



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



CORRIENTES  
Ministerio de Producción

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

## Cambios producidos por el manejo silvopastoril en bosques de *Nothofagus antarctica* de Tierra del Fuego y su comparación con otros ambientes

### Changes derived by the silvopastoral management in *Nothofagus antarctica* forests of Tierra del Fuego compared to other environments

G. Martínez Pastur<sup>1</sup>; Y. M. Rosas<sup>2</sup>; J. M. Cellini<sup>3</sup>; A. Huertas Herrera<sup>4</sup>;  
M. D. R. Toro- Manríquez<sup>4</sup>; M. V. Lencinas<sup>1</sup>; J. Benítez<sup>1</sup>;  
Sebastián Pechar<sup>5</sup>; P. L. Perí<sup>6</sup>.

1. Laboratorio de Recursos Agroforestales, Centro Austral de Investigaciones Científicas (CADIC), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Houssay 200 (9410) Ushuaia, Tierra del Fuego, Argentina; gpastur@conicet.gov.ar. 2. Department of Geosciences and Natural Resource Management, University of Copenhagen, Frederiksberg, Dinamarca. 3. Universidad Nacional de La Plata (UNLP), La Plata, Buenos Aires, Argentina. 4. Grupo Ecología Forestal, Laboratorio de Recursos Forestales y Conservación de la Biodiversidad, Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia (CIEP), Coyhaique, Chile. 5. Consorcio Regional de Experimentación Agrícola. (Grupo CREA Tierra del Fuego), Ea. El Roble, Tierra del Fuego, Argentina. 6. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Universidad Nacional de la Patagonia Austral (UNPA), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), CC 332 (9400) Río Gallegos, Santa Cruz, Argentina.

#### Resumen

Los sistemas silvopastoriles (SSP) son una opción que promueve el equilibrio entre la producción y la conservación. El objetivo fue determinar cambios producidos por SSP en bosques de *Nothofagus antarctica* (ñire) comparando otros ambientes (bosques sin manejo, pastizales secos y húmedos). Se analizó el componente arbóreo, ambiental, forrajero, animal, y biodiversidad. Se seleccionaron 16 áreas (4 tratamientos x 4 réplicas) en Ea. El Roble (Tierra del Fuego), donde se relevaron 50 variables (estructura forestal, forraje, animales, biodiversidad) y calicatas. Se realizaron índices de componentes y análisis univariados. Los resultados muestran que SSP generan cambios significativos en los componentes, generando sinergias positivas y negativas. Estos cambios generan ambientes con características intermedias entre bosques y pastizales. Se observó que las raíces de los árboles, a diferencia de hierbas y pastos, se ubican en capas más profundas. Estos resultados identifican factores de cambio en los componentes analizados, e indicadores para monitoreos de SSP. Comprender la dinámica e interacción entre componentes permite proponer propuestas económicas (ej. costos del manejo) y sostenibles (ej. conservación).

**Palabras clave:** *raleos; impactos; resiliencia; biodiversidad; manejo sostenible.*



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SESIÓN I

SESIÓN II

SESIÓN III

SESIÓN IV

ANEXOS

## Abstract

Silvopastoral systems (SPS) are one option that promotes a balance between economic and conservation values. The objective was to determine changes produced by SPS in *Nothofagus antarctica* (ñire) forests, comparing with other environments (unmanaged forests, dry and wet grasslands). Forest structure, environment, forage, animal, and biodiversity components were analyzed. A total of 16 areas (4 treatments x 4 replicates) were selected at Ea. El Roble (Tierra del Fuego), where 50 variables (forest structure, forage, animal, biodiversity) and soil-pits were surveyed. Indices and univariate analyses were performed. Results showed that SPS generate significant changes in the components, generating positive and negative synergies. These changes modified the environments with intermediate characteristics between forests and grasslands. It was observed that tree roots, unlike herbs and grasses, are located at deeper layers. These results identified factors of change for the analyzed components, and indicators for SPS monitoring. Understanding the dynamics and interactions among components allowed to propose economic (e.g. management costs) and sustainable (e.g. conservation) proposals.

**Key words:** *thinning; impacts; resilience; biodiversity; sustainable management.*

### 1. Introducción

El manejo ganadero difiere en el paisaje, y se relaciona con cambios socio-económicos afectando la rentabilidad. La principal actividad es la cría de ganado vacuno para la venta de novillos y vaquillonas. El manejo es extensivo mediante potreros de gran tamaño (>5.000 ha) que presentan diferentes ambientes productivos: pastizales secos o húmedos, bosques de *Nothofagus antarctica* (ñire) bajo dinámica natural o alterados (Soler *et. al.*, 2022). El principal desafío es optimizar el uso a lo largo del año. Algunos ambientes son valorados por el forraje (ej. pastizales húmedos), y otros infravalorados (ej. bosques), aunque brindan protección y confort animal (Martínez Pastur *et. al.*, 2022). El manejo histórico promovió el reemplazo del bosque por pasturas, requiriendo grandes inversiones (ej. desmontes e implantación de pasturas), generando sinergias negativas (ej. bosques secundarios cerrados que dificultaron el acceso del ganado). Actualmente se proponen sistemas silvopastoriles (SSP) como alternativa, que persigue múltiples objetivos, combinando producción y conservación (Peri *et. al.*, 2016). SSP proponen modificar los componentes del bosque (ej. arbóreo y forrajero) para estimular otros (ej. animal), pero manteniendo ciertos niveles (ej.



