se acumuló la MS por estación de crecimiento. Los datos pluviométricos del periodo estudiado fueron comparados con los del registro histórico (RH) de la Estación Agrometeorológica Zavalla (33°01' S, 60°53' W). Se seleccionaron aquellos eventos húmedos cuyas precipitaciones fueron ≥ 90% del RH y se agruparon en: otoñales, abril 2006 (A2006), abril 2007 (A2007), y estivales, febrero 2009 (F2009), febrero 2010 (F2010). Los datos de vegetación obtenidos con anterioridad y posterioridad a los eventos y entre eventos fueron tratados por análisis multivariado de permutación de respuestas múltiples y test de Kruskal Wallis. Los eventos analizados no modificaron en la misma magnitud la proporción de las especies constitutivas de la cubierta y la productividad primaria del pastizal. La MS post A2006 y A2007 fue respectivamente 1556 kg ha⁻¹ (aumentaron *L. multiflorum*, *S. hyalina*, *S. neesiana*) y 1124 kg ha⁻¹ (incremento de *Cyperácea* y *Juncáceas*). La MS post F2009 y F2010 resultó 1822 kg ha⁻¹ (*L. multiflorum*, *T. repens*, *S. hyalina*, *H. stenostachys*) y 1359 kg ha⁻¹ (*Hordeum* y *Paspalum*) respectivamente. La cantidad, distribución, intensidad, duración, oportunidad de ocurrencia de precipitaciones y el contenido hídrico edáfico previo al evento habrían incidido en la respuesta del pastizal.

Palabras clave: pastizal, precipitaciones, productividad.

ABSTRACT

The incidence of wet weather events on the structure and functioning of a pampa grassland (32°40' S, 61°17' W) was analyzed. Vegetation sampling was done every 30-40 days in 200 ha (March 2006 - November 2010) using a sampler of 0.25 m². Species were identified and separated in order to determine the dry matter (DM) and calculate the relative proportionality. DM was accumulated per growing season. Rainfall data of the study period were compared with the historical record (RH) of the Agrometeorological Station Zavalla (33°01' S, 60°53' W). The events presenting wet precipitation ≥ 90% RH were selected and grouped into: Autumn, April 2006 (A2006), April 2007 (A2007); and Summer, February 2009 (F2009), February 2010 (F2010). The vegetation data obtained before and after events, and between events were treated by multivariate analysis using Multiple Response Permutation Procedures and the Kruskal Wallis test. The events analyzed did not change the proportion of species or the primary productivity of the grassland to the same extent. DM after event for A2006 and A2007 was 1556 kg ha⁻¹ (increased *L. multiflorum*, *S. hyalina*, *S. neesiana*) and 1124 kg ha⁻¹ (increased

Recibido: 5 septiembre 2011. Aceptado: 27 diciembre 2011.

Cyperáceas and Juncáceas), respectively. DM after event for F2009 and F2010 was 1822 kg ha⁻¹ (*L. multiflorum*, *T. repens*, *S. hyalina*, *H. stenostachys*) and 1359 kg ha⁻¹ (*H. stenostachys* and *P. dilatatum*), respectively. The amount, distribution, intensity, duration, timing of rainfall occurrence and soil water content before the event might have influenced the response of the grassland.

Key words: grassland, precipitation, productivity

INTRODUCCIÓN

Los factores climáticos y su variabilidad determinan la producción agropecuaria de una región. En el centro oeste de la provincia de Santa Fe, Argentina, la precipitación se destaca como un factor limitante en la producción de granos y forrajes, ya que en este área el proceso productivo se realiza principalmente bajo condiciones de secano (Coronel y Sacchi, 2006). Este territorio presenta un régimen pluviométrico semi-monzónico, con una gran variabilidad interanual para todas las estaciones del año, caracterizada por una alternancia de eventos húmedos y secos, que en algunas ocasiones producen graves inundaciones o sequías.

La actividad ganadera de la provincia está basada principalmente en el uso de pasturas polifíticas implantadas (Feldkamp, 2011), y en menor grado en la utilización de pastos naturales. Los períodos lluviosos extremos constituyen perturbaciones naturales que pueden causar efectos apreciables sobre la estructura y el funcionamiento del pastizal, aunque en ocasiones la inundación producida ayuda a mantener su integridad funcional y su capacidad productiva. En estos ecosistemas, el clima ejerce una acción directa sobre el proceso de la producción primaria, principalmente a través de la lluvia y de la temperatura, como así también una acción indirecta a través de la descarga de los excedentes hídricos regionales, independientes de la precipitación local (Menghi et al., 2001). Las consecuencias de estos eventos se manifiestan tanto en el aspecto económico como en el social (Sacchi et al., 2002); la respuesta productiva de los pastos naturales a la variabilidad de las precipitaciones ha sido ampliamente documentado (Bissio et al., 1990; Soriano, 1991; Pickup, 1996; López et al., 2001).

En general en la región pampeana los pastizales están asociados a los relieves deprimidos, con una marcada heterogeneidad edáfica, y vinculados a las fluctuaciones de una napa freática de reacción salina-alcalina. Es poco habitual encontrar estas comunidades naturales en aquellos sectores relativamente bien drenados que han sufrido una intensa presión agrícola. La dinámica estacional de la productividad de los pastizales, ubicados en posiciones paisajísticas asociadas a sectores perideprimidos, ya ha sido descrita por Martín et al. (2011) en relación a las variables climáticas. En las últimas décadas la región pampeana ha experi-

mentado profundas modificaciones en su modelo productivo, debido a la introducción y consolidación del cultivo de soja, cuya superficie sembrada se incrementó extraordinariamente, desplazando a otros cultivos anuales y a las pasturas implantadas. El cultivo de soja se realiza mayoritariamente bajo siembra directa, sistema que reemplaza las labores con agroquímicos, utilizando cultivares transgénicos resistentes a glifosato, herbicida eficaz para el control de malezas, con alto uso de fertilizantes, con bajo uso de energía fósil y escaso requerimiento de mano de obra (Pengue, 2001).

En esos ambientes tan transformados por la intensificación agrícola, es poco común hallar una situación prístina con suelos aptos para la agricultura, que se encuentren destinados a la producción ganadera. Además, según León y Burkart (1998) no es fácil encontrar pastizales naturales en los distritos de la pampa ondulada, donde solo hay escasos relictos como parcelas cultivadas esporádicamente y abandonadas.

