



XII CONGRESO INTERNACIONAL
Sistemas Silvopastoriles

URUGUAY 2023

Sistemas Silvopastoriles

Hacia una diversificación sostenible



XII Congreso Internacional de Sistemas Silvopastoriles

II Congreso de la Red Global de Sistemas Silvopastoriles

IV Seminario Seminario Nacional de Sistemas Silvopastoriles

Montevideo, Uruguay 2023

V Congreso Nacional Sistemas Silvopastoriles

Buenos Aires, Argentina 2023



Sistemas silvopastoriles

Hacia una diversificación sostenible

Editores

Julián E. Rivera
Carolina Viñoles
Jean Fedrigo
Adriana Bussoni
Pablo Peri
Luis Colcombet
Enrique Murgueitio
Andrea Quadrelli
Julián Chará

CIPAV

Red Global de Sistemas Silvopastoriles

XII Congreso Internacional de Sistemas Silvopastoriles
II Congreso de la Red Global de Sistemas Silvopastoriles
IV Seminario Seminario Nacional de Sistemas Silvopastoriles
Montevideo, Uruguay

V Congreso Nacional Sistemas Silvopastoriles
Buenos Aires, Argentina

ISBN: 978-628-95190-5-1

Cali – Colombia
Octubre de 2023
Editorial CIPAV © 2023





**XII CONGRESO INTERNACIONAL
Sistemas Silvopastoriles**
II CONGRESO DE LA RED GLOBAL DE
Sistemas Silvopastoriles
IV Seminario Nacional de Sistemas Silvopastoriles
MONTEVIDEO, URUGUAY 2023

INICIO
CRÉDITOS
COMITÉS
CONTENIDO
SESIÓN I
SESIÓN II
SESIÓN III
SESIÓN IV
ANEXOS



PATROCINADORES DIAMANTE



PATROCINADOR PLATINO



PATROCINADOR ORO



PATROCINADORES PLATA



PATROCINADORES BRONCE



PATROCINADORES FRIENDLY





XII CONGRESO INTERNACIONAL
Sistemas Silvopastoriles

URUGUAY 2023

INICIO
CRÉDITOS
COMITÉS
CONTENIDO
SESIÓN I
SESIÓN II
SESIÓN III
SESIÓN IV
ANEXOS



V CONGRESO NACIONAL SISTEMAS SILVOPASTORILES BUENOS AIRES 2023

ORGANIZAN:



Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria

Secretaría de Agricultura,
Ganadería y Pesca



Ministerio de Economía
Argentina

.UBA **agronomía**
FACULTAD DE AGRONOMÍA



PROGRAMA
NACIONAL
FORESTALES

AUSPICIAN:

Dirección Nacional
de Bosques

Ministerio de Ambiente
y Desarrollo Sostenible



Argentina

Dirección Nacional de
Desarrollo Foresto Industrial

Secretaría de Agricultura,
Ganadería y Pesca



Ministerio de Economía
Argentina



DERECHO
FUTURO

MINISTERIO DE
DESARROLLO
AGARIO



papel prensa s.a.

chubut

SECRETARÍA
DE BOSQUES

Secretaría de Ambiente
y Desarrollo Sostenible

SALTA
GOBIERNO



IPCV
Instituto de Promoción
de la Carne Vacuna
Argentina



Municipalidad
de Campana
siempre con vos

SAN
FERNANDO
MUNICIPIO

ASOCIACIÓN COOPERADORA
E.E.A DELTA DEL PARANÁ



XII CONGRESO INTERNACIONAL
Sistemas Silvopastoriles
URUGUAY 2023

INICIO
CRÉDITOS
COMITÉS
CONTENIDO
SESIÓN I
SESIÓN II
SESIÓN III
SESIÓN IV
ANEXOS

TÍTULO

SISTEMAS SILVOPASTORILES: HACIA UNA DIVERSIFICACIÓN SOSTENIBLE

EDITORES

Julián E. Rivera
Carolina Viñoles
Jean Fedrigo
Adriana Bussoni
Pablo Peri
Luis Colcombet
Enrique Murgueitio
Andrea Quadrelli
Julián Chará

FOTOGRAFÍA PORTADA

Plataforma Interdisciplinaria de Largo Plazo para la Investigación, Docencia y Extensión en Sistemas Silvopastoriles en Uruguay (detalles pg 471).

Jean Fedrigo

Plantación en filas dobles de *Eucalyptus dunnii*, 55 meses de edad, Florida, Uruguay.

Adriana Bussoni

Sistema silvopastoril con Álamo. Delta del Paraná, Argentina.

Pablo Peri

DISEÑO GRÁFICO

José Antonio Riascos de la Peña

ISBN

978-628-95190-5-1

© 2023. CIPAV

Para citar este documento

Rivera J., Viñoles C., Fedrigo J., Bussoni A., Peri P., Colcombet L., Murgueitio E., Quadrelli A., Chará J. 2023. Sistemas Silvopastoriles: Hacia una Diversificación Sostenible. CIPAV. Cali, Colombia.

Ficha catalogación

Sistemas silvopastoriles: hacia una diversificación sostenible / Rivera, Julián; Viñoles, Carolina; Fedrigo, Jean; Bussoni, Adriana; Peri, Pablo; Colcombet, Luis; Murgueitio, Enrique; Quadrelli, Andrea; Chará, Julián. -- Cali, CIPAV, 2023

Libro digital descargable Formato PDF

Tamaño 22 Mb

ISBN 978-628-95190-5-1

1.Sistemas silvopastoriles. -- 2. Producción agropecuaria. -- 3. Sistemas sostenibles. -- 4. Producción sostenible. -- 5. Pastoreo. -- 6. Silvicultura -- I. Julián Rivera, Carolina Viñoles, Jean Fedrigo, Adriana Bussoni, Pablo Peri, Luis Colcombet, Enrique Murgueitio, Andrea Quadrelli, Julián Chará. -- II. Título

634.99 CD 21

Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria CIPAV.