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SESIÓN I

SESIÓN II

SESIÓN III

SESIÓN IV

ANEXOS

biodiversidad) (Martínez Pastur *et. al.*, 2020; Peri *et. al.*, 2022). Las propuestas difieren por tipos forestales y condiciones de sitio (ej. régimen hídrico) (Peri *et. al.*, 2016). En Patagonia, SSP presentan desafíos particulares, principalmente en relación al clima y el ganado, requiriendo determinar las sinergias y conflictos de su implementación. Es necesario definir la correlación entre variables productivas (ej. forraje y ganado) (Martínez Pastur *et. al.*, 2021), para jerarquizar las mismas en implementación de SSP. Asimismo, es importante identificar indicadores de MBGI para establecer monitoreos (Peri *et. al.*, 2022). El suelo es el constituyente esencial, pero es poco considerado en estudios y toma de decisiones. Existe la necesidad del manejo adaptativo, y realizar recomendaciones basadas en experiencias locales y realidades socio-productivas. El objetivo fue determinar los cambios producidos por SSP en bosques de ñire (Tierra del Fuego) sobre los componentes (arbóreo, ambiental, forrajero, animal, biodiversidad) relacionándoles a otros ambientes (bosques sin manejo, pastizales secos y húmedos), para saber: ¿Cuáles son las diferencias entre bosques (con y sin manejo) y otros ambientes (pastizales secos y húmedos); ¿Cuáles son los cambios producidos por SSP (raleos + ganado) respecto del control?, y ¿Cómo influye SSP en el suelo?.

## 2. Métodos

### 2.1. Área estudiada

Se seleccionaron 16 áreas (4 tratamientos x 4 réplicas) >2 ha en Ea. El Roble (13.145 ha, Tierra del Fuego, 54°05'37"LS-67°40'54" LO, 68 m.s.n.m.), donde se realiza ganadería extensiva con rotación de potreros. Se estudiaron: bosques sin intervenciones (BP); bosques intervenidos (1950-1970) para producción de postes y leña (BI), similares a SSP; pastizales secos con dominancia de *Festuca gracillima* (PS); y pastizales húmedos con dominancia de *Carex* sp. (PH). Los ambientes tienen uso ganadero, y poblaciones naturales de *Lama guanicoe* (guanaco).

### 2.2. Toma de la muestra y análisis realizados

En establecieron parcelas en cada área (transecto 50 m), midiendo la estructura forestal por recuentos angulares (K=3-5) para árboles >5 cm. Se midió diámetro, altura, clase social y fase de desarrollo, obteniendo densidad (ind/ha, DEN), área basal (m<sup>2</sup>/ha, AB), volumen (m<sup>3</sup>/ha, VTCC), y crecimiento (m<sup>3</sup>/ha/año, CREC). Se tomaron fotos hemisféricas para estimar cobertura de copas (% CC) y radiación total (% RT). La regeneración se midió en parcelas anexas: 1 m<sup>2</sup> para regeneración inicial (<1.3 m), y 5 m<sup>2</sup> para regeneración avanzada (>1.3 m y <5 cm diámetro), obteniendo densidad (miles/ha, D-RI y D-RA). En cada transecto se registró cobertura de plantas vasculares (50