Por esta razón, en un establecimiento (predio) de la pampa santafesina, que aún conserva una parte de su superficie bajo cubierta vegetal natural, se planteó como objetivo analizar el efecto de los eventos lluviosos sobre la proporción de las especies constitutivas de la cubierta (estructura) y la productividad primaria (funcionalidad) del pastizal.

MATERIALES Y MÉTODOS

El establecimiento agropecuario donde se llevó a cabo el trabajo (32°40'S, 61°17'O) se encuentra emplazado en el sector noroeste de la pampa ondulada de la Argentina. El clima de la región es húmedo subhúmedo mesotermal con escaso o nulo déficit hídrico. Las lluvias anuales promedio son del orden de los 973 mm y la temperatura media anual es de 17°C, con una mínima de 10,8°C y una máxima de 23,1°C. El periodo promedio libre de heladas comprende 266 días (Cáceres, 1980).

El sector en estudio se ubica en una planicie surcada por pequeños avenamientos, con una pendiente promedio de 0,07%, de muy lento escurrimiento y con riesgo de anegamiento temporal ante eventos pluviométricos de mediana a gran magnitud. El agua escurre por medio de las vías de drenaje natural de áreas vecinas y del propio campo. Se encuentran, además, algunas microde-

presiones que concentran agua en forma no permanente.

El suelo dominante del establecimiento ha sido clasificado como Argiudol ácuico (USDA, 1999). Es profundo, desarrollado sobre sedimento loésico, con un horizonte A1 de 24 cm de espesor, de textura franco limosa, estructura granular y en bloques subangulares, con vestigios de moteados, con 4,36% de materia orgánica, seguido por un horizonte transicional A y B hasta los 31 cm, franco limoso, con agregados en bloques subangulares y abundantes moteados de hierro. Luego se encuentra el horizonte de Bt, franco arcillo limoso, con 42% de arcilla y un espesor de 70 cm, con estructura en prismas recubiertos de barnices arcillo húmicos, con abundantes moteados de hierro y manganeso, que gradualmente pasa a un horizonte BC franco limoso, con abundantes barnices y moteados. A los 126 cm se presenta el horizonte C, franco limoso, masivo y con escasa cantidad de carbonatos libres y algunas concreciones de calcreo y 21% de sodio intercambiable.

El establecimiento tiene una superficie total de 2500 ha, de las cuales alrededor de 600 ha están ocupadas por un pastizal natural del tipo *Stipo-Sporobolium-Paspaleum* (Lewis et al., 1985), que se encuentra en uso ganadero con una carga promedio de 0,5-0,6 equivalente vaca por hectárea (EV ha⁻¹) y sometido a pastoreo directo con tiempos de descanso relativamente prolongados (70 días). La carga empleada se considera baja, ya que el EV representa el promedio anual de los requerimientos de una vaca de 400 kg de peso que gesta y cría un ternero hasta el destete a los 6 meses de edad con 160 kg de peso, incluido el forraje consumido por el ternero.

Se seleccionaron, por presentar similitud en la vegetación, aproximadamente unas 200 ha del pastizal mencionado, divididas en 4 lotes, por los que se consideraron como verdaderas repeticiones (Hurlbert, 1994). En la primavera de 2005 se realizó en cada uno de los lotes un relevamiento de especies considerando su presencia/ausencia; los datos fueron agrupados teniendo en cuenta sus formas de crecimiento, se calculó el porcentaje en el stand y la desviación standard de cada grupo (monocotiledóneas anuales: 25,13% ± 9,95; monocotiledóneas perennes: 57,88% ± 33,04; dicotiledóneas anuales: 8% ± 6,8, y leguminosas: 8,9% ± 4,8).

El muestreo de la vegetación, previo al ingreso de los animales, se realizó desde marzo de 2006 hasta noviembre de 2010. Se determinó la producción de forraje. Para ello, en cada uno de los lotes citados se establecieron 3 franjas de 400 x 250 m y al azar, en tres sitios dentro de cada franja, se colectaron cada 30-40 días muestras de la cubierta vegetal utilizando un aro de 0,25 m² (n = 27), realizando cortes manuales a ras de suelo. En cada oportuni-

dad se identificaron y separaron las especies constitutivas, que fueron llevadas a estufa (65°C, 72 h) para determinar la materia seca (MS) y obtener el valor total de MS oportunamente colectada. Se calculó la proporción relativa de las especies (%) en cada corte, acumulando la biomasa aérea por estación de crecimiento.

Se utilizó la información pluviométrica proveniente de la Estación Agrometeorológica de Zavalla (Servicio Meteorológico Nacional, 33°01'S, 60°53'O), tanto en lo referente a la media histórica mensual de la serie 1973-2004, como a la registrada durante el periodo estudiado (marzo 2006-noviembre 2010). Se establecieron las diferencias mensuales entre estos datos y los del registro histórico (RH). Se seleccionaron mediante este procedimiento los casos en los cuales las precipitaciones superaron al menos en un 90% a las del RH, luego se los agrupó teniendo en cuenta su época de ocurrencia. Las lluvias registradas en el establecimiento durante el periodo de evaluación coincidieron en un 97,5% con las de la Estación Meteorológica citada.

Se tomaron los datos de las variables forrajeras obtenidas con anterioridad y posterioridad a cada evento lluvioso seleccionado, y se los analizó estadísticamente entre sí, agrupados por época de ocurrencia, y por separado.

Para evaluar las consecuencias de los eventos lluviosos sobre el conjunto de las especies, se utilizó el procedimiento de permutación de respuestas múltiples (MRPP), programa PC-ORD (McCune y Medford, 1999). El MRPP ha sido utilizado con anterioridad para el estudio de pastizales (Marco, 1995; Feldman y Refi, 2006) y es similar a una prueba t o a una F, sin depender de los supuestos de normalidad u homogeneidad de la variancia.

Para establecer que especies definieron las diferencias se recurrió a la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis (1952), previa transformación de las variables por medio de una función logarítmica. Este último test también fue empleado para comparar entre eventos los valores de MS obtenida con posterioridad a los eventos lluviosos, la diferencia entre la productividad previa y posterior en cada evento, y la producción acumulada estacional.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La separación botánica permitió identificar 19 especies en la cubierta vegetal. Los valores porcentuales de presencia de cada especie en la biomasa aérea de la primavera del año 2005 y sus formas de crecimiento se presenta en la Tabla 1. Comunidades similares fueron descritas por Lewis (1996) y Martín (2006) para iguales posiciones del paisaje.

