Capítulo 8
SISTEMAS SILVOPASTORALES CON CONÍFERAS DE ZONAS FRÍAS. REGION DE AYSÉN, CHILE

Alvaro Sotomayor[1], Ivan Moya[2], Jaime Salinas[2,]
Osvaldo Teuber[3], Bernardo Acuña[2]

RESUMEN

Se presenta en este capítulo un estudio que tuvo como objetivo evaluar la productividad de los suelos bajo sistemas silvopastorales en relación a un manejo ganadero tradicional sin árboles, y un sistema con manejo forestal con fines madereros en la comuna de Coyhaique, región de Aysén, Chile. Los sistemas silvopastorales están diseñados para proporcionar madera, forraje y producción animal. La especie forestal utilizada para este estudio fue *Pinus contorta Dougl. ex. Loud.*, introducida en Chile en la década de 1960, proveniente del hemisferio norte, Estados Unidos y Canadá, con un clima similar al de la región patagónica de Chile.

Se puede concluir mediante los resultados de este estudio que el establecimiento de árboles en arreglos silvopastorales, o manejo de plantaciones establecidas para reconversión a un sistema silvopastoral, permite el desarrollo productivo de las praderas, y por lo tanto la producción animal, y además pueden proporcionar madera tanto para fines industriales como para las necesidades de manejo predial y uso doméstico.

El factor que más influye en la productividad de la pradera y animal en los sistemas silvopastorales es la cobertura de copa, la cual redujo la velocidad del viento en un 200%. El uso de especies vegetales leñosas para la protección contra el viento en esta región demostró la importancia del uso de estos sistemas en la modificación de variables climáticas, especialmente viento y sensación térmica, en relación a áreas abiertas sin ningún tipo de protección arbórea.

Se determinó, mediante análisis de regresión de una variable, que existe una relación del 96% entre la cobertura de copa y la reducción del viento. Usando análisis de regresión de más de una variable, se pudo concluir que existe una positiva correlación entre la productividad animal y la interacción cobertura de copa*viento. Además, debido a la reducción del viento por los árboles en disposición de sistemas silvopastorales, propician la disminución de la erosión del suelo, que es un problema importante en la región patagónica de Chile.

Palabras clave: Sistema Silvopastoral – *Pinus contorta* – Cobertura de Copa - Viento

1 Instituto Forestal, Sede Biobío, Concepción, Chile. alvaro.sotomayor@infor.cl
2 Instituto Forestal (INFOR), Sede Patagonia, Coyhaique, Chile. imoya@infor.cl
3 Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Tamel Aike, Coyhaique, Chile.

SUMMARY

This chapter presents experiences with silvopastoral systems in the Aysén region, located in the extreme south of Chile. These systems can provide wood, fodder and animal production, by using cold-tolerant species like *Pinus contorta*, introduced in Chile since 1960, from areas of the northern hemisphere, with similar weather as the Patagonian Region of Chile, especially from the United States and Canada.

It is concluded that the establishment of trees, in silvopastoral systems, enables the improvement of prairies productivity, and therefore animal production, and can provide wood for industrial purposes and for farm needs.

The factor that most influenced increase in prairie productivity in silvopastoral systems is tree crown coverage, which reduced the wind speed by 200%. The use of trees stablished in silvopastoral arrangement in this region demonstrated the importance of these systems in farm properties, especially in open areas with any protection, in modifying climate variables such as wind, temperature, humidity and wind chill.

The use of trees for protection against the wind in this region showed the importance of using these systems in modifying climate variables such as wind and wind chill, in relation to open areas with any kind of tree protection.

It was determined by regression analysis of one variable that canopy cover accounts for a 95% of the reduction of wind in silvopastoral systems. Using regression analysis of more than one variable, it was concluded that there is a positive correlation between animal productivity with crown cover*wind interaction. In addition, due to the reduction of wind by the trees in silvopastoral systems arrangement would reduce soil erosion which is a major problem in the Patagonian region of Chile.

Key words: Silvopastoral system, *Pinus contorta,* Canopy, Wind

INTRODUCCIÓN

El principal uso de los suelos agrícolas de la Patagonia chilena, que incluye las regiones de Aysén y Magallanes, son las praderas naturales destinadas al uso ganadero extensivo. En la región de Aysén un 88,7% de la superficie agrícola es utilizada con fines ganaderos y el 56,5% de esta superficie usada con fines ganaderos pertenece a grandes propietarios (INE, 1997).

El otro gran uso es el forestal, la región posee la mayor superficie nacional de bosque nativo en Chile, con 4,8 millones de hectáreas, contrastando con una de las menores superficies de plantaciones del país, con solo 43 mil hectáreas (INFOR 2013).

Las bajas tasas de forestación se deben a la poca aceptación de los ganaderos a actividades de forestación tradicional, ya que usualmente ellos perciben una competencia de estas con sus usos productivos agropecuarios tradicionales, y a la escasa actividad industrial forestal en esta región. Esta visión de los productores ganaderos es similar a lo que ocurre en otras regiones del mundo (Arnold, 1983).

El cambio de percepción y actitud de los productores ganaderos de esta región, frente a la reintroducción de árboles en sus predios, en una forma complementaria a la ganadería, es un proceso lento, dado que el manejo de los recursos agrícolas y de suelos está firmemente arraigado en el sistema cultural y productivo de los agricultores (Arnold, 1983; Longhurst, 1983; Sotomayor, 1989)

La superficie cubierta con praderas extensivas en la región, está en su gran mayoría desprovista de vegetación arbórea, claramente sujeta a procesos erosivos y alcanza a una superficie de 4,9 millones de hectáreas (Teuber y Gandertaz, 2009), la cual equivale al 37,1% de la superficie regional. La erosión en Aysén es de carácter grave, no solo por su intensidad, sino también por el grado generalizado en que dicho proceso está abarcando la región (CIREN, 2010).

Sobre estos suelos y praderas se realiza una ganadería extensiva con baja productividad, debido fundamentalmente a limitaciones climáticas, como las bajas temperaturas invernales y la incidencia de fuertes vientos durante la primavera y verano.

En efecto, el viento es una de las causas principales de la erosión de los suelos y de la baja productividad animal en las regiones patagónicas de Chile, lo cual puede ser solucionado mediante el uso de cortinas cortavientos forestales o sistemas silvopastorales (Sotomayor *et al*., 2009).

Además, otra práctica tradicional de uso ganadero es la introducción de animales en los bosques nativos, principalmente de especies del genero *Nothofagus*, lo cual origina una degradación de estos al impedir su regeneración natural debido al ramoneo por lo animales (Larraín *et al*., 2007)

El uso de sistemas silvopastorales, es una práctica que han estado estudiando desde el año 2002 el Instituto Forestal (INFOR) y el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), ambas instituciones de investigación pertenecientes al Ministerio de Agricultura, para reintroducir el árbol en una forma amigable con los sistemas productivos ganaderos y con la cultura productiva de los propietarios en la Patagonia.

De esta forma, se espera entregar una nueva forma de manejo productivo de los suelos, para mejorar la productividad de estos, reducir el nivel de erosión de los suelos, y protegerlos del factor erosivo más importante en esa región, que es el viento (Sotomayor, 2010; Teuber y Ganderatz, 2009).

Se presentan en este capítulo experiencias de sistemas silvopastorales con coníferas adaptadas a zonas frías de la Patagonia chilena. Los resultados, después de 12 temporadas de evaluación, demuestran que la introducción de árboles establecidos bajo ordenamiento silvopastoral es factible, ayudando al mejoramiento productivo de la pradera y la producción animal, reduciendo significativamente la velocidad del viento, que es el principal agente de erosión de los suelos y de la baja productividad ganadera de la región.

El uso de bosque nativo con fines silvopastorales también es factible, cuando se conjugan adecuadamente los objetivos de sustentabilidad del bosque y producción animal, lo cual se expone en otros capítulos de este libro.

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar la productividad de los suelos bajo sistemas silvopastorales con *Pinus contorta* en relación a un manejo ganadero sin árboles y a un manejo forestal, en la comuna de Coyhaique, región de Aysén, Chile.

Objetivos Específicos

Analizar el comportamiento de las variables dasométricas en plantaciones de *Pinus contorta*, bajo manejo forestal y silvopastoral.

Comparar la productividad de una pradera natural mejorada, bajo la influencia de manejo silvopastoral con la especie *Pinus contorta*, en relación a una situación de manejo ganadero sin árboles.

Comparar la productividad animal con bovinos, bajo la influencia de un manejo silvopastoral con la especie *Pinus contorta*, en relación a una situación de manejo ganadero sin árboles.

Evaluar el efecto de los árboles manejados bajo ordenación silvopastoral en los parámetros climáticos, en relación a una situación de manejo ganadero sin árboles.