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SESIÓN I

SESIÓN II

SESIÓN III

SESIÓN IV

ANEXOS

intersecciones) y presencia de otras especies, residuos (>1 cm), suelo desnudo y fecas de macro-herbívoros. También se colectó una muestra de sotobosque para biomasa y palatabilidad (0,25 m<sup>2</sup>). Con estas mediciones se obtuvo: riqueza total (n, RIQ), riqueza de especies nativas (n, RIQ-N) y exóticas (n, RIQ-E), cobertura total (% C-T), cobertura dicotiledóneas (% C-D), cobertura monocotiledóneas (% C-M), cobertura exóticas (% C-E), cobertura nativas (% C-N), cobertura palatables (% C-P), y relaciones de cobertura de exóticas vs. total (% del total, EXO), de plantas indicadoras de degradación productiva (% del total, DEG-P), de plantas indicadoras de degradación ambiental (% del total, DEG-A), cobertura de regeneración (% C-REG), cobertura (% C-R) y volumen de residuos (m<sup>3</sup>/ha, V-R), suelo desnudo (% C-S), peso seco (kg/ha, PS-T), peso seco vivo (kg/ha, PS-V), peso seco palatable (kg/ha, PS-P), peso seco palatable dicotiledóneas (kg/ha, PS-P-D) y monocotiledóneas (kg/ha, PS-P-M), densidad de guanacos (equivalentes ovinos EO/ha, D-G), domésticos (EO/ha, D-DOM), densidad total de animales (EO/ha, D-T), densidad potencial en función del forraje disponible (EO/ha, D-P), digestibilidad (% DMS), fibra detergente neutro (% FDN), energía metabolizable (Mcal, CEM), y proteína cruda (% CPC). El suelo se caracterizó mediante muestras compuestas (n = 4) en 30 cm del perfil, obteniendo densidad efectiva (gr/cm<sup>3</sup>, DS), humedad (% HS), acidez (pH), carbono (% C), nitrógeno (% N) y fósforo (ppm, P), calculando contenido de carbono orgánico (kg/m<sup>2</sup> en 30 cm, COS), contenido de nitrógeno (kg/m<sup>2</sup> en 30 cm, NS) y fósforo (kg/m<sup>2</sup> en 30 cm, PS). Finalmente, se realizó una calicata de 50 cm en cada transecto con muestras cada 10 cm, realizando los análisis antes mencionados, y complementando con: carbono de materia orgánica particulada (% del C, MOP) y asociada a minerales (% del C, MOAM), rocas y arena >2 mm (% suelo, ROC), raíces de árboles y arbustos (% suelo, R-ARB) o hierbas y pastos (% suelo, R-FOR), y raíces totales (% suelo, R-TOT) (ver Martínez Pastur *et. al.*, 2020, 2021, 2022).

### 2.3. Análisis estadísticos y comparaciones

Las variables se clasificaron y estandarizaron en (0-100) para obtener índices: componente arbóreo (I-ARB), ambiental (I-AMB), forrajero (I-FOR), animal (I-ANI), y biodiversidad (I-BIO) (Tablas 1 y 2). Cuando las variables influyeron negativamente se incluyeron como relación inversa (100 - índice): DS, C-S, DEG-P, DEG-A, D-G, NDF, R-EXO, C-EXO, EXO. Se realizaron ANDEVAS simples analizando las variables e índices por ambientes (BP, BI, PS, PH), y ANDEVAS múltiples considerando como factores principales a los ambientes (BP, BI, PS, PH) y profundidad del suelo (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 cm), usando Tukey (p <0,05).



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SESIÓN I

SESIÓN II

SESIÓN III

SESIÓN IV

ANEXOS

### 3. Resultados

#### 3.1. Variaciones entre ambientes productivos

El índice arbóreo (I-ARB) presentó diferencias significativas, siendo BP>BI>PS-PH (Tabla1). Los componentes también presentaron diferencias significativas y misma tendencia, con excepción de regeneración avanzada (D-RA), que no presentó diferencias entre ambientes. El índice ambiental (I-AMB) presentó diferencias significativas, separando PH de otros ambientes (Tabla 1B). Algunas variables aumentaron al disminuir la presencia de árboles (RT y HS), mientras que otras se relacionaron con la cosecha. La densidad del suelo (DS) aumentó significativamente en BI>PS-BP>PH, influyendo en los nutrientes (ej. PS). El contenido de nitrógeno también aumentó en BI respecto de BP y PS, pero fue menor que en PH donde presentó los mayores valores. La acidez suelo disminuyó con la cobertura arbórea (BP>BI>PS), pero aumentó en PH debido al contenido de carbono (COS), aunque esta variable no presentó diferencias. Finalmente, la cobertura del suelo desnudo fue mayor en PS y bosques (PS>BI>BP) y casi nula en PH.

**Tabla 1.** ANDEVAS del componente arbóreo (A) y ambiental (B) para los ambientes estudiados (BP = bosques primarios, BI = bosques intervenidos, PS = pastizales secos, PH = pastizales húmedos).

(A)	CC	DEN	AB	VTCC	CREC	C-REG	D-RI	D-RA	C-R	V-R	I-ARB
BP	73,1c	1789,2b	34,5c	172,4c	1,9b	17,0b	205,0b	22,5	17,0b	78,5b	63,3c
BI	53,7b	599,4ab	22,5b	117,8b	1,2b	9,0ab	<0,1a	<0,1	9,0ab	35,3ab	29,2b
PS	7,1a	<0,1a	<0,1a	<0,1a	<0,1a	<0,1a	<0,1a	<0,1	<0,1a	<0,1a	0,3a
PH	6,6a	<0,1a	<0,1a	<0,1a	<0,1a	<0,1a	<0,1a	<0,1	<0,1a	<0,1a	0,1a
F	82,53	4,93	54,00	56,84	14,47	8,55	6,55	2,93	8,55	5,73	27,65
(p)	(<0,001)	(0,018)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)	(0,007)	(0,077)	(0,003)	(0,011)	(<0,001)

(B)	RT	DS	HS	COS	NS	PS	pH	C-S	I-AMB
BP	37,2a	0,71b	22,2a	14,9	0,68a	0,0042b	5,5c	6,0a	42,1a
BI	61,9b	0,97c	12,9a	14,3	0,73ab	0,0054c	4,8ab	7,5ab	38,5a
PS	91,2c	0,80b	28,6a	13,9	0,69a	0,0041b	4,3a	21,5b	34,6a
PH	97,9c	0,30a	133,8b	18,7	1,11b	0,0015a	5,0bc	<0,1a	70,3b
F	30,59	94,22	23,30	3,02	4,69	39,21	8,53	6,73	16,94
(p)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)	(0,071)	(0,022)	(<0,001)	(0,003)	(0,007)	(<0,001)

F = test de Fisher, p = probabilidad, letras diferentes muestran diferencias según Tukey (p <0,05).