Tabla 1. Proporción relativa (%) de las especies presentes en la biomasa aérea forrajera en la primavera previa al inicio del estudio.**Table 1. Relative ratio (%) of the species present in the aboveground biomass of the spring prior to the study.**

Especies	Proporción relativa ¹	Forma de crecimiento ²
Dominantes		
<i>Lolium multiflorum</i> L.	25,13 ± 9,95	AM
<i>Stipa hialina</i> N.	2,7 ± 1,23	PM
<i>Paspalum dilatatum</i> P.	10,13 ± 9,84	PM
<i>Hordeum stenostachys</i> G.	5,25 ± 2,26	PM
<i>Stipa neesiana</i> T.	1,90 ± 0,54	PM
<i>Sporobolus indicus</i> L.	22,92 ± 9,1	PM
<i>Trifolium repens</i> L.	8,10 ± 0,8	L
Graminoides		
(Cyperáceas y Juncáceas)	0,78 ± 0,76	PM
Otras C4		
<i>Chloris halophila</i> Par.	1,67 ± 1,1	PM
<i>Panicum bergii</i> A.	3,3 ± 0,95	PM
<i>Echinochloa helodes</i> H.	0,98 ± 1,2	PM ac.
<i>Eragrostis</i> sp. C.	2,55 ± 0,94	PM
<i>Cynodon dactylon</i> L.	7,50 ± 6,32	PM
Codominantes		
<i>Lepidium bonariense</i> L.	1,26 ± 0,59	AD
<i>Artemisia vulgaris</i> L.	0,98 ± 0,41	AD
<i>Conyza bonariensis</i> L.	0,83 ± 0,37	AD
<i>Dichondra microcalyx</i> H.	1,1 ± 0,23	AD
<i>Phyla lanceolata</i> Michx.	1,22 ± 0,57	AD
<i>Cirsium vulgare</i> Savi.	0,7 ± 0,26	AD
<i>Plantago myosuroides</i> Lam.	1,01 ± 0,11	AD

¹ Proporción relativa de cada especie (%) y desviación estándar (±)

² A = anual; P = perenne; D = dicotiledónea; M = monocotiledónea; M ac. = monocotiledónea acuática; L = leguminosa

Las precipitaciones mensuales (mm) del registro histórico (RH) para la serie 1973-2004 de Zavalta fueron: enero 121; febrero 125; marzo 119; abril 97,3; mayo 54,9; junio 41,5; julio 26,1; agosto 31,8; setiembre 48,5; octubre 95,9; noviembre 109

y diciembre 118.

Las lluvias ocurridas en el periodo estudiado se muestran en la Fig. 1 donde puede apreciarse la variabilidad de las mismas.

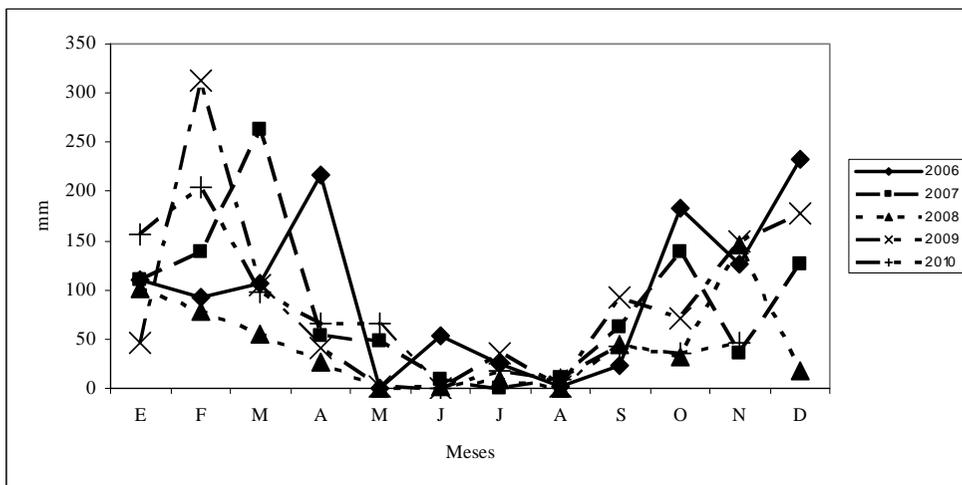


Fig. 1. Distribución de las precipitaciones entre marzo de 2006 y noviembre de 2010. Estación Agrometeorológica Zavalla, SMN-INTA.

Fig. 1. Distribution of rainfall between March 2006 and November 2010. Agrometeorology Station Zavalla, SMN-INTA.

Durante el período analizado las precipitaciones presentaron valores superiores e inferiores respecto al RH. Las diferencias entre las precipitaciones del RH y las lluvias producidas entre marzo de 2006 y noviembre de 2010 se

muestran en la Fig. 2. Las precipitaciones medidas en el sitio de estudio coincidieron en general con los registros de la Estación Agrometeorológica, excepto en abril de 2006 y en enero-febrero del 2010.

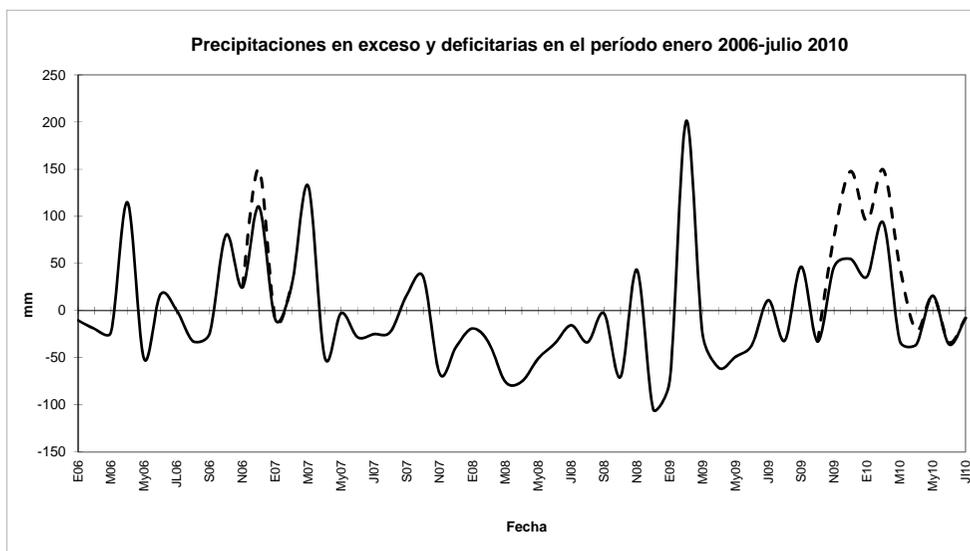


Fig. 2. Diferencias entre las precipitaciones del RH (serie 1971- 2004) y las lluvias producidas entre marzo de 2006 y noviembre de 2010 (Estación Agrometeorológica Zavalla, SMN-INTA). En líneas punteadas se representan las diferencias obtenidas entre RH y los registros de las precipitaciones ocurridas en el establecimiento.