Analizar la fertilidad de los suelos bajo el efecto de tratamientos silvopastorales y ganadero.

MATERIAL Y MÉTODO

Ubicación de los Ensayos

Entre los años 2003 y 2004 se diseñó un estudio para evaluar la factibilidad de funcionamiento de los sistemas silvopastorales en la región de Aysén, Chile. Los ensayos fueron instalados en la Unidad Agroforestal San Gabriel, ubicada 30 km al norte de la ciudad de Coyhaique, a un altura sobre el nivel del mar de 650 m, LS 45°25´55´´ y LW 72°00´41´´, incluyendo sistemas silvopastorales que se compararon en términos de productividad con dos tratamientos testigos; sistema forestal manejado con fines madereros y sistema ganadero sin árboles.

Diseño Experimental

Los sistemas silvopastorales y el sistema forestal se instalaron en una plantación de *Pinus contorta*, de 12 años de edad, que al momento de intervención tenía 1.514 árb ha^{-1}; el sistema ganadero se instaló en un terreno con pradera sin árboles, colindante con los sistemas silvopastorales y forestal (Figura N° 1). Además, se evaluó el efecto de los árboles bajo manejo silvopastoral sobre algunos parámetros climáticos, utilizando estaciones climáticas que midieron temperatura del aire, velocidad del viento, precipitación, humedad, y *wind chill*, y la fertilidad de los suelos.

Se establecieron cuatro tratamientos en la Unidad Agroforestal San Gabriel, donde los tratamientos forestales y silvopastorales se instalaron en una plantación de *Pinus contorta* con densidad promedio de 1.514 arb $ha^{-1:}$

T1: Tratamiento forestal manejado (TF). Se rebajó la densidad inicial a 800 arb ha^{-1} mediante raleo y se podó a 1,97 m de altura, bajo la premisa de podar no más del 40% de la copa para no afectar su desarrollo.

T2: Sistema silvopastoral tradicional (SST): Se raleó a 400 arb ha^{-1}, dejando los arboles residuales homogéneamente distribuidos en el terreno y podados a 2,01 m.

T3: Sistema silvopastoral en fajas alternas (SSF). Se raleó a 400 arb ha^{-1} (Figura N° 1), dejando los árboles residuales dispuestos en tres líneas de plantación en curvas a nivel, espaciadas a 21 m entre estas, con árboles podados a 2,09 m.

T4: Sistema ganadero (SG). Terreno cubierto con pradera natural y sin árboles.



Figura N° 1
SISTEMA SILVOPASTORAL TRADICIONAL (IZQ), SISTEMA SILVOPASTORAL EN FAJAS (CENTRO) Y SISTEMA GANADERO (DER)

Durante el otoño del año 2009 se realizó poda en los tres tratamientos con presencia de árboles a una altura media de 2,91 m para TF, 3,28 para SST y 3,13 para SSF. El año 2013, los tratamientos nuevamente fueron manejados mediante raleo y poda, quedando TF, SST y SSF con una densidad de 583; 245 y 341 arb ha^{-1}, respectivamente, y altura media de poda de 4,9; 4,7 y 4,7 m, respectivamente.

En los tratamientos T2 - T3 - T4, se manejó la pradera natural. compuesta principalmente por trébol blanco (*Trifolium repens* L.), pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.) y otras gramíneas de menor importancia forrajera, con fertilizaciones anuales de acuerdo a análisis de suelos realizados a inicios de cada temporada. En la primavera del año 2004 se aplicaron 16 unidades de nitrógeno, 30 unidades de magnesio (MgO), 24 unidades de azufre (SO4) y 55 unidades de azufre (S) por hectárea, y posteriormente se fertilizó con productos en base a NPK y S, de acuerdo al análisis químico del suelo realizado anualmente.

- Evaluación de Parámetros Forestales

Para la evaluación de los parámetros forestales en los sistemas silvopastorales, se utilizó un diseño de tres parcelas permanentes rectangulares de 1.008 m^2 (24 x 42 m), y en TF parcelas rectangulares de 200 m^2, distribuidas al azar dentro de los tratamientos, donde se midió altura total (H), diámetro a la altura del pecho (DAP), cobertura de copa (CC), y Área Basal (AB).

Para el análisis estadístico, se trabajó con Modelos Estadísticos Lineales Mixtos, para atender la falta de algún(os) de los supuestos clásicos que requiere un análisis de varianza tradicional; los datos deben presentar una distribución normal, independencia y heterogeneidad de varianza.

Para el análisis de las variables forestales se realizó un análisis longitudinal, evaluándose tratamiento, tiempo y la interacción tratamiento*tiempo. El modelo de varianza utilizado para analizar las variables forestales, pratenses y animales, corresponde a:

Modelo 1. $\mathbf{Y =} \mu + T + t + (T * t) + E$

Donde : μ = Constante,
T = Tratamiento,
t = Tiempo
E = Error.

Para el análisis estadístico de las variables forestales, se probaron cuatro modelos que ajustan varianzas heterogéneas: Modelo heterocedástico (ARH (1)), de Simetría Compuesta (CS), de Simetría Compuesta Heterocedástica (CSH), y Modelo no Estructurado (UN). Los cuatro modelos alcanzaron los criterios de convergencia requeridos por SAS.

Para seleccionar el mejor modelo para cada variable, se utilizó el criterio de información de Akaike:

$$\text{Índice AIC} = -2\log(MV) + 2n\,(p+q+1)/(n-(p+q)-2)$$

Dónde:
MV: Máxima verosimilitud

q: número de parámetros de la estructura de covarianza

p: rango de la matriz de diseño x

n: número de observaciones.

En este criterio, a menor valor, mejor será el ajuste (Carrero *et al*., 2008). Para la evaluación estadística de los parámetros forestales, se utilizó el procedimiento PROC MIXED de SAS versión 9.3 (SAS Institute, 2003) y para la comparación entre tratamientos se utilizó el ajuste de LSMEANS de SAS.

- Productividad de la Pradera

La evaluación de la productividad de la pradera efectuó a través de un diseño de parcelas distribuidas al azar, modificando su ubicación cada año. Se utilizaron 7 jaulas de exclusión de 0,5 m^2 para cada tratamiento, donde se evaluó la pradera en materia seca por hectárea (kg ha^{-1}

de MS). La materia seca consiste en el material generado por el secado del material pratense verde cortado en las jaulas de evaluación y secado a 60ºC en horno de secado hasta peso constante. Las evaluaciones para determinar la curva de crecimiento de la pradera en materia seca, consistieron en la toma de muestras seriadas, cada 30 días, entre diciembre y abril-mayo de cada temporada, según evaluación de la pradera, pesándose también para determinar peso en verde.

Los resultados de los estudios de producción pratense y animal fueron analizados estadísticamente a través de análisis de varianza, para comparar los promedios, y la prueba de hipótesis específica utilizada fue LSD (*Least Significant Dif*ference), con un nivel de significancia del 5 %, utilizando la Herramienta estadística INFOSTAT ©.

- Productividad Ganadera

Para la medición de la producción ganadera dentro de los tratamientos T2-SST, T3-SSF y T4-SG, se utilizaron animales vacunos criollos (diferentes cruzas de razas híbridas, en base principalmente a las razas Hereford, Angus, overo colorado y Holstein, adaptados a la zona). Se utilizó un sistema de engorda animal, los cuales fueron ingresados en el mes de diciembre de cada año, y retirados en otoño (abril-mayo), según la condición de la pradera. Se usaron vacunos de 300 - 350 kg para engorda en el periodo y cada animal fue identificado con un crotal (plástico numerado) ubicado en la oreja, y pintado en el lomo con diferente color. Estos vacunos se pesaron al inicio de la temporada y luego cada 30 días, y al final de la temporada.

- Parámetros Climáticos

Se instalaron tres estaciones climáticas durante el año 2007, en los tratamientos SST, SSF y SG. Las estaciones fueron ubicadas en lugares representativos, a igual altitud y un distanciamiento medio entre árboles o fajas de árboles para los tratamientos silvopastorales; para SST fue de 2,5 m y para SSF de 10,5 m. Estas estaciones contaron con un computador, que registró los antecedentes cada media hora, y con un sistema de panel solar para cargar las baterías que dan la energía a la estación. Durante el periodo de crecimiento vegetativo de la temporada de 2007 (enero a diciembre) y parte del año 2008 (enero a junio), se midieron temperatura del aire (t), velocidad del viento (vv), humedad relativa (HR), precipitación (pp), e indirectamente *wind chill*.

- Fertilidad de Suelo

Para analizar la fertilidad de los suelos en los tratamientos silvopastorales y ganadero se realizó anualmente, en los años 2004, 2005, 2007 y 2008, un análisis de suelo para así determinar los requerimientos de fertilizantes a aplicar para el manejo de las praderas. Para ello se tomaron cuatro muestras de suelos en T4, distribuidas al azar cada año, y tres muestras para T2 y T3. Se extrajeron muestras con barreno, entre los 0,0 y 7,5 cm, que es donde se concentra el 90% de las raíces de los pastos presentes.