El índice forrajero (I-FOR) presentó diferencias significativas, siendo menor en bosques (BP>BI) que pastizales (PH>PS) (Tabla 2). El peso seco forrajero (PS-T y PS-V) fue mayor en pastizales (PS>PH) que bosques (BI>BP). Sin embargo, el peso seco palatable (PS-P) fue mayor en PH que otros ambientes. Este material palatable no varió para dicotiledóneas (PS-P-D), pero sí para monocotiledóneas (PS-P-M). La cobertura de especies palatables también fue



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SESIÓN I

SESIÓN II

SESIÓN III

SESIÓN IV

ANEXOS

máxima en PH, seguida por BP>BI>PS. Las plantas indicadoras de degradación ambiental (DEG-A) fueron mayores en bosques (BI>BP) que pastizales (PS>PH), mientras que las plantas indicadoras de degradación productiva (DEG-P) no presentaron diferencias. El índice animal (I-ANI) fue menor en PS respecto que otros ambientes (Tabla 2B). La densidad potencial de animales (D-P) presentó diferencias significativas, siguiendo los patrones antes descritos para el forraje (PH>PS-BP-BI). Sin embargo, la densidad observada (D-G, D-DOM, D-T) no presentó diferencias significativas entre ambientes. La palatabilidad (DMS, FDN, CEM) presentó diferencias significativas, donde PS se diferenció de otros ambientes, y la proteína cruda (CPC) no presentó diferencias.

**Tabla 2.** ANDEVAs del componente forrajero (A), animal (B) y biodiversidad (C) entre ambientes (BP = bosques primarios, BI = bosques intervenidos, PS = pastizales secos, PH = pastizales húmedos).

(A)	PS-T	PS-V	PS-P	PS-P-D	PS-P-M	C-P	DEG-P	DEG-A	I-FOR
BP	774,2a	497,3a	453,6a	82,9	370,7a	128,4b	0,22	2,52a	26,2ab
BI	1127,8a	714,1a	347,7a	66,2	281,5a	110,0ab	0,16	9,51b	19,3a
PS	5736,5b	3932,8b	456,7a	3,3	453,4a	50,7a	<0,01	0,79a	41,6b
PH	3273,1ab	2283,5ab	2283,5b	506,7	1776,8b	168,2b	0,09	0,14a	64,6c
F	6,33	5,05	20,87	2,53	23,10	10,47	2,02	27,71	15,85
(p)	(0,008)	(0,017)	(<0,001)	(0,106)	(<0,001)	(0,001)	(0,165)	(<0,001)	(<0,001)

(B)	D-G	D-DOM	D-T	D-P	DMS	FDN	CEM	CPC	I-ANI
BP	0,04	1,01	1,05	0,99a	64,5b	31,2a	2,33b	7,67	48,6b
BI	0,04	4,31	4,35	0,66a	62,9b	33,3a	2,27b	7,78	54,2b
PS	<0,01	1,01	1,01	1,00a	55,2a	43,1b	1,99a	5,65	20,1a
PH	<0,01	2,28	2,28	6,62b	62,3b	34,1a	2,24b	6,24	53,8b
F	1,00	3,25	3,36	20,87	23,02	23,02	23,02	3,35	7,12
(p)	(0,426)	(0,059)	(0,055)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)	(0,055)	(0,005)

(C)	RIQ	RIQ-N	RIQ-E	C-T	C-D	C-M	C-E	C-N	EXO	I-BIO
BP	37,8c	31,8b	6,0b	166,5b	76,4	70,5a	33,6bc	132,9a	22,1b	50,4b
BI	36,8bc	31,0b	5,8b	251,5c	57,6	80,1a	65,6c	83,3a	49,7c	34,9a
PS	28,2ab	27,0ab	1,2a	116,3a	59,5	47,4a	0,6a	115,8a	<0,1a	51,0b
PH	24,2a	20,2a	4,0b	149,0ab	67,9	141,1b	15,8ab	235,8b	11,5ab	60,9b
F	10,41	7,76	14,84	25,68	0,90	10,44	12,92	30,91	18,33	11,86
(p)	(0,001)	(0,004)	(<0,001)	(<0,001)	(0,471)	(0,001)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)	(<0,001)

F = test de Fisher, p = probabilidad, letras diferentes muestran diferencias según Tukey (p <0,05).