Fig. 2. Differences between RH (1971-2000) and rainfall occurred in March 2006 and November 2010 (Agrometeorological Station Zavalla, SMN-INTA). Dotted lines represent the differences between RH and rainfall events recorded in the grassland.

Los registros indicaron períodos con excesos de lluvias, pudiendo definir de este modo cuatro eventos de lluvia que se clasificaron según sus ocurrencias en:

a) Eventos otoñales: Abril 2006, con un periodo antecesor seco. Marzo 2007, con un periodo antecesor húmedo.

b) Eventos estivales: Febrero 2009, con un periodo antecesor muy seco. Febrero 2010, con un periodo antecesor húmedo.

En la Tabla 2 se muestra el aporte relativo (%) de cada especie del tapiz vegetal, antes y después de los eventos lluviosos analizados.

Tabla 2. Contribución relativa (%) en material seca de cada especie del pastizal, antes y después de los eventos lluviosos analizados.

Table 2. Relative contribution (%) of dry matter of each species of the grassland, before and after the rainfall events analyzed.

Especies	Año 2006		Año 2007	
	PE	PO	PE	PO
<i>Lolium multiflorum</i>	44,83 ± 4,16	57,89 ± 2,3	0,5 ± 0,69	6,5 ± 0,01
<i>Trifolium repens</i>	7,01 ± 2,07	6,98 ± 2,58	0,2 ± 0,29	-
<i>Stipa</i> sp.	1,92 ± 0,98	2,78 ± 0,85	5,5 ± 1,01	6,1 ± 1,15
<i>Hordeum stenostachys</i>	17,33 ± 3,48	12,57 ± 2,59	23,64 ± 2,13	-
<i>Paspalum dilatatum</i>	7,68 ± 2,03	5,5 ± 1,69	49,76 ± 2,89	35,69 ± 3,7
<i>Sporobolus indicus</i>	3,59 ± ,69	1,93 ± 0,75	4,85 ± 0,71	2,38 ± 1,12
<i>Panicum bergee</i> , <i>Eragrostis</i> sp., <i>Chloris halophylla</i> , <i>Echinochloa</i> sp.	5,96 ± 1,57	1,88 ± 1,45	14,1 ± 1,88	10,2 ± 2,11
Cyperáceas y Juncáceas	10,37 ± 4,47	7,89 ± 4,62	-	38,4 ± 1,4
<i>Cynodon dactylon</i>	1,31 ± 1,11	2,65 ± 0,46	1,5 ± 0,95	0,76 ± 1,15

Especies	Año 2009		Año 2010	
	PE	PO	PE	PO
<i>Lolium multiflorum</i>	0,33 ± 0,01	11,67 ± 0,65	9,5 ± 1,2	12,78 ± 1,95
<i>Trifolium repens</i>	0,58 ± 0,71	3,59 ± 1,5	1,7 ± 0,5	2 ± 1,13
<i>Stipa</i> sp.	0,5 ± 0,9	1,64 ± 1,78	9,2 ± 2,1	10,33 ± 1,27
<i>Hordeum stenostachys</i>	-	8,54 ± 0,01	3,6 ± 1,2	23,5 ± 1,65
<i>Paspalum dilatatum</i>	74 ± 3,18	68,31 ± 1,37	23,9 ± 3,45	9,2 ± 1, 67
<i>Sporobolus indicus</i>	1,57 ± 3,31	0,36 ± 6,31	18,61 ± 1,92	10,33 ± 0,72
<i>Panicum bergee</i> , <i>Eragrostis</i> sp., <i>Chloris halophylla</i> , <i>Echinochloa</i> sp.	16,29 ± 1,74	0,76 ± 2,49	20,46 ± 1,18	18,1 ± 1,48
Cyperáceas y Juncáceas	6,25 ± 2,47	3,72 ± 2,42	18,2 ± 3,37	12,27 ± 2,07
<i>Cynodon dactylon</i>	0,5 ± 0,95	1,5 ± 1,15	0,5 ± 0,01	1,52 ± 0,72

PE: expresión pre evento de las especies del tapiz; PO: expresión post evento de las especies del tapiz; ±: desviación standard.

Eventos otoñales. Hubo diferencias significativas entre los eventos otoñales al analizar el conjunto de especies (MRPP, $p < 0,001$, Tabla 3), y se detectaron aquellas que alteraron su proporcionalidad en la cubierta (Kruskal Wallis $p < 0,001$). Así, el evento de abril 2007 (A2007) lo afectó más negativamente generando una pérdida muy marcada de *L. multiflorum*, *T. repens*, *S. hyalina*, *S. neesiana*, *H. stenostachys* y *P. dilatatum* respecto de abril 2006 (A2006), aunque se mantuvieron *S. in-*

dicus, otras C4, *Cyperáceas*, *Juncáceas* y *C. dactylon* en la comunidad, indicando probablemente una mayor resistencia de estas especies (Kruskal Wallis, $p < 0,001$).

Analizando el estado previo y posterior para cada evento por separado, los MRPP respectivos arrojaron diferencias estadísticas de distinto grado (Tabla 3). El número de especies se mantuvo con posterioridad a los eventos ocurridos.

Tabla 3. Procedimiento de permutación de respuestas múltiples (MRPP) para el conjunto de las variables forrajeras considerando cada evento por separado, pre y post evento. Comparación entre eventos otoñales y entre eventos estivales, prueba no paramétrica de Kruskal Wallis.

Table 3. Multiple Response Permutation Procedures (MRPP) for all forage variables considering each event separately, pre and post event. Comparison between autumn and summer events, nonparametric Kruskal Wallis test.