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SESIÓN I

SESIÓN II

SESIÓN III

SESIÓN IV

ANEXOS

Respuesta de la producción de forraje a la sequía en sistemas silvopastoriles de Argentina

Response of forage production to drought in silvopastoral systems in Argentina

P.L. Peri^{1,2}; S. Toledo¹; L. Gándara¹; F. Trinco¹; M.A. Atanasio¹; N. Calamari¹; E. Casaubon¹; N. Martínez¹; R. Ledesma¹; F. Gomez¹; J. Lara¹; L. Blanco¹; C. Carranza¹; A. Von Müller¹; S. Varela¹; B. Rossner²; L. Lezana¹; V. Lencinas³; M. Tarabini⁴; E. Maidana¹; L. Pernochi¹; S.B. Canavelli¹; N. Banegas¹; R. Lertora¹; R.P. Ecclesia¹; M. Ledesma¹; F. Umaña¹; J. Benítez⁵; E. Caballero¹; L. Colcombet¹; F. Barzán¹; G. Martínez Pastur⁵

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

² Universidad Nacional de la Patagonia Austral (UNPA), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), CC 332, Río Gallegos 9400, Santa Cruz, Argentina; peri.pablo@inta.gob.ar.

² Universidad del Salvador (USAL).

³ Centro Austral de Investigaciones Científicas (CADIC-CONICET), Ushuaia, Tierra del Fuego, Argentina.

⁴ CONICET- Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco (UNPSJB).

⁵ Universidad Nacional de La Plata (UNLP), La Plata, Buenos Aires.

Resumen

En el contexto de un aumento en la frecuencia e intensidad de sequías agrícolas y ecológicas debido al cambio climático, evaluamos la respuesta de la producción de forraje anual (PFA) a la sequía en 22 sitios con sistemas silvopastoriles (SSP) en bosques nativos y plantaciones forestales en comparación con pastizales y pasturas sin árboles, localizados en un amplio gradiente ambiental que incluyó 13 provincias de Argentina. Para ello, se evaluó la PFA a través de una ANDEVA con diseño factorial, siendo los sistemas productivos (SSP y pastizal/pastura sin árboles) y tipo de año en relación al régimen hídrico (normal y seco) como factores principales con al menos tres repeticiones. La magnitud de la sequía en los años secos (reducción relativa de la precipitación media anual histórica de cada sitio) fluctuó de 21% a 55%. La PFA varió según las categorías de aridez, de acuerdo a la intensidad de la sequía y el tipo de forraje (pastizal y pasturas). La producción en SSP fue superior al pastizal/pastura sin árboles en años normales y secos con una sequía $\leq 35\%$, mientras que sequías más severas ($> 35\%$) la respuesta fue inversa. La respuesta relativa (RR) de PFA de SSP en relación con los sitios abiertos (pastizales o pasturas) varió entre sitios de estudio y tipos de año. Un análisis de componentes principales para RR en



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SESIÓN I

SESIÓN II

SESIÓN III

SESIÓN IV

ANEXOS

años secos puso en evidencia un agrupamiento de los SSP en sitios semiáridos y semihúmedos, explicado por valores bajos de concentración de carbono y nitrógeno del suelo, número de especies forrajeras, y a su vez, asociados a valores altos de PFA. En este contexto, comprender la funcionalidad de los árboles en los SSP frente a los eventos de sequía, es crucial para gestionar los sistemas de producción ganadera con mayor resiliencia ante el cambio climático.

Palabras claves: *índice de aridez; materia seca; cambio climático; resiliencia.*

Abstract

In the context of an increase in the frequency and intensity of agricultural and ecological droughts due to climate change, the objective of this work was to evaluate the response of annual forage dry matter production (AFP) to drought in 22 sites under silvopastoral systems (SSPs) in native forests and forest plantations compared to grasslands and treeless pastures, located in a wide environmental gradient across 13 provinces of Argentina. The AFP was evaluated by a one ANOVA with a factorial design, where the productive systems (SSP and grassland/pasture without trees) and type of year related to hydrological condition (normal and dry) as main factors with at least three repetitions. The intensity or magnitude of drought during dry years (relative reduction to historical mean annual precipitation of each site) fluctuated from 21 to 55%. The AFP varied according to the aridity categories, the drought intensity and the type of forage (grassland and pastures). Yield of SSP were higher than grassland/treeless pastures in both normal and dry areas with a drought intensity $\leq 35\%$, while more severe droughts ($>35\%$) the observed response was the reverse. The relative response (RR) of AFP in SSPs in relation to open sites (grasslands or pastures) varied among sites and type of year. The principal component analysis of RR in dry years determined a SSP grouping of semi-arid and semi-humid sites, explained by low values of soil carbon and nitrogen concentration, number of forage species, and high values of AFP. Understanding the effect of trees on SSPs to drought events is crucial for managing livestock production systems with greater resilience to climate change.

Key words: *aridity index; dry matter; climate change; resilience.*

1. Introducción

Cada vez más productores forestales y ganaderos adoptan los sistemas silvopastoriles (SSP) debido a sus ventajas ambientales, económicas y



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SESIÓN I

SESIÓN II

SESIÓN III

SESIÓN IV

ANEXOS

sociales, tales como reducción de estrés calórico de los animales por efecto de la sombra de los árboles o en sitios fríos como en la Patagonia de la protección de los fuertes vientos o bajas temperaturas principalmente en época de parición, la obtención de madera, incremento de la productividad forrajera y su concentración proteica, disminución de los riesgos de incendio por el pastoreo, reducción del efecto de las heladas y sequías prolongadas sobre la pastura o pastizal, y la flexibilización de la economía de los establecimientos de pequeños y medianos productores (Peri *et. al.*, 2016a). En Argentina, la implementación de los SSP ha tomado relevancia en los últimos 25 años en diferentes regiones del país en bosques nativos (principalmente en la regiones Patagónica y Chaqueña) y en plantaciones forestales para diferentes usos (Peri, 2012). Actualmente, se dispone de información para la implementación de SSP a escala comercial y su posterior manejo bajo un amplio rango de condiciones ambientales, lo que permite evaluar económicamente las intervenciones silvícolas y disponer de estrategias de manejo empresarial para aumentar su rendimiento.