El análisis de suelos se realizó en el laboratorio de suelos en el Centro Regional de Investigación (CRI) Tamel-Aike, en Coyhaique, del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), dependiente del Ministerio de Agricultura de Chile.

Para el análisis de cada uno de los nutrientes evaluados, se realizó un análisis de

mediciones anuales, con calicatas ubicadas en lugares diferentes y al azar cada año. Estas mediciones son independientes unas de otras, lo que origina cumplimiento de la independencia de datos (las mediciones del año 2 no dependen de las mediciones del año 1 y así sucesivamente), dado lo cual se usó un análisis de varianza tradicional.

RESULTADOS

Evaluación de los Parámetros Forestales

Para el análisis de las variables DAP, AB, H y CC, se realizó un análisis de mediciones repetidas en el tiempo, o también conocido como análisis longitudinal, y los resultados se presentan en el Cuadro N° 1.

Para analizar el parámetro DAP se evaluaron diversos modelos y el modelo no estructurado (UN) alcanzó los valores más bajos para el índice de AIC. En los Cuadros N° 1 y N° 2 se observa que todos los efectos testeados (tiempo, tratamiento e interacción tiempo*tratamiento) son significativos en la respuesta en DAP.

Cuadro N° 1
RESULTADOS DE DIÁMETRO A LA ALTURA DEL PECHO (DAP) Y ALTURA TOTAL (H) EN TRATAMIENTOS SILVOPASTORALES Y FORESTAL CON *Pinus contorta* 2004 A 2015

Año	DAP (cm)			H (m)		
	T1 F ± EE	T2 SST ± EE	T3 SSF ± EE	T1 F ± EE	T2 SST ± EE	T3 SSF ± EE
2004	12,7 ± 0,4	12,9 ± 0,3	13.0 ± 0,4	5,3 ± 0,1	6,0 ± 0,1	5,6 ± 0,1
2005	13,6 ± 0,5	14,2 ± 0,3	14,1 ± 0,5	5,7 ± 0,1	6,4 ± 0,1	6,1 ± 0,1
2006	14,8 ± 0,5	16,0 ± 0,3	15,6 ± 0,5	6,1 ± 0,1	6,8 ± 0,1	6,5 ± 0,1
2007	16,0 ± 0,4	17,8 ± 0,2	17,1 ± 0,5	6,6 ± 0,1	7,2 ± 0,1	7,0 ± 0,1
2008	16,9 ± 0,4	19,1 ± 0,3	18,0 ± 0,4	7,0 ± 0,1	7,6 ± 0,1	7,5 ± 0,1
2009	17,1 ± 0,4	19,7 ± 0,3	18,4 ± 0,5	7,4 ± 0,1	8,1 ± 0,2	8,0 ± 0,1
2010	18,1 ± 0,4	20,8 ± 0,3	19,8 ± 0,7	7,8 ± 0,1	8,5 ± 0,2	8,4 ± 0,2
2011	18,8 ± 0,4	21,9 ± 0,4	20,7 ± 0,8	8,3 ± 0,2	8,9 ± 0,2	8,9 ± 0,1
2012	19,5 ± 0,4	22,6 ± 0,4	21,5 ± 0,8	8,8 ± 0,1	9,4 ± 0,2	9,2 ± 0,1
2013	20,5 ± 0,3	24,3 ± 0,3	22,4 ± 0,7	9,4 ± 0,0	10,1 ± 0,3	9,7 ± 0,2
2014	21,2 ± 0,4	25,3 ± 0,3	23,1 ± 0,8	9,7 ± 0,1	10,8 ± 0,4	10,1 ± 0,2
2015	21,8 ± 0,3	26,1 ± 0,2	23,6 ± 0,8	10,5 ± 0,3	11,3 ± 0,4	11,1 ± 0,2

EE: Error estándar

El tratamiento SST presenta un valor superior para el DAP respecto de los tratamientos SSF y TF a través del tiempo. Entre el tratamiento silvopastoral tradicional y el forestal, se presentan diferencias significativas a partir del año 2007 hasta el año 2015, y entre el tratamiento silvopastoral en fajas y el forestal, no se presentaron diferencias hasta el año 2010 donde se comenzaron a observar diferencias en el tiempo.

Cuadro N° 2
ANÁLISIS DAP CON MODELO NO ESTRUCTURADO (UN)

Efecto	DF	GL	F-Valor	Pr>F
Tiempo	11	273	524,98	<,0001
Tratamiento	2	275	13,19	<,0001
Tiempo*Tratamiento	22	274	11,01	<,0001

Se observa claramente la tendencia que a medida que aumenta la edad, se obtienen mayores diferencias en DAP en los tratamientos silvopastorales con respecto a tratamiento forestal, producto de la menor densidad (Figura N° 2) (Sotomayor *et al.,* 2010).

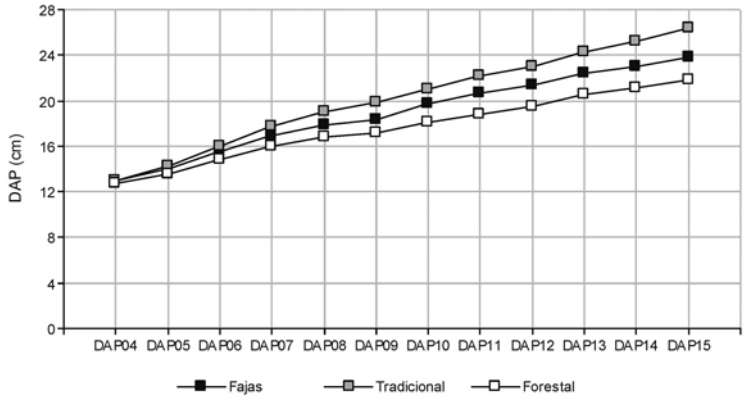


Figura N° 2
EVOLUCIÓN DEL DAP EN EL TIEMPO TRATAMIENTOS SILVOPASTORALES EN FAJA Y TRADICIONAL EN RELACIÓN A TRATAMIENTO FORESTAL

Para la altura (H), se utilizó para su análisis el modelo no estructurado (UN), dado que fue el que alcanzó los valores más bajos para el índice de AIC. Se observa que todos los efectos testeados (tiempo, tratamiento e interacción tiempo*tratamiento) son significativos en la respuesta generada por la variable altura, siendo el tratamiento T2-SST el que presenta un valor superior para altura respecto al tratamiento en fajas y forestal a través del tiempo, y no se presentan diferencias entre T1-SF y T3-SSF (Cuadro N° 1 y Figura N° 3).

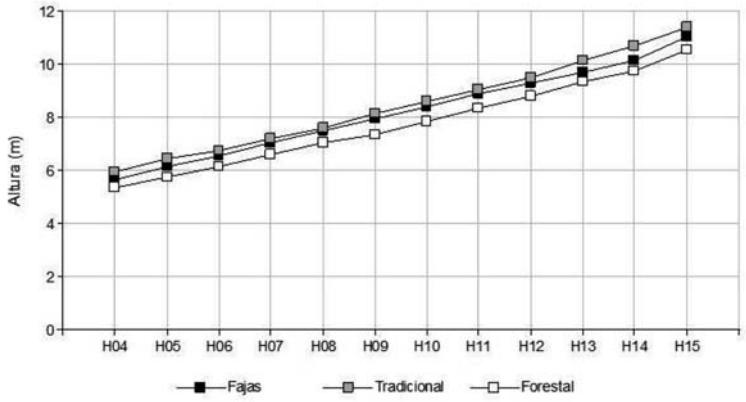


Figura N° 3
EVOLUCIÓN DE H EN EL TIEMPO TRATAMIENTOS SILVOPASTORALES EN FAJA Y TRADICIONAL EN RELACIÓN A TRATAMIENTO FORESTAL

Si bien al inicio del estudio, no se presentaron diferencias entre tratamientos para la variable altura, la mayor tasa de selección de los arboles remanentes y el raleo del año 2013, donde se dejaron los mejores árboles en cuanto a calidad y vigor, ha influenciado en un mayor valor para el tratamiento silvopastoral tradicional. ($m^2\,ha^{-1}$)

Cuadro N° 3
RESULTADOS DE ÁREA BASAL (AB) Y COBERTURA DE COPAS (CC) EN TRATAMIENTOS SILVOPASTORALES Y FORESTAL CON *Pinus contorta*
2004 A 2015