Especies	A2006		A2007		F2009		F2010	
	PO	$p < 0,15$	PO	$p < 0,000001$	PO	$p < 0,0001$	PO	$p < 0,05$
	Procedimiento de permutación de respuestas múltiples (MRPP)							
	Kruskal Wallis							
<i>Lolium multiflorum</i>	>	*	>	***	>	**		NS
<i>Trifolium repens</i>		NS	<	***	>	**		NS
<i>Stipa hyalina</i> , <i>S. neesiana</i>	>	*		NS	>	**		NS
<i>Hordeum stenostachys</i>		NS	<	***	>	**	>	**
<i>Paspalum dilatatum</i>		NS	<	***	<	**	<	**
<i>Sporobolus indicus</i>	<	***	<	***	<	*		NS
<i>Panicum bergee</i> , <i>Eragrostis</i> sp., <i>Chloris halophyla</i> , <i>Echinochloa</i> sp.	<	**	<	***	<	**		NS
<i>Cyperáceas</i> y <i>Juncáceas</i>		NS	>	***	<	**		NS
<i>Cynodon dactylon</i>		*	<	***	<	**		NS

A2006 = abril de 2006; A2007 = abril de 2007; F2009 = febrero de 2009; F2010 = febrero de 2010.

PO: expresión post evento de las especies dominantes del tapiz. Probabilidad significativa: * = $< 0,03$; ** = $< 0,001$ y *** = $< 0,0001$; NS = No significativa.

El efecto del evento de abril de 2006 (A2006) sobre el conjunto de las especies no fue significativo ($p < 0,15$ Tabla 3). Es decir, las precipitaciones que fueron superiores en un 112 % a las respectivas del RH y totalizaron 216,7 mm mensuales, no afectaron a la comunidad florística original. Probablemente, la buena distribución de las lluvias permitió humedecer paulatinamente el perfil edáfico sin generar anegamiento en el área ocupada por el pastizal. El suelo entró al otoño con un bajo contenido hídrico debido a los escasos aportes del verano seco que lo antecedió.

Por otra parte el evento húmedo del otoño 2007 generó un cambio muy significativo ($p < 0,000001$, Tabla 3) en la cubierta respecto de su situación

previa a nivel global. En este caso, las lluvias que superaron en 100% el RH, con un total mensual registrado de 262,1 mm, fueron más intensas que en A2006, concentrándose 180 mm en 6 días. Esto dio origen a un encharcamiento prolongado donde los excedentes hídricos tardaron aproximadamente 10 días en ser evacuados; el perfil edáfico se encontraba en este otoño con un contenido hídrico cercano a la saturación, ya que la primavera y el verano antecesores fueron más húmedos (≥ 200 mm) que al RH correspondiente.

Recurriendo al test de Kruskal Wallis se pudieron identificar las especies que modificaron su proporcionalidad como consecuencia del evento lluvioso (Tabla 3); así, la cubierta post evento

A2006 marca un incremento en la población de *L. multiflorum* y *S. hyalina*, *S. neesiana*, una disminución de *S. indicus*, y una inalterabilidad en el resto de las especies. *L. multiflorum* fue la única especie junto a las *Cyperáceas* y *Juncáceas* que también aumentaron su proporción luego del periodo lluvioso de abril de 2007 (A2007), mientras que las demás decrecieron como consecuencia del evento (mayor anegamiento). Similares resultados fueron comunicados por Chaneton et al. (1988) para los pastizales de la Pampa inundable, tanto bajo pastoreo como con exclusión. Del mismo modo, Striker et al. (2008) encontraron que bajo condiciones de inundación se duplicó significativamente la cobertura de gramíneas, produciéndose una disminución del 20% en las dicotiledóneas presentes en el pastizal; el aporte de las gramíneas incrementó la biomasa aérea en un 30%.

En el presente trabajo, el cambio estructural del canopeo también condicionó la producción de biomasa aérea, pero a la inversa que lo hallado por los autores mencionados anteriormente, ya que la MS total correspondiente a abril de 2007 (A2007) fue inferior a la obtenida después del evento 2006, 1124 kg ha⁻¹ y 1556 kg ha⁻¹, respectivamente ($p < 0,001$). La producción trimestral acumulada (kg ha⁻¹) de los otoños (marzo-abril-mayo) fue significativamente inferior para A2007 (1972 kg ha⁻¹) respecto a A2006 (3705 kg ha⁻¹). Los valores obtenidos fueron superiores a los comunicados por Menghi et al. (1998) para los pastizales sin pastoreo del centro de Argentina, quienes no hallaron diferencias significativas entre eventos lluviosos para esta variable, a pesar de que provocaron una disminución en la diversidad y limitaron la tasa de crecimiento de la vegetación. Montani et al. (2009) también reportan datos similares para comunidades florísticas del sudeste de Córdoba, con y sin pastoreo.

Martín et al. (2009) encontraron que *H. stenostachys* fue una de las especies del pastizal templado más resistente al anegamiento prolongado, a diferencia de lo hallado en este trabajo. Por otra parte, Lanciotti et al. (2010) comunicaron que la recuperación post-anegamiento observada en la pastura natural se debió particularmente a *L. multiflorum* y *T. repens*. Según Vázquez et al. (2001), el comportamiento de *Lolium* después de un período muy húmedo podría atribuirse a su abundancia en el banco de semillas, aspecto que confirmaron Lanciotti et al. (2011), señalando que el anegamiento provocó una disminución en el número de las plantas ya establecidas pero sin afectar la abundancia de semillas persistentes viables en el suelo, facilitando su regeneración en la comunidad florística.

La provisión equilibrada de las lluvias durante A2006 contribuirían a explicar el mayor nivel de

producción de MS, ya que favorecería una adecuada relación aire:agua en el sistema poroso del suelo, que incidiría positivamente en la atmósfera edáfica, facilitando la producción y abastecimiento de nutrientes (Taboada et al., 2009). En cambio la producción en 2007, vinculada al decrecimiento de las especies perennes estivales y al aumento de la especie anual (*L. multiflorum*), se vio más afectada por la intensidad de las lluvias y su duración. Las plantas reducen su capacidad fotosintética en función de su tolerancia durante el anegamiento (Kozłowski y Pallardy, 1984). La deficiencia de oxígeno reduce la permeabilidad de membrana celular de las raíces, causando inhibición en la absorción y transporte de nutrientes en las especies sensibles, generando limitaciones en la capacidad fotosintética y disminución en el crecimiento (Tyerman et al, 1999).

Eventos estivales. También hubo diferencias significativas entre los eventos estivales (MRPP $p < 0,001$) y se identificaron las especies de la cubierta que modificaron su proporción (Kruskal Wallis, $p < 0,001$), no obstante el número de especies no disminuyó.