Considerando que los SSP combinan pasturas, árboles y animales en una misma unidad de superficie, las interacciones que se den entre los componentes del sistema silvopastoril podrían generar efectos positivos (procesos de facilitación), negativos (procesos de competencia) o neutros (Mazía *et. al.*, 2016; Peri *et. al.*, 2022). Estos procesos podrían ser modelados por la evidencia creciente de los extremos climáticos observados en donde se espera un aumento en la frecuencia e intensidad de sequías agrícolas y ecológicas en varias regiones de Sudamérica (IPCC, 2021). Si bien algunos trabajos han informado de un cambio de interacciones competitivas a facilitadoras entre árboles y pasto a lo largo de un gradiente de precipitación decreciente, la dirección y magnitud de la producción forrajera de los SSP ante eventos inusuales de sequías depende de varios factores ambientales y de manejo (Blaser *et. al.*, 2013; Moustakas *et. al.*, 2013; Mazía *et. al.*, 2016). Estos efectos no lineales de la sombra y la sequía se han demostrado a través de estudios de metaanálisis del rendimiento de las plantas en condiciones de campo y experimentales (Holmgren *et. al.*, 2012), así como en sistemas agroforestales (Blaser *et. al.*, 2018). Una mayor comprensión del efecto de los árboles en SSP ante eventos de sequías permitirá gestionar y transformar los actuales sistemas de producción ganadera en paisajes multifuncionales, con mayor resiliencia ante el cambio climático (entre otras funciones), y paralelamente, contribuir con información regional al análisis e interpretación de patrones de respuesta al cambio climático. En este contexto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la respuesta de la producción de materia seca a la sequía en los principales SSP de la Argentina



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SESIÓN I

SESIÓN II

SESIÓN III

SESIÓN IV

ANEXOS

en bosques nativos y plantaciones forestales comparado con pastizales y pasturas sin árboles.

2. Materiales y Métodos

2.1 Sitios de estudio y mediciones

Los 22 sitios de estudio comprenden: (i) SSP en bosques nativos con pastizales naturales, (ii) SSP en bosques nativos con implantación de pasturas, (iii) SSP con plantación forestal y pastizales, y (iv) SSP con plantación forestal y pasturas, y pastizales/pasturas aledañas sin árboles, distribuidos en un amplio gradiente ambiental en 13 provincias de Argentina (Tabla 1; Fig.1). Climáticamente los sitios se distribuyen en un rango de precipitaciones media anual (PMA) de 427 a 2031 mm/año, y de 5,9 a 22,5 °C de temperatura media anual (TMA). Para cada sitio de estudio, se calculó un índice de aridez (IA) basado en la PMA y la TMA como: $IA = PMA / (10 + TMA)$ (De Martonne, 1926). Esto permitió determinar una variación del IA de 14 (semiárido) en La Rioja a 66 (muy húmedo) en Misiones. A su vez, este índice nos permitió clasificar los sitios según cuatro tipos de ecosistemas: (i) semiárido ($10 < IA < 20$), (ii) semihúmedo ($20 < IA < 30$), (iii) húmedo ($30 < IA < 60$), y (iv) muy húmedo ($IA > 60$). Mientras la concentración de carbono orgánico (CO) del suelo (0-30 cm) varía de 0,48 a 27,81 %, la concentración de nitrógeno (N) presenta un rango de 0,10 a 11,7 %. La cobertura forrajera fluctuó del 23% en pastizales naturales a 95% con la implantación de pasturas, y la cobertura arbórea varió desde 16,8 a 82,4%. Las principales especies forrajeras y de árboles de los SSP se presenta en la Tabla 1.

Basado en trabajos previos, la producción de materia seca anual (kg MS/ha/año) del forraje en cada sitio se realizó a través de cortes, utilizando cuadros de 0,1 a 0,5 m² durante el periodo de crecimiento en jaulas de clausura (1,0 x 1,0 m a 1,5 x 1,5 m) o previo a la entrada de animales al cuadro (según sitio y tipo de pastizal/pastura), en el SSP (pastizal natural o pastura implantada con árboles) y en un pastizal/pastura adyacente sin árboles (100% transmisividad), abarcando tanto años “normales” como años “secos”, en función de los valores de precipitación media anual de cada sitio (Bahamonde *et. al.*, 2012; Ferrando *et. al.*, 2013; Peri *et. al.*, 2016b; Atanasio *et. al.*, 2018; Ledesma *et. al.*, 2018; Gándara *et. al.*, 2020; Trinco, 2022; Martínez Pastur *et. al.*, 2022). La intensidad de la sequía (reducción relativa a la precipitación media histórica anual de cada sitio) fluctuó de 21 a 55% (Tabla 1).

2.2 Análisis de los datos



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SESIÓN I

SESIÓN II

SESIÓN III

SESIÓN IV

ANEXOS

La variable la producción de materia seca anual del forraje (kg MS/ha/año) se comparó mediante una ANDEVA con un nivel de significancia de $p < 0,05$ mediante un diseño factorial, siendo los sistemas productivos (SSP y pastizal/pastura sin árboles) y tipo de año de acuerdo al régimen hídrico (normal y seco) como factores principales con al menos tres repeticiones. Asimismo, los sitios fueron agrupados en las categorías de aridez, intensidad de la sequía y tipo de forraje (pastizal y pasturas). Se calculó la respuesta relativa (RR) de la producción forrajera anual (PFA) de los sistemas silvopastoriles en relación con los sitios abiertos (pastizales o pasturas) utilizando el método meta-analítico de Hedges *et. al.*, (1999). Los valores de RR se calcularon como: $\ln(RR) = \ln(Xt) / \ln(Xc)$, donde Xt representa el tratamiento de SSP y Xc los valores medios respectivos de la PFA en el tratamiento de sitios abiertos sin árboles (pastizales o pasturas) para cada año contrastado (normal y seco). Se determinaron respuestas significativas ($p < 0,05$) si el intervalo de confianza (IC) Bootstrap no se superponía con un valor de cero (Koricheva *et. al.*, 2013). Las características de suelo (CO%, N%), clima (PMA, TMA), vegetación (cobertura forrajera y arbórea), magnitud de la sequía y RR-PFA de todos los sitios fueron analizados mediante análisis de componentes principales (PCA) para la RR en años secos.