Año	AB ($m^2\,ha^{-1}$)			CC (%)		
	T1 F ± EE	T2 SST ± EE	T3 SSF ± EE	T1 F ± EE	T2 SST ± EE	T3 SSF ± EE
2004	10,6 ± 0,9	4,8 ± 0,3	5,4 ± 0,4	26,9 ± 1,8	14,5 ± 1,1	24,2 ± 0,2
2005	12,0 ± 1,0	5,8 ± 0,3	6,4 ± 0,4			
2006	14,2 ± 1,1	7,3 ± 0,4	8,3 ± 0,5	36,0 ± 1,6	21,7 ± 2,4	27,1 ± 0,5
2007	16,6 ± 1,1	9,1 ± 0,5	9,9 ± 0,5	55,1 ± 2.9	31,1 ± 1,7	28,9 ± 0,5
2008	18,3 ± 1,3	10,3 ± 0,5	11,0 ± 0,6	60,2 ± 2,5	32,2 ± 2,5	30,7 ± 0,6
2009	19,1 ± 1,1	10,9 ± 0,5	10,8 ± 0,5	44,1 ± 3,4	23,0 ± 2,5	27,6 ± 0,4
2010	21,4 ± 1,2	12,5 ± 0,6	12,5 ± 0,7	62,7 ± 5,1	33,8 ± 2,2	30,2 ± 0,7
2011	23,0 ± 1,3	13,9 ± 0,7	13,7 ± 0,6	89,4 ± 8,1	52,0 ± 5,2	34,7 ± 0,2
2012	24,8 ± 1,3	14,9 ± 0,5	14,8 ± 0,7	111,2 ± 8,5	62,8 ± 1,5	35,4 ± 0,3
2013	19,6 ± 2,3	11,5 ± 0,6	13,8 ± 1,1	30,1 ± 1,4	22,9 ± 0,6	25,2 ± 2,3
2014	20,8 ± 2,5	12,5 ± 0,8	14,5 ± 1,1	45,7 ± 0,8	28,7 ± 3,1	29,0 ± 1,4
2015	22,8 ± 2,2	13,3 ± 0,9	15,2 ± 1,2	59,6 ± 6,3	41,6 ± 5,8	32,5 ± 2,5

EE: Error estándar

Para AB, durante todos los años de evaluación existen diferencias significativas en relación a la interacción tratamiento*tiempo entre el tratamiento forestal en relación a los tratamientos silvopastorales, producto del mayor número de árboles por unidad de superficie del tratamiento forestal (Cuadros N° 3 y N° 4).

Cuadro N° 4
ANÁLISIS AB CON MODELO HETEROCEDÁSTICO (ARH (1))

Efecto	DF	GL	F-Valor	Pr>F
Tiempo	11	23,10	330,57	<,0001
Tratamiento	2	5,83	17,98	0,0032
Tiempo*Tratamiento	22	23,10	10,60	<,0001

El tratamiento forestal es el que presenta un valor superior para el AB respecto al tratamiento en fajas y tradicional, los cuales no difieren entre ellos, a través del tiempo (Figura N° 4). Se puede apreciar en la figura la disminución del AB producto de poda realizada el año 2009 y raleo efectuado el año 2013, y su recuperación a partir del año 2014.

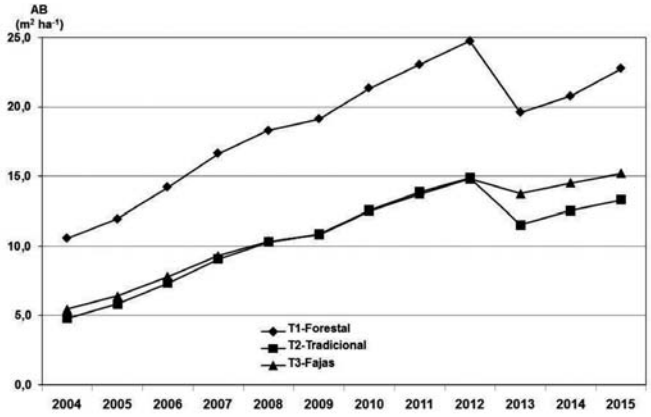


Figura N° 4
EVOLUCIÓN DEL AB EN EL TIEMPO POR TRATAMIENTO Y AÑO

Para analizar el parámetro CC (%), el modelo de Simétrica Compuesta Heterocedástica (CSH) es el que alcanzó los valores más bajos para el índice de AIC. Para cobertura de copa, se observa que para los efectos testeados (tratamiento, tiempo y tratamiento*tiempo) son significativos en la respuesta generada por la variable CC (%), existiendo diferencias significativas entre el tratamiento T1-Forestal respecto a SST y SSF, producto de la mayor densidad en el primero, y no se presentaron diferencias en el tiempo entre SSF y SST en el tiempo (Figura N° 5).

Se puede observar la reducción de la cobertura de copa en los tres tratamientos en el año 2009 producto de la poda realizada dicho año: En el año 2013 se observa la fuerte reducción de esta variable producto de la poda y raleo realizado con el fin de disminuir la cobertura de copa que afecta el desarrollo de la pradera y la competencia entre los árboles que ha originado una reducción del ICA (incremento corriente anual).

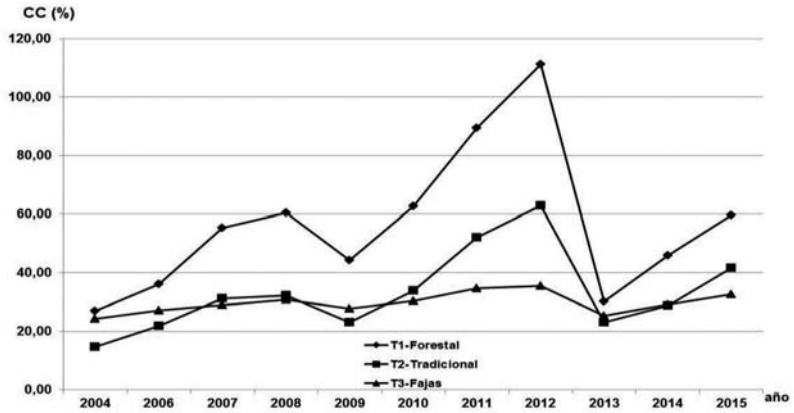


Figura N° 5
EVOLUCIÓN DE CC EN EL TIEMPO POR TRATAMIENTO Y AÑO

Evaluación de la Pradera

En la primera temporada de producción de la pradera no hubo diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Durante la segunda temporada, los dos tratamientos silvopastorales, y especialmente el tratamiento T3-SSF, comenzaron a mostrar una mayor productividad, con diferencias significativas en relación al ganadero.

Para las temporadas de evaluación 2006-2007 a 2007-2008, el tratamiento SSF mostró una mayor producción de la pradera, con diferencias significativas en relación a los otros dos tratamientos evaluados, y entre T2 y T4 no hubo diferencias significativas para dichas temporadas (Cuadro N° 5).

Cuadro N° 5
PRODUCCIÓN DE LA PRADERA POR TEMPORADAS DE CRECIMIENTO 2004-2005 A 2009-2010 POR TRATAMIENTO

Tratamiento	2004 - 2005	2005 - 2006	2006 - 2007	2007 - 2008	2008 - 2009	2009 - 2010
	(kg ha^{-1} MS ± EE)					
T2 SST	1.485,7 a ± 229	6.109,7 a ± 846	4.153,2 b ± 708	4.330,9 ab ± 465	3.423,6 b ± 432	3.382,2 b ± 116
T3 SSF	2.684,9 a ± 381	7.181,6 a ± 470	6.394,5 a ± 602	5.359,7 a ± 313	5.835,7 a ± 484	4.756,1 a ± 181
T4 SG	2.452,1 a ± 435	3.832,1 b ± 591	3.874,1 b ± 472	3.513,6 b ± 470	4.410,4 ab ± 597	3.847,0 b ± 230
Producción Media	2.207,6	5.707,8	4.807,3	4.401,4	4.556,6	3.995,1

*Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

En las temporadas 2008-2009 a 2009-2010, el tratamiento T3-SSF continúo con una mayor producción en relación a los otros tratamientos, y el tratamiento T2-SST fue afectado por el sombreamiento de las copas sobre la pradera, afectando la producción pratense, no encontrándose diferencias significativas entre T2 y T4.

Dado el decrecimiento de la producción en T2, se decidió podar ambos tratamientos

silvopastorales en el otoño del año 2009, para disminuir la cobertura de copa, no observándose la respuesta en la misma temporada de evaluación.

En general, la mejor producción en todas las temporadas fue para el tratamiento SSF. La peor temporada de producción fue el primer periodo de evaluación, 2004-2005, para los tres tratamientos, debido a que fue el primer año de producción después de la apertura del dosel en los tratamientos silvopastorales y la fertilización de la pradera.

La mejor fue la segunda temporada de evaluación, producto de las mismas razones expuestas, fertilización y reducción de cobertura de copa.