Los cambios estructurales observados con posterioridad a febrero 2009 (F2009) resultaron de una menor disminución de *L. multiflorum*, *T. repens*, *S. hyalina*, *S. neesiana*, *H. stenostachys*, y un escaso incremento de las especies C4 que en febrero 2010 (F2010), que generó una respuesta del pastizal exactamente inversa al anterior ($p < 0,001$).

Al considerar el estado previo y posterior del pastizal para cada evento, puede verse que el efecto de las abundantes precipitaciones de febrero de 2009 influyeron muy significativamente (MRPP, $p < 0,0001$, Tabla 1) sobre la proporcionalidad de las especies. Las lluvias sumaron 313,1 mm (201% sobre el RH) en siete tormentas, una de ellas de 117 mm en 24 horas, valor cercano al de la máxima intensidad con recurrencia de 10 años determinadas en el área de estudio (Zavalla, 132,2 mm; INTA Marcos Juárez, 120 mm). Este pulso húmedo estuvo antecedido por una severa sequía iniciada en noviembre de 2007. En ese periodo previo de 15 meses, con excepción de noviembre de 2008, todos los registros mensuales fueron inferiores al promedio, totalizándose 654 mm por debajo del RH (1335 mm). Tuvo lugar un cambio abrupto y, si bien las precipitaciones en F2009 fueron altas e intensas, éstas contribuyeron positivamente en la producción de MS. El área de estudio permaneció encharcada solamente alrededor de cuatro días. Una fracción importante del excedente provocado por las lluvias pudo haber sido repelida por un suelo extremadamente seco y pérdida por evaporación directa al gene-

rarse una lámina superficial de lenta infiltración (Vilche et al., 2010). Pero otra, indudablemente, participó de la recarga del perfil, aspecto que se tradujo en la productividad y en un incremento de la proporción de *L. multiflorum*, *T. repens*, *S. hyalina*, *S. neesiana*, *H. stenostachys*, de la muestra global de MS (Kruskal Wallis, Tabla 1). Esta resultó significativamente superior a la obtenida después de F2010 ($p < 0,01$).

El evento F2010 fue antecedido por un periodo húmedo (240 mm más que el RH) con precipitaciones bien distribuidas. Las lluvias de febrero registradas en Zavalla alcanzaron 204,8 mm en siete tormentas entre 50 y 87 mm y lluvias menores muy frecuentes (superiores a un 98% al RH), mientras que en el establecimiento se midieron para el mismo periodo 456 mm, más de cuatro veces superior al RH. Indudablemente este importante evento húmedo tuvo un fuerte carácter local.

El F2010 dio lugar a un cambio significativo en la cubierta (MRPP, $p < 0,05$, Tabla 3) y estuvo relacionado solamente con dos especies: *Hordeum* y *Paspalum*, las que aumentaron y decrecieron en proporcionalidad, respectivamente (Kruskal Wallis, $p < 0,001$). Esto se opone a lo hallado por Loreti et al. (1996), e Insausti et al. (1999; 2001) quienes comunicaron que la inundación tuvo un efecto positivo sobre la producción de MS en un tapiz con predominio de *P. dilatatum* de la Pampa Deprimida de Argentina.

En el presente trabajo, donde el mayor porcentaje de la biomasa aérea estaba constituido por especies perennes, principalmente gramíneas estivales, la producción de MS total posterior resultó significativamente más baja (1359 kg ha⁻¹) que la de F2009 (1822 kg ha⁻¹, $p < 0,01$). La MS acumulada estacionalmente fue en F2010: 3617 kg ha⁻¹ y F2009: 4286 kg ha⁻¹ ($p < 0,01$). Las producciones totales fueron inferiores a las halladas en pastizales pertenecientes a posiciones similares de paisaje de la Cuenca del Salado, bajo pastoreo ocasional (Sala et al., 1981) pero no se alejaron de lo informado por Deregibus y Soriano, (1981) bajo condiciones de clausura. Mientras que Montani et al. (2006) reportaron valores inferiores de la producción primavera-estival de pastos naturales del centro de Argentina. Las condiciones de alta humedad edáfica, entre 70 y 80% de capacidad de campo del periodo previo, potenciaron los efectos del por sí importante evento F2010 que superó en magnitud por su abundancia, frecuencia y persistencia, al evento de F2009. Las lluvias del F2010, aunque no intensas fueron frecuentes, y mantuvieron el suelo con un nivel hídrico cercano a saturación por aproximadamente 45 días. Las plantas sensibles al anegamiento muestran un descenso rápido de la fotosíntesis neta (Pezes-

hki, 1994). Las consecuencias derivadas del exceso hídrico surgen de la interacción existente entre las precipitaciones y los factores que contribuyen a mantener al suelo bajo condiciones de anegamiento por un determinado tiempo, efecto que se traduce en distintos grados de disponibilidad de O₂ en el suelo, lo que genera condiciones de hipoxia o de anoxia (anaerobiosis) (Larcher, 1995).

Si bien el pastoreo sobre el canopeo puede prevenir la exclusión competitiva de alguna de las especies dominantes y favorecer el establecimiento de plantas codominantes o subordinadas, tal como lo sugieren Milchunas et al. (1988) y Bakker et al. (2006), en este trabajo la acción del pastoreo sobre la estructura y función, de baja frecuencia e intensidad moderada, podría considerarse como un factor de escasa incidencia en ese sentido. La relación entre los efectos del pastoreo y la estructura y función del pastizal es difícil de generalizar, porque hay resultados contrapuestos para los pastizales uruguayos y los pastizales de la Pampa Inundable de la Argentina (Altesor et al., 2005). Milchunas y Lauenroth (1993) encontraron que en la mayoría de los 236 pastizales considerados, provenientes de diferentes sitios del mundo, no hubo diferencias en la productividad forrajera anual entre sitios pastoreados y no pastoreados. Una inundación puede actuar como un factor ambiental dominante que afecta parcialmente los efectos del pastoreo sobre la composición del pastizal (Chaneton et al., 1988).

CONCLUSIONES

Los eventos lluviosos analizados no modificaron en la misma magnitud la proporción de las especies constitutivas de la cubierta vegetal y la productividad primaria del pastizal.