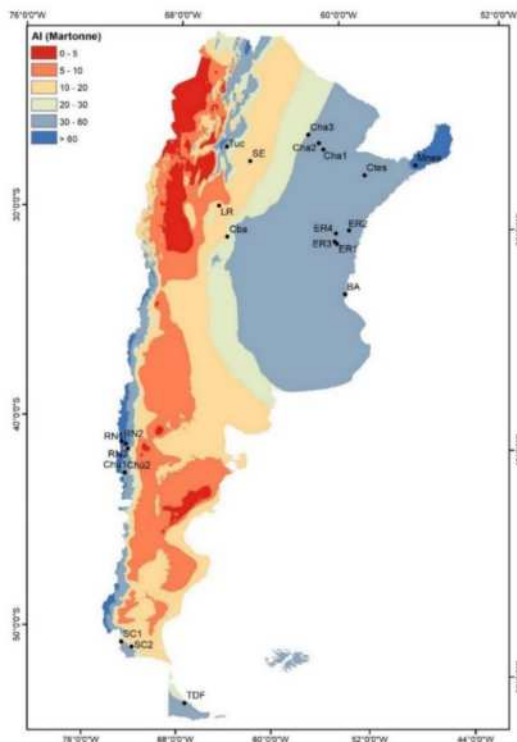


Figura 1. Ubicación de los sitios SSP y pasturas/pastizales adyacentes sin árboles a lo largo de un gradiente de aridez en Argentina. El significado de las siglas y características de los sitios se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Caracterización de los sitios SSP en un gradiente ambiental en Argentina.

Sitios (ID)	Latitud (S) Longitud (W)	PMA mm/año	TMA (°C)	Índice de Aridez /Categoría	Magnitud sequía (%)	CO suelo (%)	N suelo (%)	Cobertura forrajera (%)	N° especies forrajeras	Especies dominantes forrajeras	Especies dominantes componente forestal	Cobertura del estrato arbóreo (%)
Misiones (Mnes)	-27,654 -55,433	2031	20,7	66/Muy húmedo	30	2,95	0,28	90	1	<i>Brachiaria brizantha</i>	<i>Pinus eliottii</i>	55,0
Corrientes (Ctes)	-28,362 -58,076	1786	22,5	55/Húmedo	50	0,99	1,17	86	50	<i>Paspalum notatum</i> , <i>Axonopus sp.</i> , <i>Desmodium incanum</i> , <i>Andropogon lateralis</i>	<i>Pinus eliottii</i> var. <i>elliottii</i> x <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	31,3
Chaco 1 (Cha1)	-26,842 -60,430	1342	22	42/ Húmedo	27	2,44	0,25	90	1	<i>Panicum maximum</i> cv. <i>gatton panic</i>	<i>Prosopis alba</i>	60,0
Chaco 2 (Cha2)	-26,604 -60,978	1016	21,8	32/Húmedo	42	1,13	0,13	85	1	<i>P. maximum</i> cv. <i>gatton panic</i>	<i>Prosopis alba</i>	52,5
Chaco 3 (Cha3)	-26,634 -61,253	1234	22,2	38/Húmedo	58	3,70	0,15	88	1	<i>P. maximum</i> cv. <i>gatton panic</i>	<i>Schinopsis balansae</i> , <i>Aspidosperma quebracho-blanco</i> , <i>Prosopis kuntzei</i>	55,6
Santiago del Estero (SE)	-28,039 -64,293	577	20,1	19/Semiárido	37	0,97	0,17	85	32	<i>Megathyrsus maximum</i> , <i>Trichloris crinita</i> , <i>Setaria leiantha</i> , <i>Gowinia paraguayensis</i> , <i>T. pluriflora</i> ,	<i>Scinopsis lorentzii</i> , <i>A. quebracho blanco</i> , <i>Ziziphus mistol</i> , <i>Prosopis nigra</i>	58,0
Tucumán (Tuc)	-27,184 -65,243	993	19,2	34/ Húmedo	23	1,30	0,10	95	1	<i>Chloris gayana</i> cv <i>Epica</i>	<i>Prosopis alba</i>	50,0
La Rioja (LR)	-29,991 -65,854	427	20,9	14/Semiárido	46	1,06	0,10	48	5	<i>Cenchrus ciliaris</i> , <i>Cordobia argentea</i> , <i>Tricomaria usillo</i>	<i>Prosopis pugionata</i>	16,8
Córdoba (Cba)	-31,717 -65,408	620	15,4	24/Semihúmedo	23	1,38	0,12	30	6	<i>Setaria lachnea</i> , <i>Trichloris crinita</i>	<i>Prosopis flexuosa</i>	17,0
Entre Ríos 1 (ER1)	-31,240 -59,380	1411	20,7	46/ Húmedo	31	2,04	0,60	93	18	<i>P. notatum</i> , <i>Axonopus affinis</i> , <i>Cyperus sp.</i> , <i>Nassella neesiana</i>	<i>Vachellia caven</i> , <i>Neltuma affinis</i>	37,0
Entre Ríos 2 (ER2)	-30,600 -58,690	1421	20,8	46/Húmedo	32	2,11	0,66	85	16	<i>P. notatum</i> , <i>A. affinis</i> , <i>Cyperus sp.</i> , <i>N. neesiana</i>	<i>V. caven</i> , <i>N. affinis</i>	27,0
Entre Ríos 3 (ER3)	-31,183 -59,430	1401	20,7	46/Húmedo	31	2,12	0,65	92	20	<i>P. notatum</i> , <i>Paspalum dilatatum</i> , <i>A. affinis</i> , <i>N. neesiana</i>	<i>Celtis ehrenbergiana</i> , <i>N. affinis</i>	33,0
Entre Ríos 4 (ER4)	-30,800 -59,420	1373	20,8	45/Húmedo	31	1,64	0,53	70	16	<i>P. dilatatum</i> , <i>P. notatum</i> , <i>Sporobolus indica</i> , <i>A. affinis</i> , <i>N. neesiana</i>	<i>Scutia buxifolia</i> , <i>Neltuma affinis</i>	50
Buenos Aires (BA)	-34,100 -58,510	1235	17,1	46/Húmedo	42	27,81	1,36	95	33	<i>Carex riparia</i> , <i>Cortaderia</i>	<i>Salix matsudana</i> x <i>S.</i>	59,5