Evaluación Productividad Animal

En el Cuadro N° 6 se exponen los resultados de productividad animal y en ellos se observa que el efecto tiempo es significativo para la variable peso vivo, y no existen diferencias significativas para los tratamientos entre las temporadas 2004-2005 a 2006-2007. En la temporada 2007-2008 no existieron diferencias entre los tratamientos silvopastorales y tampoco entre T2-SST y T4-SG, pero si entre T3-SSF y T4-SG, con una mayor producción para el tratamiento en fajas.

En las dos siguientes temporadas no hubo diferencias entre T3-SSF y T4-SG, observándose la reducción en producción en el tratamiento silvopastoral tradicional, debido a la disminución en producción de la pradera producto del sombreamiento producido por las copas de los árboles en SSF.

Cuadro N° 6
PRODUCTIVIDAD ANIMAL GANANCIA EN PESO VIVO POR HECTÁREA SEGÚN TRATAMIENTO TEMPORADAS 2004 - 2005 A 2009 - 2010 Y TOTAL 2004 – 2010

Tratamiento	2004 - 2005	2005 - 2006	2006 - 2007	2007 - 2008	2008 - 2009	2009 - 2010	2004 - 2010
	(kg ha^{-1} ± EE)						(kg ha^{-1})
T2 SST	113,8 a ± 5,4	238,6 a ± 12	305,8 a ± 20,0	158,9 ab ± 5,2	80,7 b ± 11,5	228,5 b ± 10,4	1.126,3
T3 SSF	110,2 a ± 6,4	255,7 a ± 9,4	317,8 a ± 11,5	172,3 a ± 5,6	136,2 a ± 16,1	296,4 a ± 13,7	1.239,3
T4 SG	95,8 a ± 4,8	227,9 a ± 7,1	348,4 a ± 17,9	144,4 b ± 8,2	159,8 a ± 7,7	258,5 ab ± 14,9	1.191,7
Producción Media	106,6	240,7	324,0	158,5	125,6	230,3	1.185,7

*Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)
(Fuente: Sotomayor et al., 2011)

Respecto al efecto tiempo, se presentaron diferencias entre todas las temporadas de evaluación, siendo la temporada 2006-2007 la de mejor producción, y la de menor producción la primera temporada de evaluación 2004-2005. La producción total entre 2004 y 2010 fue superior en SSF, siendo similar entre SST y SG.

Evaluación Parámetros Climáticos

- **Velocidad Media y Media Máxima del Viento y *Windchill***

Las velocidades medias del viento, fueron mayores en el tratamiento ganadero (T4) en relación a los tratamientos silvopastorales (Figura N° 6a). También se observa que las velocidades

del viento son mayores en primavera-verano (agosto-diciembre) que en invierno (abril-julio), con una mayor diferencia en este periodo entre el tratamiento ganadero en relación a los tratamientos silvopastorales.

Las diferencias en velocidad media del viento para el mes de mayor valor obtenido, octubre de 2007, entre el tratamiento ganadero y silvopastoral en fajas, alcanzó a los 9,6 km h^{-1} a favor del ganadero.

En verano, enero de 2008, las diferencias entre el ganadero y en fajas fue de 7,3 km h^{-1} mayor para el primero, y con respecto a SST, de 8,3 km h^{-1}.

La información generada también indica que en el tratamiento T2-SST la velocidad del viento es inferior a T3-SSF, ya que el primero tiene una distribución más uniforme de los árboles en el sitio, por lo que intercepta más el viento que el tratamiento SSF, donde la distancia entre fajas de árboles es de 21 m (Sotomayor y Teuber, 2011; Sotomayor *et. al,* 2016).

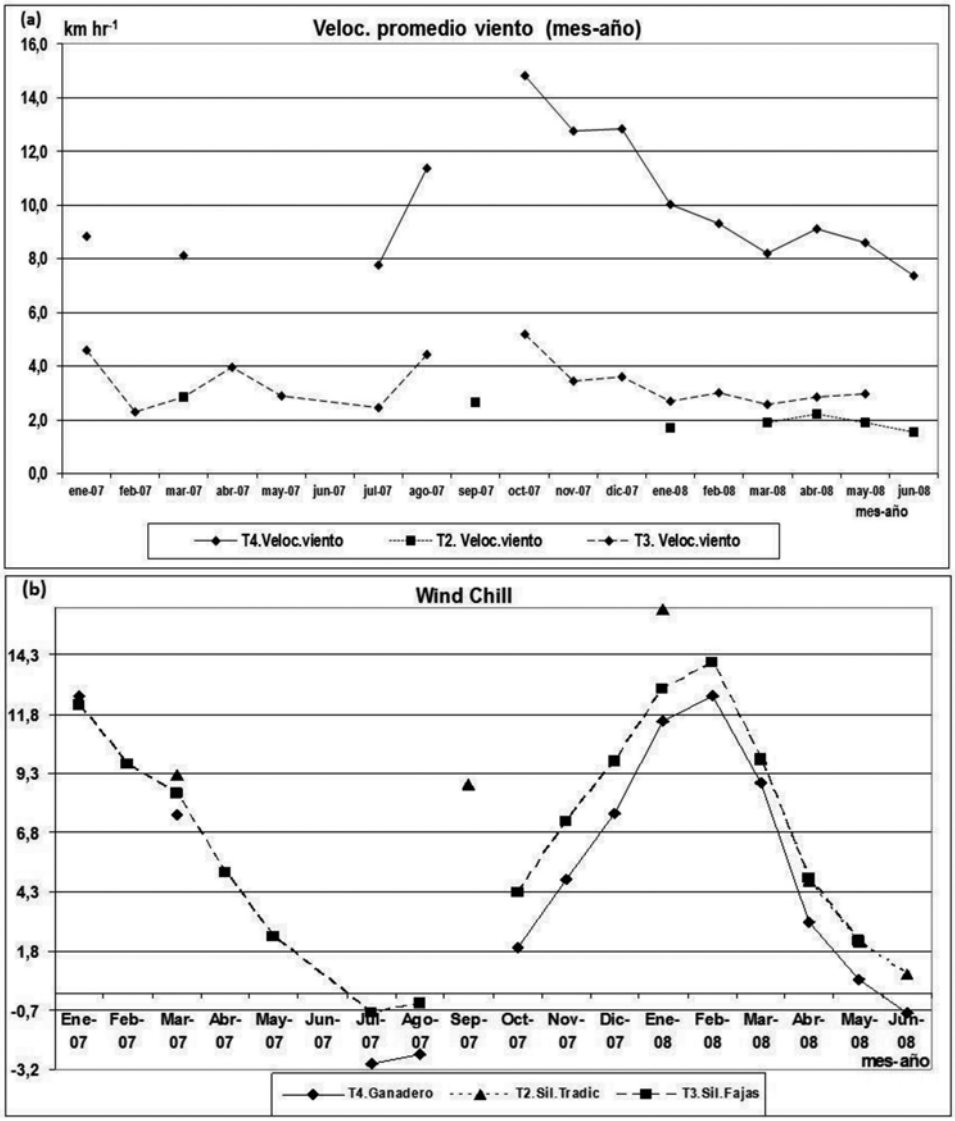


Figura N° 6
VELOCIDAD VIENTO *Y WINDCHILL* PROMEDIOS POR TRATAMIENTO
ENERO 2007 A JUNIO 2008

En relación a la velocidad máxima media, las mayores velocidades de los vientos comienzan a incrementarse a partir del mes de agosto (fin de invierno) hasta el mes de abril (principios de otoño).

El sistema ganadero es el que presentó las mayores velocidades máximas medias, con 29,2 km h^{-1} en el mes de octubre. Para ese mismo mes, el tratamiento SSF registró 18,2 km h^{-1}, y en SST se registraron velocidades levemente inferiores a los 10 km h^{-1}.

Para *wind chill*, los menores valores se presentaron en el tratamiento ganadero (T4-SG) y los mayores valores, con resultados similares, en los tratamientos silvopastorales (T2-SST y T3-SSF) (Figura N° 6b). Este valor es importante para el manejo animal, ya que los animales deben utilizar más energía para regular la temperatura corporal (Quam y Johnson, 1999) lo cual hace disminuir la alimentación y hay una consecuente pérdida de peso, en especial en invierno, lo cual en casos extremos puede producir su muerte. Los tratamientos silvopastorales proporcionan mayor protección, reduciendo el gasto energético, lo que no ocurre en el tratamiento ganadero (Sotomayor y Teuber, 2011; Sotomayor *et. al,* 2016).

En el Cuadro N° 7 se entregan más antecedentes del efecto del viento en la temperatura ambiental, según tabla preparada en base a estudio de Quam *et al*. (1994). Se observa que a medida que la velocidad del viento aumenta la temperatura ambiental se reduce.