Finalmente, el índice de biodiversidad (I-BIO) presentó diferencias significativas, donde BI < otros ambientes (BP-PS-PH) (Tabla 2C). La riqueza total y nativas (RIQ y RIQ-N) fue mayor en bosques (BP>BI) que pastizales (PS>PH), sin embargo, las exóticas (RIQ-E) fueron menores en PS que otros



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SESIÓN I

SESIÓN II

SESIÓN III

SESIÓN IV

ANEXOS

ambientes. La cobertura total fue mayor en ambientes intervenidos (BI>BP>PH>PS), donde las dicotiledóneas no presentaron diferencias (C-D) y monocotiledóneas (C-M) fueron mayores en PH. Las especies nativas (C-N) fueron mayores en PH, mientras que las exóticas (C-E) fueron mayores en bosques (BI>BP) que pastizales (PH>PS). Finalmente, la proporción de exóticas (EXO) fue mayor en bosques intervenidos (BI) que otros ambientes (BP>PH>PS).

### 3.2. Comparación de índices

Al comparar I-ARB e I-AMB, se observó un gradiente desde BP hacia PS, donde BI ocupó posiciones intermedias por la remoción de la estructura forestal. PH se diferenció de otros ambientes, que explica las diferencias significativas antes descritas (Tabla 1). Al comparar I-ARB e I-FOR, las intervenciones no generaron diferencias notables en BI respecto de BP, pero diferenciando pastizales de bosques. Los bosques intervenidos mejoraron el índice animal (I-ANI), no presentando diferencias con PH, pero sí con PS. Finalmente, al comparar I-ARB e I-BIO, se observó una reducción de valores de biodiversidad en BI respecto de otros ambientes (PH>PS-BP).

### 3.3. Variaciones en el perfil del suelo

Las ANDEVAs múltiples identificaron diferencias entre ambientes para DS, HS y pH (Tabla 3). Se encontraron diferencias significativas en el carbono (C) y componentes de la materia orgánica (MOP y MOAM). El carbono fue mayor en PH respecto de otros ambientes, donde BI presentó una leve disminución. La proporción de MOP y MOAM fue homogénea entre ambientes, salvo en PS donde MOP disminuyó y MOAM aumentó respecto de otros tratamientos. El contenido de arena y rocas (ROC) fue variable, donde BP>PS>BI>PH. Finalmente, las raíces totales y de árboles y arbustos (R-TOT y R-ARB) no cambió entre tratamientos, pero las raíces de hierbas y pastos aumentaron considerablemente en PH respecto de otros ambientes (BI>PS-BP).

Las ANDEVAs múltiples también mostraron diferencias significativas en la profundidad del suelo (Tabla 3). Se observó un aumento de la densidad efectiva (DS) y una disminución del carbono orgánico (C) al aumentar la profundidad. No se detectaron diferencias en HS, MOP y MOAM. La acidez (pH) fue mayor en la primera (0-10 cm) respecto a la segunda capa (10-20 cm), para luego aumentar en profundidad. El contenido de arena y rocas (ROC) también aumentó con la profundidad. Las raíces totales (R-TOT) fueron máximas en la primera capa (0-10 cm), pero presentó un segundo máximo entre 20-30 cm de profundidad. Esto fue por un comportamiento diferencial entre plantas forrajeras (R-FOR) y arbóreas (R-ARB), donde las primeras disminuyen después de la segunda capa (>20 cm profundidad). Las raíces de



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SESIÓN I

SESIÓN II

SESIÓN III

SESIÓN IV

ANEXOS

árboles y arbustos presentaron una doble distribución, ocupando la primera capa (0-10 cm) y posteriormente apareciendo con mayor frecuencia entre 20-30 cm. Asimismo, se observó la presencia de raíces en las capas más profundas para ambas categorías (R-ARB y R-FOR).

Las ANDEVAs múltiples también detectaron interacciones, debido a cambios en la pendiente de contenidos en el gradiente de las profundidades analizadas. Se observó un aumento de DS en profundidad, donde BI fue mayor que BP en todo el gradiente. Esto podría deberse a impactos generados por la cosecha. También es interesante observar que el mayor porcentaje de nitrógeno (N) observado en PH solo ocurrió en la primera capa (0-10 cm), posiblemente por el mayor contenido vegetal (ej. raíces) o potenciales aportes animales. Para el caso del contenido de fósforo (P), fue mayor en BI en todo el perfil del suelo, salvo entre 20-30 cm en BP, que fue donde se observó un aumento de raíces de árboles y arbustos (R-ARB).

**Tabla 3.** ANDEVAs de las características del suelo en un gradiente de profundidad para diferentes ambientes (BP = bosques primarios, BI = bosques intervenidos, PS = pastizales secos, PH = pastizales húmedos).