INICIO
CRÉDITOS
COMITÉS
CONTENIDO
SESIÓN I
SESIÓN II
SESIÓN III
SESIÓN IV
ANEXOS

											<i>selloana, Cynodon dactylon, Digitaria sanguinalis, Paspalum urvillei</i>	<i>alba, S. matsudana x S. nigra</i>	
Rio Negro 1 (RN1)	-41,728 -71,439	730,3	7,6	41/Húmedo	25	4,25	0,29	46	21		<i>Poa pratensis, Taraxacum officinale, Holcus lanatus, Osmarhiza chilensis, Acaena sp.</i>	Bosque mixto bajo uso ganadero de <i>Astrocedrus chilensis, Nothofagus dombeyi, Diostea juncea, Schinus patagonicus, Lomatia hirsuta</i>	82,4
Rio Negro 2 (RN2)	-41,597 -71,691	1245	7,6	71/Muy húmedo	40	4,75	0,29	54	16		<i>H. lanatus, Dactylis glomerata, P. pratensis, Lotustenuis, Acaena ovalifolia</i>	Bosque bajo uso ganadero de <i>D. juncea, S. patagonicus, L. hirsuta</i>	76,4
Rio Negro 3 (RN3)	-41,596 -71,539	931	8,4	51/Húmedo	38	4,15	0,25	29	15		<i>D. glomerata, H. lanatus, Trifolium repens, Bromus catharticus, P. pratensis</i>	Bosque mixto bajo uso ganadero de <i>A. chilensis, N. dombeyi, D. juncea, S. patagonicus, L. hirsuta</i>	80,3
Chubut 1 (Chu1)	-43,093 -71,560	1005	9,8	51/Húmedo	39	7,53	0,22	23	16		<i>D. glomerata, H. lanatus, Holcus sp.</i>	<i>Nothofagus antarctica</i>	63,0
Chubut 2 (Chu2)	-43,121 -71,549	876	10,1	44/Húmedo	30	4,55	0,27	88	9		<i>D. glomerata, H. lanatus, Bromus sp.</i>	<i>Pinus radiata</i>	45,7
Santa Cruz 1 (SC1)	-51,223 -72,259	520	5,9	33/Húmedo	21	0,48	11,7	86	19		<i>Bromus setifolius, D. glomerata, Deschampsia flexuosa, Festuca pallenscens, Phleum alpinum, P. pratensis, Rytidosperma virescens, Carex argentina</i>	<i>N. antarctica</i>	52,0
Santa Cruz 2 (SC2)	-51,318 -72,030	430	6	27/Semihúmedo	21	0,52	3,16	78	16		<i>B. setifolius, Carex macloviana, F. pallenscens, R. virescens, Agrostis perennans, F. gracillima</i>	<i>N. antarctica</i>	50,0
Tierra del Fuego (TDF)	-54,215 -67,295	725	6,5	44/Húmedo	38	8,65	0,54	89	21		<i>P. pratensis, D. flexuosa, T. officinale, Agrostis stolonifera, Festuca magellanica, Festuca ovina</i>	<i>N. antarctica</i>	46,4

3. Resultados y Discusión

Al analizar los datos entre categorías de índice de aridez (Fig. 2A), la PFA de los sitios muy húmedos (7641 kg MS/ha/año) superaron significativamente