Características como la cantidad, distribución, intensidad, duración, oportunidad de ocurrencia de las precipitaciones y el contenido hídrico edáfico previo al evento, incidieron en la respuesta del pastizal. Así, en A2006, la equilibrada distribución de las precipitaciones excedentes contribuyó a mantener la estructura del pastizal en su conjunto y la funcionalidad. El A2007 afectó significativamente la proporción de especies de la comunidad global, *L. multiflorum* junto con las *Juncáceas* y *Cyperáceas* se incrementaron mientras que las restantes disminuyeron. La productividad en A2007 (1124 kg ha⁻¹) decreció un 28% respecto de A2006 (1516 kg ha⁻¹), lo que significó una pérdida comparativa del 48% en la producción trimestral del otoño (1972 kg ha⁻¹ y 3705 kg ha⁻¹, respectivamente). La alta concentración de las lluvias en pocos días, ocurridas sobre un suelo con alta humedad antecedente, habría sido la característica más determinante de este evento lluvioso.

La perturbación originada por F2009 sobre el conjunto de las especies y la producción de materia seca, podría estar más asociada a la intensidad de precipitaciones que a la cantidad de lluvias ocurridas y a la duración del encharcamiento. Los cambios estructurales estuvieron relacionados con una menor disminución de *L. multiflorum*, *T. repens*, *S. hyalina*, *S. neesiana*, *H. stenostachys*, y un escaso incremento de las especies C4 que en F2010, que generó una respuesta del pastizal exactamente inversa al anterior. En este último caso la persistencia del evento y el monto de las precipitaciones, precedidas por un verano muy húmedo, fueron los factores de más peso en la modificación de la estructura y de la funcionalidad del pastizal. De este modo, los valores post evento de la productividad (1359 kg ha^{-1}) fueron inferiores en un 25% respecto de 2009 (1822 kg ha^{-1}), significando una pérdida comparativa del 16% en la producción acumulada estival (4286 kg ha^{-1} y 3617 kg ha^{-1} , respectivamente).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó en el marco de un convenio efectuado entre el CREA San Jorge - Las Rosas y Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario, Argentina. Los autores agradecen a los propietarios y al personal del establecimiento La Patria, Santa Fe, por la especial colaboración prestada para la realización de este trabajo.

LITERATURA CITADA

- Altesor, A, M. Oesteheld, E. Leoni, F. Lezama, y C. Rodríguez. 2005. Effect of grazing on community structure and productivity of Uruguayan grassland. *Plant Ecol.* 179:83-91
- Bissio, J.C., L.H. Luisoni, y W.B. Battista. 1990. Relaciones entre el agua superficial y los tres principales tipos de vegetación de los Bajos Submeridionales de la provincia de Santa Fe. Publicación Técnica N° 5. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA), Reconquista, Argentina.
- Cáceres, L. 1980. Caracterización climática de la provincia de Santa Fe. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección de Suelos y Agua. Provincia de Santa Fe, Santa Fe, Argentina.
- Chaneton, E., J.M. Facelli, and R. Leon. 1988. Floristic changes induced by flooding on grazed and ungrazed lowland grassland in Argentina. *J. Manag.* 41(6):495-499.
- Coronel, A., y O. Sacchi. 2006. Climatología de eventos secos y húmedos en el sur santafesino. *Rev. Investig. Fac. Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario* 9:15-24.
- Deregibus, V.A., y A. Soriano. 1981. Los pastizales de la zona de cría de la Depresión del Salado desde el punto de vista ecológico. *Rev. Argentina Prod. Animal* 1:60-83.
- Feldkamp, C.R. 2011. Beef production in Argentina: Situation and challenges. In IX International Rangeland Congress (IX IRC2011). 2 al 8 de Abril de 2011. Plenary Speakers: XXVI-XXXI. S. Felman, G. Oliva, y M. Sacido (eds.). Asociación Argentina de Manejo de Pastizales Naturales (AAMPN). Rosario, Argentina.
- Feldman, S., y R. Refi. 2006. Cambios en la composición florística de un pastizal pampeano bajo diferentes prácticas de manejo. *Cien. Inv. Agraria* 33(2):109-116.
- Hurlbert, S.H. 1994. Pseudoreplication and the design of ecological experiments. *Ecol. Monographs* 54:187-211.
- Insausti, P., A.A. Grimoldi, E.J. Chaneton, and V. Vasellati. 2001. Flooding induces a suite of adaptive plastic responses in the grass *Paspalum dilatatum*. *New Phytologist* 152:291-299.
- Insausti, P., E.J. Chaneton, and A. Soriano. 1999. Flooding reverted grazing effects on plant community structure in Mesocosms of lowland grassland. *Oikos* 84:266-276.
- Kozłowski, T.T., and S.G. Pallardy. 1984. Effect of flooding on water, carbohydrate and mineral relations. In Kozłowski (ed.). *Flooding and plant growth*. Academic Press, London, UK.
- Kruskal, W.H., and W.A. Wallis. 1952. Use of the ranks on one criterion variance analysis. *J. Am. Stat. Assoc.* 48:907-911.
- Lanciotti, R., P. Redolfi, C. León, y B. Martín. 2010. Efecto del tiempo de imbibición sobre la germinación de semillas de forrajeras. En XII Congreso y XXX Reunión Anual de la Sociedad de Biología de Rosario. 2-3 diciembre 2010. Sede de Gobierno de la Universidad Nacional de Rosario, Rosario, Argentina.
- Lanciotti, R., A. Galleano, y B. Martín. 2011. Efecto del anegamiento sobre la supervivencia de *Lolium multiflorum* en un pastizal templado (Santa Fe, Argentina). p. 158. En XIII Congreso y XXXI Reunión Anual de la Sociedad de Biología de Rosario, 1 y 2 de diciembre de 2011. Universidad Nacional de Rosario, Santa Fe, Argentina.
- Larcher, W. 1995. *Physiological plant ecology. Ecophysiological and stress physiology of functional groups*. 4th ed. Springer, Berlin, Germany.
- León, R.J.C, y S. Burkart. 1998. El pastizal de la pampa deprimida: estados alternativos. *Eco-tropicos* 11(2):125-130.
- Lewis, J.P., M. Collantes, E. Pire, N. Carnevale,