Factor	Variable	DS	HS	pH	C	MOP	MOAM	ROC	R-ARB	R-FOR	R-TOT
A: Ambiente	BP	1,04b	15,9a	4,6a	3,1a	80,6ab	19,4ab	14,2b	0,37	0,02a	0,39
	BI	1,23c	13,0a	5,1b	2,8a	83,7b	16,3a	6,4ab	0,43	0,10a	0,53
	PS	1,05bc	20,5a	5,3b	3,2a	77,1a	22,9b	12,6b	0,17	0,02a	0,19
	PH	0,40a	142,9b	4,9ab	18,8b	81,5ab	18,5ab	1,6a	0,20	0,71b	0,91
	F (p)	57,78 (<0,001)	64,15 (<0,001)	13,83 (<0,001)	86,56 (<0,001)	3,95 (0,013)	3,95 (0,013)	5,75 (0,001)	0,58 (0,627)	14,28 (<0,001)	2,43 (0,073)
B: Profundidad	0-10	0,65a	51,5	5,0ab	11,9c	83,3	16,7	2,9a	0,63b	0,78b	1,41b
	10-20	0,93b	46,2	4,7a	7,8b	79,5	20,5	3,2a	0,11a	0,13a	0,24a
	20-30	0,97b	48,1	4,9ab	6,6b	79,9	20,1	5,9a	0,61b	0,08a	0,69ab
	30-40	1,02b	51,1	5,0ab	6,3b	78,5	21,5	11,3ab	0,10a	0,04a	0,14a
	40-50	1,08b	43,4	5,2b	2,2a	82,6	17,4	20,2b	0,01a	0,03a	0,04a
	F (p)	9,81 (<0,001)	0,15 (0,964)	2,90 (0,030)	19,84 (<0,001)	1,44 (0,235)	1,44 (0,235)	7,15 (<0,001)	2,76 (0,035)	10,64 (<0,001)	6,70 (<0,001)
A x B	F (p)	0,98 (0,476)	0,17 (0,999)	3,69 (<0,001)	2,71 (0,006)	2,45 (0,012)	2,45 (0,013)	2,10 (0,030)	0,82 (0,634)	7,23 (<0,001)	2,35 (0,015)

F = test de Fisher, p = probabilidad, letras diferentes muestran diferencias según Tukey (p < 0,05).

El porcentaje de carbono orgánico (C) siguió un patrón esperable, disminuyendo a lo largo del perfil, mucho más abrupto en los bosques (BP-BI) y PS, que en PH, donde el contenido fue alto hasta las mayores profundidades (<40 cm). Las relaciones de MOP y MOAM presentaron diferentes patrones entre los ambientes estudiados. Por ejemplo, BI mantuvo una relación a lo largo del perfil, mientras que BP y PS disminuyeron MOP y aumentaron MOAM con la profundidad para luego volver a disminuir. En el



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SESIÓN I

SESIÓN II

SESIÓN III

SESIÓN IV

ANEXOS

caso de PH, aumentó el MOP y disminuyó MOAM en la segunda capa respecto de la primera y las últimas capas analizadas. Las arenas y rocas (ROC) aumentaron con la profundidad en la mayoría de los tratamientos (BP, BI, PS), mientras que en PH solo se observaron en superficie (0-10 cm). Finalmente, las raíces (R-ARB y R-FOR) siguieron el patrón antes descrito, evidenciando claramente un comportamiento diferencial entre los ambientes boscosos y los pastizales. Es interesante destacar que el máximo de R-ARB observado entre los 20-30 cm fue mayor en BI que en BP, aun cuando la cantidad de árboles en éste fue significativamente menor, evidenciando mayores sinergias positivas entre los diferentes componentes (ej. arbóreo y forrajero).

#### 4. Discusión

La implementación de los SSP en bosques de ñire se basa en intervenciones forestales (ej. raleos), que no solo aumentan el desarrollo del componente forrajero, sino que permiten multiplicar las tasas de crecimiento de los árboles individuales, fomentando la producción forestal con diferentes usos, incluso el maderero con destino al aserrado (Martínez Pastur *et. al.*, 2018). Estas intervenciones deben ser implementadas manteniendo la resiliencia de los bosques (Peri *et. al.*, 2022), de modo de no traspasar umbrales ecológicos (Peri *et. al.*, 2017) que lleven a la generación de ecosistemas híbridos o de novo en forma permanente. Se ha propuesto que la magnitud de las intervenciones debe considerar los regímenes hídricos a escala local o sus valores ecosistémicos y de biodiversidad (ej. Peri *et. al.*, 2016; Martínez Pastur *et. al.*, 2020). Cabe considerar que estas propuestas de manejo SSP no son rígidas, sino que se adecúan a las diferentes estrategias de producción de cada establecimiento agropecuario, debiendo tender a la diversificación de productos comerciales para aumentar la solidez comercial de los emprendimientos (Peri *et. al.*, 2022). Las intervenciones forestales requieren de la regeneración natural para asegurar la persistencia del dosel arbóreo en el tiempo (Soler *et. al.*, 2022). Es de esperar que la oferta de mayores recursos ambientales en los bosques intervenidos (ej. luz y precipitación efectiva), favorezcan la regeneración natural (por semilla o vegetativa). Sin embargo, en nuestros resultados fue significativamente menor que en los bosques primarios. Esto puede deberse a diversas sinergias negativas (ej. ramoneo y competencia con plantas introducidas) (Soler *et. al.*, 2013), debiendo en estos casos, asegurar la regeneración mediante acciones activas (ej. plantación asistida o protecciones temporarias) (Peri *et. al.*, 2016). Sin embargo, estas pérdidas no son las únicas que producen las intervenciones forestales en el marco de los SSP. Por ejemplo, estos estudios mostraron un aumento significativo en la densidad efectiva del suelo, que pueden aumentar los contenidos de nutrientes (peso/volumen), pero no necesariamente los



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SESIÓN I

SESIÓN II

SESIÓN III

SESIÓN IV

ANEXOS

porcentuales (ej. pérdidas en el porcentaje de C del suelo) (Martínez Pastur *et. al.*, 2021, 2022). Estos impactos pueden producir sinergias positivas a partir de la introducción de plantas que generan fijaciones o a partir de un aumento de las deposiciones de los animales en el suelo.