Por ejemplo, para una situación de viento de 40 km h^{-1} y temperatura exterior de 13ºC, la temperatura se reduce a -1ºC. Las zonas marcadas con color indican las temperaturas de riesgo para los animales; el color amarillo indica temperaturas de mayor riesgo de muerte para los animales. Con la misma velocidad anterior y con -12ºC en situación de calma, se reduce a -34ºC, convirtiéndose en situación de riesgo para los animales.

Cuadro N° 7
VELOCIDAD DEL VIENTO INVERNAL Y SU RELACIÓN SOBRE LA DISMINUCIÓN DE LA TEMPERATURA AMBIENTE Y EL AUMENTO DEL RIESGO PARA LOS ANIMALES

	Tº Exterior (°C)	13	4	-1	-7	-12	-18	-23	-29	-34
Velocidad del Viento (km h^{-1})	Calma	13	4	-1	-7	-12	-18	-23	-29	-34
	8	9	3	-3	-9	-14	-21	-26	-32	-37
	16	4	-2	-9	-16	-23	-30	-37	-43	-50
	24	2	-6	-13	-21	-28	-35	-43	-50	-58
	32	0	-8	-16	-23	-31	-39	-47	-55	-63
	40	-1	-9	-17	-26	-34	-42	-51	-59	-67
	48	-2	-11	-19	-28	-36	-45	-53	-62	-69
	56	-3	-12	-20	-29	-37	-47	-55	-63	-72
	64	-3	-12	-21	-29	-38	-47	-56	-64	-73
	72	-4	-13	-21	-30	-39	-48	-57	-65	-74
	Riesgo alto									
	Riesgo máximo									

(Adaptado de Quam *et al.,* 1994)

- **Temperatura, Humedad Relativa y Precipitación**

En relación a la temperatura ambiental no se presentaron diferencias entre los tratamientos. De acuerdo a los resultados recogidos entre octubre de 2007 a febrero de 2008, se observó que el tratamiento en fajas (SSF) tuvo valores promedios, para ese periodo, levemente mayores al tratamiento ganadero (SG), 10,2 contra 9,9 ºC. En el periodo febrero a marzo 2008, estos valores bajan a 7,9 para silvopastoral en fajas, 7,7 ºC para tradicional (SST) y 7,9 ºC para el ganadero (SG) (Sotomayor y Teuber, 2011).

Acerca de la humedad relativa (HR), la tendencia entre los tratamientos es similar, con valores de 85% para los mes de invierno, y de 62% promedio en el mes más bajo, enero 2008, durante la época de verano. Para los meses de mayor crecimiento vegetativo (septiembre 2007 a enero 2008), los valores de humedad alcanzaron a 69,9% para el ganadero (SG) y 70,1% para el sistema en fajas (SSF). En otoño del año 2008 (marzo a mayo 2008), estos valores subieron a 77,0, 77,6 y 77,5% para SG, SST y en SSF, respectivamente.

El comportamiento de la precipitación promedio por mes y por tratamiento, al comparar el tratamiento ganadero y silvopastoral en fajas para el periodo julio 2007 a abril 2008, se observa que se registró mayor precipitación en el tratamiento silvopastoral en fajas que en el ganadero, con 259,9 y 229,0 mm, respectivamente. Durante el periodo marzo 2008 a junio 2008, se observa que la precipitación registrada fue mayor en el ganadero que en el silvopastoral tradicional, con 196 y 178,4 mm, respectivamente, debido a una mayor intercepción de la precipitación por los árboles, debido a su vez a la mayor cobertura de árboles en el sitio (Sotomayor y Teuber, 2011).

Evaluación de la Fertilidad del Suelo

Para analizar la condición de fertilidad de los suelos se realizó un primer análisis el año 2004 (Cuadro N° 8), para así poder determinar un régimen de fertilización apropiado para los tratamientos T2, T3 y T4.

Cuadro N° 8
ANÁLISIS DE SUELO AÑO 2004

Tratamiento	Profundidad Muestreo (cm)	N	P	K	S	pH	M.O.
		(mg kg^{-1})					(%)
T2-SST	0-7,5	31,7	33,7	300,0	3,9	6,4	16,1
T3-SSF	0-7,5	30,3	45,0	295,3	1,3	6,5	13,2
T4-SG	0-7,5	32,0	25,8	310,5	1,4	6,4	14,4

De acuerdo a estos resultados y en base a análisis entregado por Hepp (1996), para praderas australes, se determinó que era necesario aplicar azufre, dado que se considera el nivel de azufre como muy bajo en relación a nivel determinado como bueno según SIAR (2009).

Para homogenizar los tratamientos después de su instalación, se aplicó nitrógeno (N), aunque para esta zona de la Patagonia N no es un elemento deficitario y la presencia de leguminosas aporta suficiente nitrógeno para las necesidades de la pradera (Hepp, 1993; Hepp, 1996). Lo resultados indican también que no es necesario aplicar fósforo y potasio, dado que ambos presentaron niveles altos.

En los años 2004 y 2005 se aplicaron las unidades de fertilizantes indicadas en el Cuadro N° 9. En el mes de octubre del 2004, se preparó una fórmula compuesta por 450 kg de urea (46% de nitrógeno), 1.500 kg de magnesio (20% de azufre en forma de sulfato y 25% de magnesio en forma de óxido de magnesio) y 700 kg de azufre ventilado (99% de azufre elemental).

Lo anterior dio una aplicación total, considerando 12,6 ha de terreno de pradera, de aproximadamente 16 unidades de nitrógeno, 30 unidades de magnesio (MgO), 24 unidades de azufre (SO4) y 55 unidades de azufre (S) por hectárea.

Cuadro N° 9
RESUMEN FERTILIZACIÓN PRADERAS AÑOS 2004 Y 2005

Nutrientes	Año de Aplicación (Unidades por hectárea)	
	2004	2005
Nitrógeno (Urea)	16	24
Magnesio (MgO)	30	17
Azufre (SO^4)	24	77
Azufre (S)	55	-

Posteriormente se realizaron análisis de suelos entre los años 2005 a 2009, y se determinó fertilizar nuevamente cuando los niveles de azufre bajaron de su condición recomendada según SIAR (2008).

Dado que de acuerdo a Hepp (1996) y SIAR (2008), se determinó que S, era considerado bajo para el sitio de trabajo, se presenta a continuación los análisis realizados para este elemento, y además pH, para determinar si la condición inicial de cobertura boscosa afectaba el pH del sitio donde se instalaron los sistemas silvopastorales.

- **Azufre (S)**

Según los resultados obtenidos para azufre (Cuadro N° 10), se observó que para el año 2004 este se situaba en la categoría de muy bajo, por lo cual se decidió fertilizar con este elemento en forma prioritaria, al realizar la fertilización durante el primer y segundo año de tratamiento.

El año 2005 y 2007 estos valores subieron a categoría de bajo, debido a las fertilizaciones aplicadas para subir sus niveles. El año 2008 nuevamente estos disminuyen (Figura N° 7).

Cuadro N° 10
RESULTADO PARA S AÑOS 2004 A 2008

Tratamiento	Azufre (mg kg^{-1})			
	2004	2005	2007	2008
T2. SST	3,9	8,0	9,0	4,3
T3. SSF	1,3	6,4	7,9	6,0
T4. SG	1,4	6,6	7,9	4,5

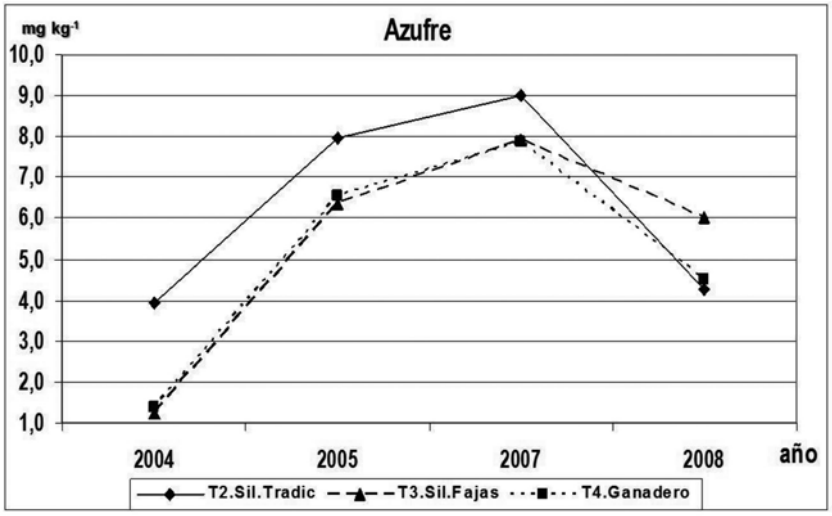


Figura N° 7
EVOLUCIÓN AZUFRE AÑOS 2004 A 2008

Según análisis de varianza se determinó que existen diferencias significativas para el efecto tiempo, y no existen diferencias para los efectos tratamiento y la interacción tratamiento*tiempo para S. Para el efecto tratamiento, no se encontraron diferencias significativas entre los sistemas en evaluación (Cuadro N° 11).