- S. Bocanelli, S. Stofella, and D. Prado. 1985. Floristic groups and plant communities of southeastern Santa Fe, Argentina. *Vegetation* 60:67-90.
- Lewis, J.P. 1996. Pastizales y sabanas de la provincia de Santa Fe. Argentina. p. 77-100. En G. Sarmiento y M. Cabido (eds.). Biodiversidad y funcionamiento de pastizales y sabanas de América Latina. CYTED-CIELAT, Rosario, Argentina.
- Lopez, M.V., A.A. Arias Mañotti, G.J. Pace, J.F. Casco, M.C. Goldfarb, y L. Gimenez. 2001. Programa para simular el rendimiento de materia seca de pastizales. *Rev. Argent. Prod. Animal* 21(1):88-89.
- Loreti, J., and M. Oesterheld. 1996. Intraspecific variation in the resistance to flooding and drought in populations of *Paspalum dilatatum* from different topographic positions. *Oecologia* 108:279-284.
- Marco, D.E. 1995. Efectos del pastoreo y el fuego en la reproducción de especies de pastizales de altura. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.
- Martín, B. 2006. Producción primaria y calidad forrajera de un pastizal pampeano y su reemplazo por pasturas. Tesis M.Sc. Universidad Nacional de Rosario. Argentina. T N° 258. Biblioteca Facultad Ciencias Agrarias, Zavalla, Argentina. 150 p. Disponible en <http://www.fcagr.unr.edu.ar/> (consultado 13 enero 2009).
- Martín, B., M.S. Vilche, L.C. Spiller, S. Montico, y A. Galleano. 2009. Resistencia al disturbio producido por anegamiento de un pastizal del centro oeste de Santa Fe. p. 127. En V Congreso Nacional, II Congreso del Mercosur y I Jornadas Técnicas de Productores sobre Manejo de Pastizales Naturales. 13-14 de agosto de 2009. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)-Asociación Argentina para el Manejo de Pastizales Naturales. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Corrientes. Argentina.
- Martín, B., A. Galleano, L. Spiller, M.S. Vilche, y S. Montico. 2011. Evaluación de la productividad primaria de un pastizal templado en Santa Fe, Argentina. *Arch. Zootec.* 60(2-11).
- Menghi, M.R., N. Montani, N. Monaco, M. Herrera, y M. Rosa. 1998. Diversidad y producción primaria de un pastizal inundable no pastoreado en la estepa pampeana (Argentina central). *Pastos* 28(2):183-200.
- Menghi, M, R. Seiler, y M. Herrera. 2001. Variaciones intra e interanual en la producción de un pastizal inundable. Relación con la precipitación y temperatura (SE Córdoba). p. 44. En Congreso Nacional y 5ta. Jornada Regional sobre Manejo de Pastizales Naturales. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)-AER San Cristóbal y Asociación Argentina para Manejo de Pastizales Naturales. San Cristóbal, Santa Fe, Argentina
- McCune, B., and M.J. Mefford. 1999. PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data. Version 5.0, MjM Software, Gleneden Beach, Oregon, U.S.A.
- Milchunas, D.G., O.E. Sala, and W.K. Lauenroth. 1988. A generalized model of effects of grazing by large herbivores on grassland community structure. *Am. Naturalist* 132:87-106
- Milchunas, D.G., and W.K. Lauenroth. 1993. Quantitative effects of grazing on vegetation and soils over a global range of environments. *Ecol. Monogr.* 63:327-366.
- Montani, N., M.J. Rosa, N. Mónaco, M. Menghi, y S. Magallanes Torres. 2006. Análisis de la biomasa aérea y producción primaria en un pastizal natural inundable en clausura. *Rev. Argentina Prod. Anim.* 20(1):233-234.
- Montani, N., M.J. Rosa, A. Heguiabehere, N. Mónaco, y V. Santa, 2009. Efecto del pastoreo sobre la estructura de un pastizal natural del SE de Córdoba. *Rev. Argentina Prod. Anim.* 29(Supl. 1):117-119.
- Pengue, W. 2001. Impactos de la expansión de la soja en la Argentina. Globalización, desarrollo agropecuario e ingeniería genética: Un modelo para armar. *Biodiversidad* 29:7-14.
- Pezeshki, S.R. 1994. Plant response to flooding. p. 289-321. In R.E. Wilkinson (ed.) *Plant-environment interactions*. Marcel Dekker, New York, USA.
- Pickup, G. 1996. Estimating the effects of land degradation and rainfall variation on productivity in rangelands: an approach using remote sensing and models of grazing and herbage dynamics. *J. Appl. Ecol.* 33:819-832.
- Sacchi, O., N. Dalla Marta, M. Costanzo, y A. Coronel. 2002. Caracterización de las precipitaciones en la zona de Zavalla. *Rev. Investig. Fac. Cienc. Agrarias, Universidad Nacional de Rosario* 2:91-103.
- Sala, O.E., V.A. Deregibus, T. Schlichter, and H.A. Alippe. 1981. Productivity dynamics of a native temperate grassland in Argentina. *J. Range Manage.* 34:48-51.
- Soriano, A. 1991. Río de la Plata Grasslands. p. 367-407. In R.T. Coupland (ed.). *Natural Grasslands. Introduction and Western Hemisphere*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands.
- Striker G.G., P. Insausti, and A.A. Grimoldi. 2008. Flooding effects on plants recovering from defoliation in *Paspalum dilatatum* and *Lotus tenuis*. *Ann. Bot.* 102:247-254.
- Taboada, M., F. Damiano, y R. Lavado. 2009.

- Inundaciones en la Región Pampeana. p. 103-127.. En Alteraciones de la fertilidad de los suelos. El halomorfismo, la acidez y las inundaciones. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.
- Tyerman S.D., H.J. Bohnert, C. Maurel, E. Steudle, and J.A.C. Smit. 1999. Plant aquaporins: their molecular biology, biophysics and significance for plant water relations. *J. Exp. Bot.* 50:1055-1071.
- USDA. 1999. Soil Taxonomy. 2nd ed. A basic system of soil classification for making and interpretation soil surveys. United States Department of Agriculture (USDA), Natural Resources Conservation Service (NRCS), Washington DC, USA.
- Vázquez P., J.L. Costa, G. Monterubbianesi, y P. Godz. 2001. Predicción de la productividad primaria de pastizales naturales de la pampa deprimida utilizando propiedades del horizonte A. *Ciencia del Suelo* 19(2):136-143
- Vilche, M.S., S. Montico, B. Martín, L. Spiller, y A. Vernizzi. 2010. Respuesta de las tierras al cambio de uso a partir de un pastizal natural. p. 331-333. En III Jornadas de Ciencia y Tecnología. Secretaría de Ciencia y Técnica. Universidad Nacional de Rosario. Rosario. Santa Fe, Argentina.