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SESIÓN I

SESIÓN II

SESIÓN III

SESIÓN IV

ANEXOS

($p=0,0019$) a las demás categorías, detectándose una interacción entre sistemas productivos y años. Por ejemplo, mientras que en sitios muy húmedos la PFA de los SSP en años normales (10525 kg MS/ha/año) y en años secos (6534 kg MS/ha/año) fue superior a las pasturas sin presencia de árboles, en los sitios semiáridos la PFA en años secos el pastizal/pastura en áreas abiertas (2521 kg MS/ha/año) fue mayor a los SSP (1367 kg MS/ha/año). Evaluando la intensidad o magnitud de la sequía sobre la PFA, los resultados resaltan que la producción en SSP fueron superiores al pastizal/pastura sin árboles en años normales y secos con una sequía $\leq 35\%$, mientras que sequías más severas ($> 35\%$) la respuesta se invierte determinando un proceso de competencia con la presencia de árboles (Fig. 2B). Estos cambios de la facilitación a la competencia neta entre vegetación herbácea y arbórea por la disponibilidad de agua han sido demostrados previamente en sistemas leñosos naturales y cultivados, distribuidos a lo largo de un gradiente de índice de aridez (IA) global (Mazía *et. al.*, 2016). En contraste, Hernández-Salmerón y Holmgren (2022) en un metaanálisis global observaron que los árboles facilitan la biomasa de pastos durante las estaciones secas, especialmente en los trópicos y las regiones secas (en niveles intermedios de evapotranspiración e irradiancia), sugiriendo que los SSP podrían aumentar la resiliencia de los actuales sistemas de producción ganadera a condiciones más secas y cálidas. La PFA de las pasturas implantadas (6776 kg MS/ha/año), dada mayoritariamente por especies C4 (*Brachiaria brizantha*, *Chloris gayana*, *Cenchrus ciliaris*, Tabla 1) fue mayor ($p=0,0001$) a la de los pastizales naturales (2844 kg MS/ha/año), con interacciones significativas respecto al sistema de producción y tipo de año. Por ejemplo, la PFA en los SSP fue superior a la del pastizal/pastura sin árboles en años normales y secos, mientras que la respuesta se invirtió en pastizales naturales (Fig. 2C). Estos resultados son coincidentes con Hernández-Salmerón y Holmgren (2022) quienes demostraron que los árboles aumentan la biomasa forrajera durante las sequías estacionales principalmente en gramíneas C4 comparados con especies C3 en ambientes templados. Los mayores efectos facilitadores de los árboles durante las sequías en los pastos C4 pueden resultar de una combinación de mecanismos que mejoran la tolerancia al estrés hídrico y las altas temperaturas, incluso en niveles intermedios de sombra de los árboles (Chaves *et. al.*, 2003).



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SESIÓN I

SESIÓN II

SESIÓN III

SESIÓN IV

ANEXOS

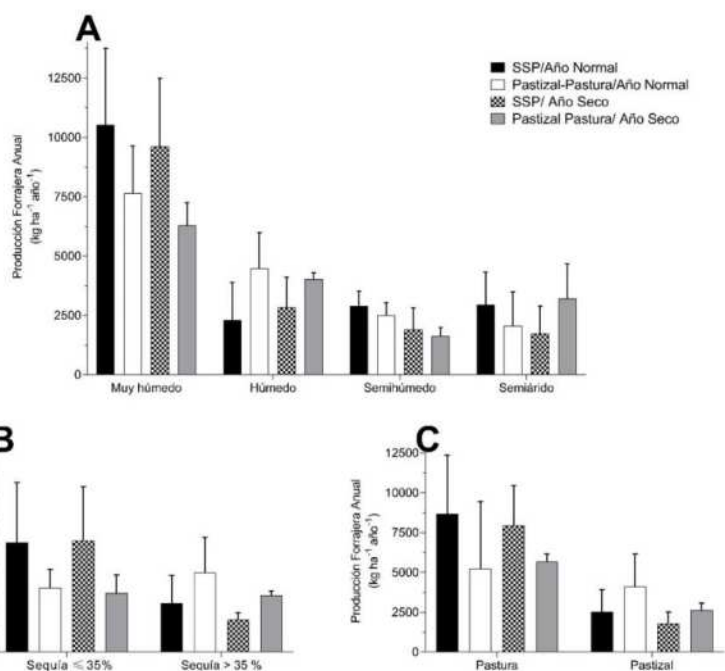


Figura 2. Producción media de forraje anual (kg MS/ha/año) en SSP y pasturas/pastizales sin árboles analizados para años normales y secos según (A) categorías de índice de aridez, (B) intensidad de sequía, y (C) tipos de forraje (pastura implantada o pastizal natural).

3.1 Respuesta relativa (RR) de la producción forrajera y factores

La RR de la producción forrajera anual de los SSP en relación con los sitios abiertos (pastizales o pasturas) varió entre sitios y tipos de año (Fig. 3). Mientras que para años normales la RR fue positiva en 9 sitios evaluados (Fig. 3A), para los años secos se incrementó solo a 10 sitios (Fig. 3B). La magnitud de respuesta positiva mayor ocurrió en el sitio de La Rioja (LR, SSP en bosque nativo con implantación de pasturas) en años normales con una RR de +100%, y la respuesta negativa de mayor magnitud ocurrió en el sitio de Chubut Ch2 (SSP con plantación de pino radiata y pasturas) con una RR de -225% en años secos. Adicionalmente, la RR de la producción forrajera anual de algunos sitios se invirtió según el tipo de año. Por ejemplo, mientras que en el sitio de Santiago del Estero (SE) la RR en SSP en bosque nativo pasó de +2% en años normales a -89% en años secos, el SSP en el sitio de Chaco (Ch1) presentó una respuesta inversa pasando de -15% en años normales a +26% en años secos. Análisis de metaanálisis anteriores sobre el efecto de los árboles en la biomasa forrajera en sabanas naturales encontraron una mayor facilitación en lugares más secos o con precipitaciones anuales decrecientes (Dohn *et al.*, 2013). Asimismo, se demostró que las plantas leñosas facilitan la productividad del sotobosque en condiciones de estrés hídrico superando a la respuesta en condiciones húmedas (hipótesis del gradiente de estrés),



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SESIÓN I

SESIÓN II

SESIÓN III

SESIÓN IV

ANEXOS

siempre que los árboles mejoren las condiciones del agua para el componente forrajero como por ejemplo, mediante ascenso hidráulico o reduciendo la evapotranspiración del sotobosque (Ludwig *et. al.*, 2004). Sin embargo, persiste el debate sobre los efectos generales de los árboles sobre el forraje en los sistemas productivos. Estas respuestas diferenciales entre sitios se corresponden con lo informado en estudios que han reportado resultados contrastantes sobre los niveles de densidad de la copa de los árboles y las condiciones ambientales bajo las cuales los árboles pueden tener efectos positivos, negativos o neutrales (Moustakas *et. al.*, 2013).