Nuestros resultados mostraron un efecto benéfico de los árboles y arbustos al analizar la distribución de las raíces en el perfil, donde se observó un incremento en capas profundas, y no solo en las superficiales, tal como ha sido informado por otros autores (Peri *et. al.*, 2008). Por el contrario, las hierbas y los pastos ocuparon perfiles superficiales en su mayoría, aunque en ambos casos algunas raíces arribaron a las capas más profundas. En el caso de los SSP se logró el mejor balance, ya que presentaron una mayor proporción de raíces del componente forrajero y de árboles respecto de los bosques sin intervención. Las raíces profundas permiten extraer agua y nutrientes de capas inferiores, y a partir de la descomposición de las hojas, llegar al componente forrajero. Por otra parte, pese a la mayor oferta forrajera de otros ambientes, no se observaron diferencias en el componente animal. Esto pone en evidencia la importancia de los bosques de ñire como ambientes adecuados para el uso ganadero, tanto intervenidos como no intervenidos, dentro de los paisajes productivos. El rol de protección y confort animal que es ofrecido por los árboles (Lemes *et. al.*, 2021), en general es subestimado y raramente evaluado en los SSP, debiendo ser mejor caracterizado para mejorar las propuestas de manejo ganadero en el paisaje y en el diseño de los potreros de los establecimientos agropecuarios. Otro aspecto que se pone en evidencia en nuestros resultados es la calidad del forraje en referencia a los bosques y los pastizales. Los bosques, tanto primarios como intervenidos, mantuvieron una alta palatabilidad del componente forrajero, comparable con los pastizales húmedos (PH), dado principalmente por el ensamble y diversidad de especies. Sin embargo, cabe destacar que los pastizales secos ofrecen un forraje de menor calidad, pero que está disponible en la época invernal. Finalmente, cabe destacar que los valores de biodiversidad fueron menores en los bosques intervenidos (BI) en comparación con el resto, que mantuvo su integridad ecológica. Este aspecto es la principal desventaja de los SSP, que deben ser evaluados y re-diseñados de modo de mantener niveles aceptables de biodiversidad para no perder la funcionalidad e identidad ecosistémica (Peri *et. al.*, 2022). Asimismo, la introducción de especies exóticas de mayor palatabilidad debe ser ejecutada bajo principios de precautoriedad (BI presentó una mayor proporción de cobertura de especies exóticas), sobre todo porque puede romper la resiliencia natural de estos ecosistemas, favoreciendo la invasión de especies no deseadas (ej. *Hieracium pilosella*) (Martínez Pastur *et. al.*, 2020).



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SESIÓN I

SESIÓN II

SESIÓN III

SESIÓN IV

ANEXOS

Los ambientes estudiados difirieron en la provisión de servicios ecosistémicos (tipo y magnitud), y variaron en sus valores asociados a la producción y la conservación. Entre ellos, se observó una resistencia diferencial frente a las invasiones de especies y otros agentes de degradación analizados (ej. presión ganadera). Asimismo, poseyeron valores diferenciales frente al reciclaje de nutrientes y características del suelo para enfrentar factores de cambio (ej. diferentes relaciones y contenidos de MOP y MOAM a lo largo del perfil) que los hace más resistentes, por ejemplo, frente a la erosión (Kumar *et. al.*, 2023). La implementación de los SSP promueve cambios en los bosques bajo una dinámica natural, generando un balance de pérdidas (componentes arbóreos y de biodiversidad) y ganancias (componentes ambientales y forrajeros) para ofrecer al componente animal una mejor oferta de recursos que permitan aumentar la productividad en cantidad y calidad, así como promover una diversificación de productos (ej. madera de calidad). En este sentido, los SSP promueven la generación de un nuevo ambiente productivo que se presenta como un intermedio entre los bosques y los pastizales, tal como lo reflejan los resultados obtenidos en este trabajo.