En cuanto al tiempo, existen diferencias entre los años 2005 y 2007 con respecto a 2008 y 2004, con los mayores valores el año 2007 y menores el año 2004 (Cuadro N° 12).

Cuadro N° 11
RESULTADO ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL EFECTO TRATAMIENTO EN S

Tratamiento	Medias	n	Significancia p<=0,05*
T2. SST	6,3	12	a
T3. SSF	5,4	12	a
T4. SG	5,1	16	a

*Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Cuadro N° 12
RESULTADO ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL EFECTO TIEMPO EN S

Año	Medias	n	Significancia p<=0,05*
2004	2,2	10	c
2005	7,0	10	a
2007	8,3	10	a
2008	4,9	10	b

*Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

- **Acidez (pH)**

Respecto del pH, la evaluación efectuada el año 2004 indica que no existen diferencias entre tratamientos, pudiéndose afirmar que los 12 años de cobertura con pino ponderosa, no acidificaron el suelo donde se instalaron los tratamientos silvopastorales.

Los valores encontrados en los tres años de evaluación (Cuadro N° 13) se presentan en el rango de suelos ligeramente ácidos.

Cuadro N° 13
VALORES DE pH POR TRATAMIENTO
AÑOS 2004, 2007 Y 2008

Tratamiento	pH		
	2004	2007	2008
T2. SST	6,44	6,11	6,29
T3. SSF	6,51	6,07	6,31
T4. SG	6,36	6,20	6,34

El análisis de varianza para pH determinó que no se presentaron diferencias estadísticas para el efecto tratamiento (Cuadro N° 14) y tratamiento*tiempo, y si existen diferencias para el efecto tiempo (Cuadro N° 15). Estos valores, entre 6,1 a 6,5 encontrados en los tratamientos durante las temporadas evaluadas, entran en la categoría de ligeramente ácido. En cuanto al tiempo, se presentaron diferencias entre los años analizados, con una tendencia a disminuir el pH con el tiempo.

Cuadro N° 14
RESULTADO ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL EFECTO TRATAMIENTO EN pH

Tratamiento	Medias	n	Significancia p<=0,05*
T2. SST	6,28	9	a
T3. SSF	6,30	9	a
T4. SG	6,30	12	a

*Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Cuadro N° 15
RESULTADO ANÁLISIS DE VARIANZA, PARA EL EFECTO TIEMPO EN pH

Año	Medias	n	Significancia p<=0,05*
2004	6,43	10	a
2007	6,13	10	b
2008	6,32	10	c

*Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Análisis de Regresión entre Variables Climáticas y de Productividad del Sistema

A continuación se presentan análisis utilizando regresiones de una y más variables, sobre los factores, tanto forestales como ambientales, que más contribuyen en la producción de la pradera y animal, y que explican los resultados positivos de los sistemas silvopastorales.

- **Análisis de Regresión de Una Variable**

Para analizar cuál de los parámetros forestales tienen una mayor relación con la disminución del viento y la productividad de la pradera, se analiza la interacción de algunos de estos mediante regresión lineal. Para ello se ajustó el siguiente modelo (Modelo 2), el cual será utilizado también para los análisis de regresión tanto para la productividad de la pradera como para producción animal:

Modelo 2. Velocidad del viento en función de parámetros forestales

$$Vv = \mu + p*F + E$$

Donde: Vv = velocidad del viento
μ = constante
p = factor
F = parámetro forestal
E = error

-Relación velocidad media del viento – parámetros forestales

Considerando los tratamientos silvopastorales y el tratamiento ganadero, los parámetros DAP, CC y AB, tuvieron un buen ajuste en relación a la velocidad del viento. A medida que el DAP, CC y AB aumenta, la velocidad del viento disminuye, con un r^2 de 0,96, 0,95 y 0,96, respectivamente (Figura N° 8).

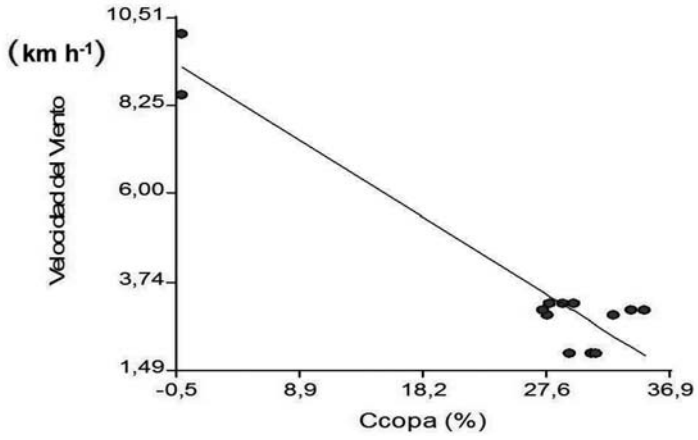


Figura N° 8
RELACIÓN COBERTURA DE COPA– VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO PARA LOS TRATAMIENTOS SILVOPASTORALES Y GANADERO TEMPORADAS 2006 A 2008

-Relación efecto de los árboles * productividad de la pradera

Para analizar el efecto de los árboles, ordenados en sistema silvopastoral, sobre la producción de la pradera, se ajustaron los parámetros AB y CC en relación a la producción pratense.

El AB no muestra una buena correlación con la producción de pradera con r^2=0,22 y r^2=0,35 para silvopastoral tradicional y en fajas respectivamente.

En cambio hay una relación positiva de la cobertura de copa en relación a la pradera, con una correlación de r^2=0,88 y r^2=0,69 para el tratamiento silvopastoral tradicional y en fajas, respectivamente (Figura N° 9).

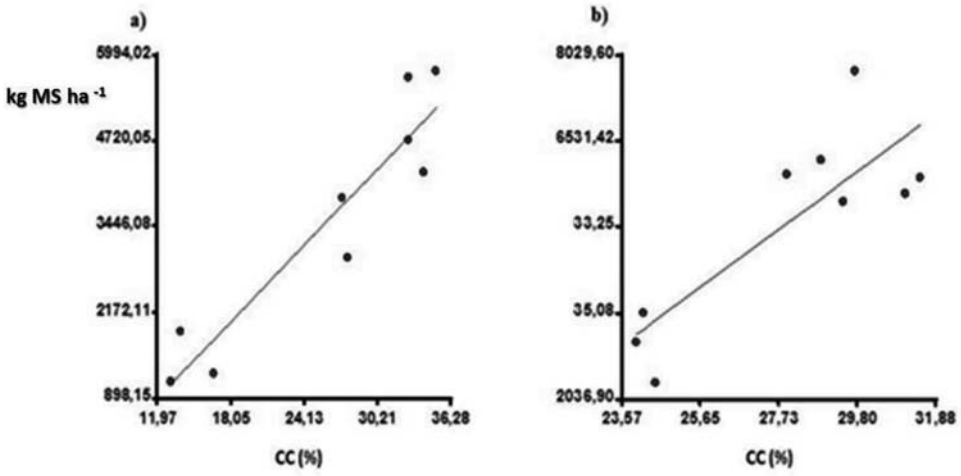


Figura N° 9
REGRESIÓN LINEAL COBERTURA DE COPA - PRODUCTIVIDAD PRADERA
TRATAMEINTO SILVOPASTORAL TRADICIONAL (a) Y SILVOPASTORAL EN FAJAS (b)
TEMPORADAS 2004 a 2008

- **Análisis de Regresión de Más de Una Variable**

Para el análisis de regresión de más de una variable, se ajustó el siguiente modelo (Modelo 3).

Modelo 3: Modelo de productividad pratense y animal.

$$Pp(a) = \mu + F + t + (F*t) + C + t + (C*t) + P + E$$

Donde: Pp(a) = Producción pradera (kg ha^{-1} MS) o animal (kg ha^{-1} peso vivo)

μ = constante	F = parámetro forestal
C = parámetro climático	t = tiempo
P = parcela	E = error

-Modelo productividad pratense – CC *viento

Para analizar el efecto de los árboles y el clima, en la producción pratense y animal, se ajustó la interacción de *cobertura de copa (CC%)*viento (vv).* Con este modelo se obtuvo una buena correlación para el tratamiento silvopastoral tradicional con un r^2 de 0,68, y para silvopastoral en faja un r^2 de 0,53; la mejor correlación en SST, se debe a que este tiene una mejor distribución de los arboles sobre el terreno, dado lo cual se intercepta mejor el viento.