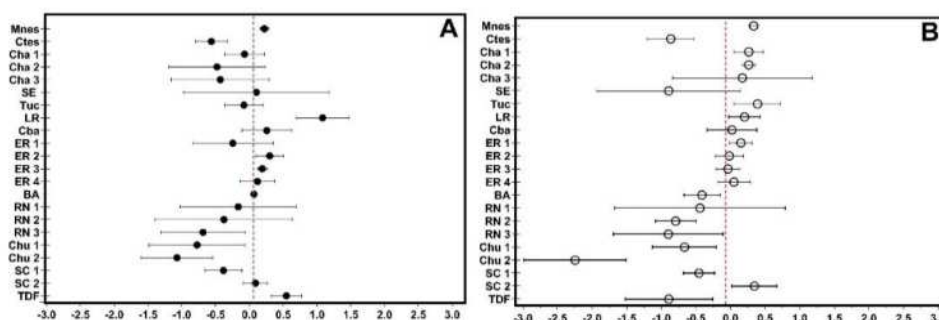


Figura 3. Respuesta relativa de la producción forrajera anual de los SSP en relación con áreas abiertas aledañas sin árboles (pastizales o pasturas) para (A) años normales y (B) años secos.

El análisis de componentes principales para RR en los años secos (PCA; Fig. 4) determinó que los dos primeros ejes explicaban el 51,4 % de la varianza total (27,7 % y 23,7 % para PC1 y PC2, respectivamente). En el análisis del eje 1, no se encontró una clara separación entre los grupos. En cambio, en el eje 2 de PCA determinamos un agrupamiento de los SSP por sitios semiáridos y semihúmedos, explicado por valores bajos de C%, N%, número de especies forrajeras, y a la vez asociados a valores altos de RR-PFT. Además, el PCA muestra que la cobertura arbórea tiene una relación inversa a la de TMA, PMA y cobertura forrajera (%) en la respuesta de años secos (Fig. 4). Es decir, la respuesta de la producción de forraje en SSP en eventos de sequía estaría explicada por una combinación de factores abióticos (ej., características suelo, precipitaciones, temperatura) y bióticos relacionados al manejo (cobertura forrajera, cobertura arbórea). En forma similar, Blaser *et. al.*, (2018), al combinar mediciones simultáneas de producción, fertilidad del suelo, enfermedades, variables climáticas, almacenamiento de carbono y diversidad de especies a lo largo de un gradiente de cobertura de árboles (sombra), demostraron que los sistemas agroforestales no comprometen la producción, mientras que al mismo tiempo crean beneficios para la adaptación y la mitigación al clima y la biodiversidad.



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SESIÓN I

SESIÓN II

SESIÓN III

SESIÓN IV

ANEXOS

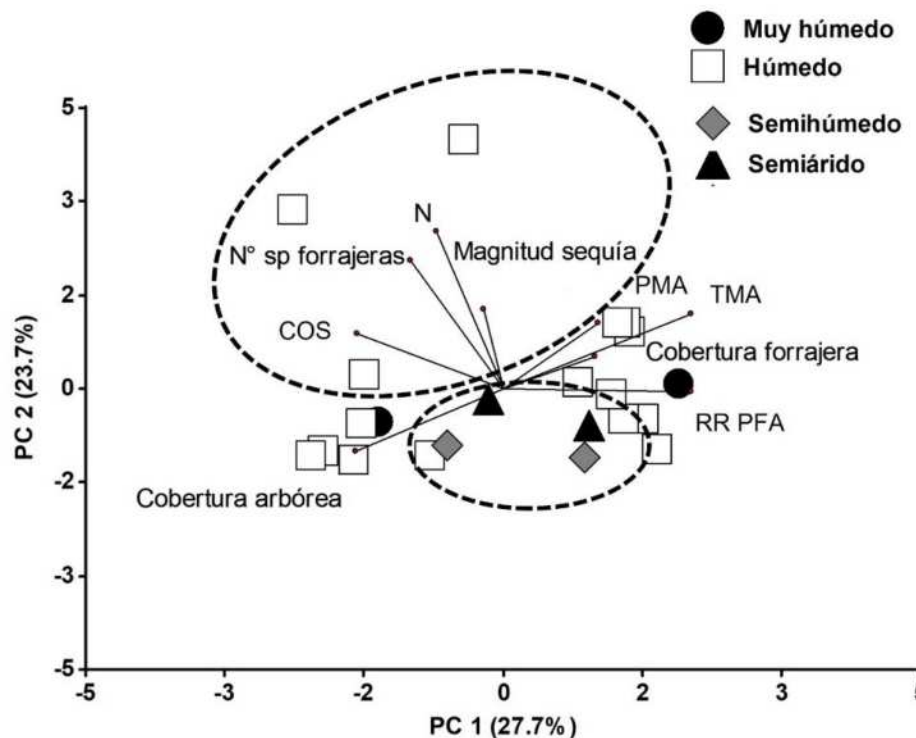


Figura 4. Análisis de componentes principales (PCA) para la respuesta relativa (RR) de la producción forrajera anual de los SSP en relación con áreas abiertas aledañas sin árboles en los años secos.

Conclusiones

Los resultados del presente trabajo han puesto en evidencia que la productividad forrajera anual (PFA) de los SSP puede ser tanto superior como inferior a la de pastizales naturales o pasturas implantadas sin árboles. Consecuentemente, la respuesta de la PFA en SSP a la sequía están relacionados con aspectos tanto ambientales como de manejo, tales como el índice de aridez, intensidad de la sequía, tipo de forraje (pastura implantada o pastizal natural), cobertura área y características del suelo, entre otros. Los resultados obtenidos contribuyen a comprender la funcionalidad de los árboles en los SSP ante eventos extraordinarios de sequías, siendo un aspecto crucial para gestionar los sistemas de producción ganadera con mayor resiliencia frente a eventos extremos climáticos.

Bibliografía

Atanasio, M., Pernochi, A., Chiossone, J., 2018. Productividad maderera y forrajera de un sistema silvopastoril de *Prosopis alba* de variable densidad de árboles y radiación. Actas IV Congreso Internacional de Sistemas Silvopastoriles. Villa La Angostura, Argentina, pp. 98-106.