## 5. Conclusiones

Los SSP en Tierra del Fuego mejoran algunos de los indicadores productivos en relación con la calidad y cantidad del componente forrajero, generando cambios funcionales en el suelo que son benéficos y multiplican los beneficios ecosistémicos. Sin embargo, estos beneficios son resultantes de la pérdida de otros valores ecosistémicos y de conservación de la biodiversidad. Estas sinergias positivas y negativas pueden regularse mediante diferentes estrategias de manejo, de modo de reducir los impactos observados y de mantener la resiliencia ecosistémica. Asimismo, debe determinarse si los cambios a observados a lo largo de todo el perfil del suelo (0-50 cm) son reversibles o persistentes en el largo plazo. La implementación de SSP contribuye a incrementar la productividad de los bosques en términos monetarios (ej. carga animal) o no monetarios (ej. confort animal), combinando múltiples objetivos en un mismo potrero. Los resultados aquí presentados contribuyen a identificar indicadores de cada componente involucrado en los SSP, cuya medición permitiría establecer monitoreos efectivos, y a largo plazo, contribuir a la generación de estrategias de manejo adaptativas.

## Bibliografía

Kumar, G., Kurothe, R.S., Viswakarma, A.K., Mandal, D., Ranjan Sena, D., Mandal, U., Pande, V., Dinesh, D., 2023. Assessment of soil vulnerability to erosion in different land surface



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SESIÓN I

SESIÓN II

SESIÓN III

SESIÓN IV

ANEXOS

configurations and management practices under semi-arid monsoon climate. *Soil Till. Res.* 230, e105698.

Lemes, A.P., Garcia, A.R., Pezzopane, J., Zandonadi Brandão, F., Watanabe, Y., Fernandes Cooke, R., Sponchiado, M., Paro de Paz, C., Camplesi, A., Binelli, M., Gimenes, L., 2021. Silvopastoral system is an alternative to improve animal welfare and productive performance in meat production systems. *Sci. Rep.* 11, e14092.

López Mársico, L., Pestoni, S., Conti, G., Pérez Harguindeguy, N., Martínez Pastur, G., Pinto, P., Sarquis, A., Reyes, M., Peri, P.L., Piñeiro, G., 2020. Ojos que no ven... ¿qué podemos hacer para incluir más a la fracción subterránea en estudios de vegetación?. *Ecol. Austral* 30, 175-181.

Martínez Pastur, G., Soler, R., Lencinas, M.V., Cellini, J.M., Peri, P.L., 2018. Long-term monitoring of thinning for silvopastoral purposes in *Nothofagus antarctica* forests of Tierra del Fuego, Argentina. *For. Syst.* 27(1), e-01S.

Martínez Pastur, G., Rosas, Y.M., Cellini, J.M., Barrera, M.D., Toro Manríquez, M., Huertas Herrera, A., Favoretti, S., Lencinas, M.V., Peri, P.L., 2020. Conservation values of understory vascular plants in even- and uneven-aged *Nothofagus antarctica* forests. *Biodiv. Conserv.* 29(13), 3783-3805.

Martínez Pastur, G., Rosas, Y.M., Chaves, J., Cellini, J.M., Barrera, M.D., Favoretti, S., Lencinas, M.V., Peri, P.L., 2021. Changes in forest structure values along the natural cycle and different management strategies in *Nothofagus antarctica* forests. *For. Ecol. Manage.* 486, e118973.

Martínez Pastur, G., Cellini, J.M., Chaves, J., Rodríguez Souilla, J., Benítez, J., Rosas, Y.M., Soler, R., Lencinas, M.V., Peri, P.L., 2022. Changes in forest structure modify understory and livestock occurrence along the natural cycle and different management strategies in *Nothofagus antarctica* forests. *Agrofor. Syst.* 96, 1039-1052.

Peri, P.L., Gargaglione, V., Martínez Pastur, G., 2008. Above and belowground nutrients storage and biomass accumulation in marginal *Nothofagus antarctica* forests in Southern Patagonia. *For. Ecol. Manage.* 255(7), 2502-2511.

Peri, P.L., Bahamonde, H., Lencinas, M.V., Gargaglione, V., Soler, R., Ormaechea, S., Martínez Pastur, G., 2016. A review of silvopastoral systems in native forests of *Nothofagus antarctica* in southern Patagonia, Argentina. *Agrofor. Syst.* 90, 933-960.

Peri, P.L., López, D., Rusch, V., Rusch, G., Rosas, Y.M., Martínez Pastur, G., 2017. State and transition model approach in native forests of Southern Patagonia (Argentina): Linking ecosystemic services, thresholds and resilience. *Int. J. Biodiv. Sci. Ecosyst. Ser. Manage.* 13(2), 105-118.

Peri, P.L., Rosas, Y.M., López, D., Lencinas, M.V., Cavallero, L., Martínez Pastur, G., 2022. Management strategies for silvopastoral system in native forests. *Ecol. Austral* 32, 749-766.

Soler, R., Martínez Pastur, G., Peri, P.L., Lencinas, M.V., Pulido, F., 2013. Are silvopastoral systems compatible with forest regeneration? An integrative approach in southern Patagonia. *Agrofor. Syst.* 87(6), 1213-1227.

Soler, R., Lencinas, M.V., Martínez Pastur, G., Rosas, Y.M., Bustamante, G., Espelta, J.M., 2022. Forest regrowth in Tierra del Fuego, Southern Patagonia: Landscape drivers and effects on forest structure, soil, and understory attributes. *Reg. Environ. Change* 22, e46.