Como se indicó en punto anterior, CC (%) por si sola explica adecuadamente la productividad de la pradera (MS) con un r^2 de 0,88 y 0,69 para tratamientos tradicional y fajas, respectivamente. Al interactuar CC (%) y vv, no mejora el valor de CC (%) por sí solo, dado que es el aumento de la cobertura forestal el que hace reducir la velocidad del viento, y consecuentemente genera un aumento de la productividad de la pradera.

-Modelo producción animal - Ccopa*viento y Ccopa*viento*MS

Para analizar los factores que afectan la producción animal en la región de Aysén, en los tratamientos silvopastorales y ganadero analizados, entre las temporadas 2006 a 2008, se realizó un análisis con un modelo integrando la cobertura de copa que proporcionan los árboles y la velocidad del viento, y un segundo modelo agregando además la productividad de la pradera en materia seca por hectárea (MS). Con el primer modelo CC*vv, se obtuvo una excelente correlación de r^2=0.92, y al agregar DM, se aumentó la correlación a un r^2 de 0.96.

En base a estos dos modelos de regresión lineal múltiples analizados, para producción animal, se puede indicar que esta no se explica solo por la productividad de la pradera en la región de Aysén. Tal como se indica anteriormente, esta se explica principalmente por la interacción de las variables cobertura de copa (%) y viento (km h^{-1}), mejorando cuando se agrega producción de la pradera (MS).

CONCLUSIONES

Los tratamientos silvopastorales evaluados propiciaron una mayor producción de la pradera en las cuatro primeras temporadas evaluadas en la región de Aysén. En este periodo, como se expuso previamente, el factor que más influenció este aumento de la productividad de la pradera fue el efecto de las copas de los árboles que redujeron la velocidad del viento en un 200%. El solo efecto de cobertura de copa sobre el viento, explica en un 92% los resultados de producción animal. A partir de la temporada 2008-2009, se produjo un decrecimiento de la productividad pratense en SST, producto del aumento de la cobertura de copa, no existiendo diferencia con el tratamiento ganadero, lo que recomendó la necesidad de manejar el sistema para disminuir esta cobertura; el tratamiento SSF, continuo siendo el mejor tratamiento para la producción pratense, por la protección que le otorga a la pradera, sin afectar su desarrollo con las copas.

La producción animal también se relacionó con los factores viento y cobertura de copa arbórea, pudiéndose recomendar a los productores ganaderos el uso de los árboles en ordenamiento silvopastoral para aumentar la producción y también para mejorar el bienestar animal. Esto se expresa bastante bien al analizar *wind chill*, siendo el tratamiento ganadero el

cual obtuvo valores negativos, afectando el comportamiento animal, especialmente en invierno.

Se puede concluir que los árboles presentes en tratamientos silvopastorales modificaron algunos parámetros climáticos del ambiente. Para los efectos del presente estudio, el parámetro más afectado por los árboles fue el viento, reduciendo su valor, lo que beneficia especialmente la productividad de la pradera y la producción animal.

El desarrollo de los arboles también fue afectado positivamente por los diseños silvopastorales, en especial SST en relación a TF, ya que se obtuvo arboles más desarrollados en el tratamiento silvopastoral tradicional, lo que significará también trozas de mayor dimensión, y debido al esquema de poda, mayores valores de venta con objetivo de obtención de productos con madera libre de defectos, para aserrío o tableros.

De los resultados expuestos, se puede recomendar el uso de los sistemas silvopastorales en la región de Aysén, ya que por un lado aumenta la productividad de la pradera, lo que beneficia la producción animal y, por otro, la incorporación de árboles al sistema ganadero permite al productor ganadero generar una segunda producción del suelo, por medio de la producción forestal. Se obtienen productos madereros de buena calidad, por el manejo de los arboles con este doble propósito, se protege el suelo y la pradera, y se generan ingresos por madera, con esquemas de poda y raleo planificados para este fin. Esto puede significar para el productor un ingreso intermedio producto del raleo, con productos de menor valor como leña, postes y madera pulpable y, al final de la rotación del sistema productivo, obtener trozas podadas con madera libre de nudos de mayor valor, que le puede entregar interesantes ingresos a los productores (Sotomayor *et al*., 2009).

REFERENCIAS

ARNOLD, J. E. M., 1983. ECONOMIC CONSIDERATIONS IN AGROFORESTRY PROJECTS. AGROFOR. SYST. 1:229-311.

CIREN, 2010. DETERMINACIÓN DE LA EROSIÓN ACTUAL Y POTENCIAL DE LOS SUELOS DE CHILE. SANTIAGO, CHILE, 2010.

Dube, F.; Espinosa, M.; Stolpe, N.; Zagal, E.; Thevathasan, N. V. and Gordon, A. M., 2012. Productivity and carbon storage in silvopastoral systems with *Pinus ponderosa* and *Trifolium spp.*, plantations and pasture on an Andisol in Patagonia, Chile. Agroforest Syst, 86:113-128

Hepp, C., 1993. Estimación de la fijación de nitrógeno por trébol blanco en praderas naturales mejoradas de Aysén. En: Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Subestación Experimental Aysén. Programa Praderas 1992-1993. Coyhaique, Chile. pp: 84-91

Hepp, C., 1996. Praderas en la zona Austral: XI Región (Aysén). En: Praderas para Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, Santiago (Chile). pp. 623-638.

INE, 1997. VI Censo Nacional Agropecuario. Instituto Nacional de Estadísticas Santiago, Chile, 1997.

INFOR, 2013. El Sector Forestal Chileno 2013. Instituto Forestal. Santiago, Chile.

Larraín, O.; Grosse, H. y Sotomayor, A., 2007. Manual de Silvicultura en Bosques Nativos Dominados por Raulí, Roble y Coigüe para Pequeños y Medianos Productores. Instituto Forestal, Concepción, Chile.

Longhurst, W. M., 1983. Wildlife interactions with domestic animals and forests. In: Foothills for Food and Forest. Ed. by Hannaway, D. B. Oregon State Univ. Timber Press, Beaverton, Oregon. pp. 309-320.

Quam, V. y Johnson, L., 1999. Windbreaks for Livestock Operations. University of Nebraska Cooperative Extension EC 94-1766-X.

SAS Institute Inc., 2003. Proceedings of the Twenty-Eight Annual SAS(r) Users Group International Conference. Cary, NC: SAS Institute Inc

SIAR, 2009. Toma de muestras e interpretación de análisis de fertilidad de suelo. Disponible en http://www.siar.cl/docs/protocolos/analisis_suelo.pdf, Julio 2009.

Sotomayor, A., 1989. Sistemas Silvopastorales y su Manejo. Documento técnico Nº 42. Revista Chile Forestal, Diciembre 1989. CONAF. 8p.

Sotomayor, A., 2010. Sistemas silvopastorales, alternativa de producción integrada para un desarrollo sustentable de la agricultura en Chile. Ciencia e Investigación Forestal, Vol 16 N°1, abril 2010. pp: 19-51.

Sotomayor, A.; Moya, I. y Teuber, O., 2009. Manual de Establecimiento y Manejo de Sistemas Silvopastorales en Zonas Patagónicas de Chile. Manual N° 41, Coyhaique, Chile.

Sotomayor, A.; Moya, I. y Acuña, B., 2010. Comportamiento de las variables dasométricas en plantaciones de *Pinus contorta* Doug. Ex Loud., bajo manejo silvopastoral y forestal en la región de Aysén, Chile. Ciencia e Investigación Forestal, Vol 16 N°3, diciembre 2010. pp: 265-290.

Sotomayor, A. y Teuber, O., 2011. Evaluación del efecto de los árboles manejados bajo ordenación silvopastoral en los parámetros climáticos del sitio, en relación a un manejo ganadero sin árboles. Ciencia e Investigación Forestal, Vol 17 N°1, abril 2011. pp: 23-40

Sotomayor, A.; Teuber, O.; Moya, I. y Almonacid, P., 2011. Productividad animal en un sistema silvopastoral con la especie *Pinus contorta*, en relación a un manejo ganadero sin árboles, en la región de Aysén, Chile. Ciencia e Investigación Forestal, Vol 17 N°2, agosto 2011. pp: 139-152.

Sotomayor, A.; Schmidt, H.; Salinas, J.; Schmidt, A.; Sanchez-Jardon, L.; Moya, I. y Teuber O., 2016. Silvopastoral Systems in the Aysen and Magallanes Regions of the Chilean Patagonia. In: Silvopastoral Systems in Southern South America. Eds: by Peri p., Dube F. and Varella A. Advances in Agroforestry, Vol 11. Springer International Publishing, Switzerland, 2016. Pp: 213-320.

Teuber, O. y Ganderatz, S., 2009. Características Geográficas y Edafoclimáticas de la Región de Aysén. En: Sistemas Agroforestales para la Región de Aysén: Cortinas Cortaviento y Silvopastoreo. *Ed.* Teuber, O., Coyhaique, Chile 2009. pp: 9-16.