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SESIÓN I

SESIÓN II

SESIÓN III

SESIÓN IV

ANEXOS

- Bahamonde, H., Peri, P.L., Alavarez, R., Barneix, A., Moretto, A., Martínez Pastur, G., 2012. Producción y calidad de gramíneas en un gradiente de calidades de sitio y coberturas en bosques de *Nothofagus antarctica* (G. Forster) Oerst. en Patagonia. *Ecología Austral* 22, 62-73.
- Blaser, W.J., Sitters, J., Hart, S.P., Edwards, P.J., Olde Venterink, H., 2013. Facilitative or competitive effects of woody plants on understorey vegetation depend on Nfixation, canopy shape and rainfall. *Journal of Ecology* 101, 1598–1603.
- Blaser, W. J., Oppong, J., Hart, S. P., Landolt, J., Yeboah, E., and Six, J., 2018. Climate-smart sustainable agriculture in low-to-intermediate shade agroforests. *Nat. Sustain.* 1, 234–239.
- Chaves, M. M., Maroco, J. P., Pereira, J. S., 2003. Understanding plant responses to drought—From genes to the whole plant. *Funct. Plant Biol.* 30, 239–264.
- De Martonne, E., 1926. Une nouvelle fonction climatologique: l' indice d' aridite. *Meteorologie* 2, 449–458.
- Dohn, J., Dembélé, F., Karembé, M., Moustakas, A., Amévor, K. A., Hanan, N.P., 2013. Tree effects on grass growth in savannas: Competition, facilitation and the stress-gradient hypothesis. *J. Ecol.* 101, 202–209.
- Ferrando, C., Blanco, L., Biurrun, F., Namur, P., Recalde, D., Ávila, R., Oriente, E., 2013. Efecto del rolado y siembra de Buffel sobre la evolución del estrato gramíneo en un arbustal degradado del Chaco Árido. *Semiárida* 22, 23-28.
- Gándara, L., Pereira, M., Núñez, F., Quiroz, O., Perrens, G., Yogi, D., Riva de Neyra, L., Álvarez, O., 2020. Dinámica de la biomasa aérea de un pastizal en diferentes sistemas silvopastoriles de Corrientes. *Actas 43º Congreso Argentino de Producción Animal. Asociación Argentina de Producción Animal (AAPA)*, pp. 286.
- Hedges, L.V., Gurevitch, J., Curtis, P.S., 1999. The meta-analysis of response ratios in experimental ecology. *Ecology* 80, 1150–1156.
- Hernández-Salmerón, I.R., Holmgren, M., 2022. Global metaanalysis: Sparse tree cover increases grass biomass in dry pastures. *Front. Environ. Sci.* 10, 949185.
- Holmgren, M., Gomez-Aparicio, L., Quero, J. L., and Valladares, F., 2012. Nonlinear effects of drought under shade: Reconciling physiological and ecological models in plant communities. *Oecologia* 169, 293–305.
- IPCC, 2021. Summary for policymakers. In: *Climate change 2021: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*
- Koricheva, J., Gurevitch, J., Mengersen, K., 2013. *Handbook of Meta-analysis in Ecology and Evolution.* Princeton University Press.
- Ledesma, R., Kunst, C., Bravo, S., Leiva, M., Lorea, L., Godoy, J., Navarrete, V., 2018. Developing a prescription for brush control in the Chaco region, effects of combined treatments on the canopy of three native shrub species. *Arid Land Research and Management* 32, 351-366.
- Ludwig, F., Dawson, T.E., Prins, H.H.T., Berendse, F., de Kroon, H., 2004. Below-ground competition between trees and grasses may overwhelm the facilitative effects of hydraulic lift. *Ecology Letters*, 7, 623-631.
- Martínez Pastur, G., Cellini, J.M., Chaves, J., Rodríguez Souilla J., Benítez, J., Rosas, Y., Soler Esteban, R., Lencinas, M.V., Peri, P.L., 2022. Changes in forest structure modify understorey and livestock occurrence along the natural cycle and different management strategies in *Nothofagus antarctica* forests. *Agroforestry Systems* 96, 1039-1052.
- Mazía, N., Moyano, J., Perez, L., Aguiar, S., Garibaldi. L.A., Schlichter, T., 2016. The sign and magnitude of tree–Grass interaction along a global environmental gradient. *Global Ecology and Biogeography* 25, 1510-1519.



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SESIÓN I

SESIÓN II

SESIÓN III

SESIÓN IV

ANEXOS

- Moustakas, A., Kunin, W.E., Cameron, T.C., Sankaran, M., 2013. Facilitation or competition? Tree effects on Grass biomass across a precipitation gradient. *PLoS One*, 8, e57025.
- Peri, P.L., 2012. Implementación, manejo y producción en SSP: enfoque de escalas en la aplicación del conocimiento aplicado. *Actas Segundo Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles*, Ediciones INTA, Santiago del Estero, Argentina, pp. 8-21.
- Peri, P.L., Dube, F., Varella, A., 2016a. *Silvopastoral Systems in Southern South America*, Advances in Agroforestry, Springer International Publishing, Switzerland.
- Peri, P.L.; Bahamonde, H.; Lencinas, M.V.; Gargaglione, V.; Soler, R.; Ormaechea, S.; Martínez Pastur, G., 2016b. A review of silvopastoral systems in native forests of *Nothofagus antarctica* in southern Patagonia, Argentina. *Agroforestry Systems* 90, 933-960.
- Peri, P.L., Rosas, Y.M., Lopez, D.R., Lencinas, M.V., Cavallero, L., Martínez Pastur, G., 2022. Conceptual framework to define management strategies for silvopastoral systems in native forests. *Ecología Austral* 32, 749-766.
- Trinco, F.D., 2022. *Compromisos entre productividad forrajera y cobertura arbórea en bosques andinos norpatagónicos*. Tesis doctoral. Universidad Nacional del Comahue, 257 pp.