



Universidad  
de Concepción  
Fac. Ciencias Forestales

Francis Dube



# Captura de carbono en sistemas silvopastoriles con *Pinus ponderosa* y *Trifolium* spp., plantaciones y pastizales en la Patagonia Chilena



## Colaboradores

Erick Zagal  
Neal Stolpe  
Andrew Gordon  
Miguel Espinosa  
Naresh Thevathasan



# Introducción

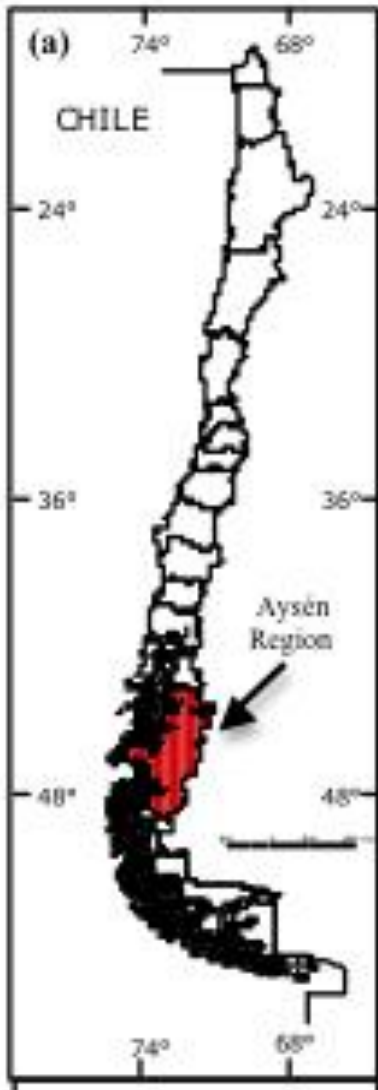
- 1850-2000:  $\text{CO}_2$  ↑ 280 a 369 ppm (+30%)
- > 2000:  $\text{CO}_2$  ↑ +5%
  - Cambios usos de suelo + Combustión energías fósiles
- En '90s: Ecosistemas terrestres capturaron **40%** C emitido por energías fósiles.
- Suelos = mayor reserv. terr. C (desp. océanos)

- Estudios en regiones templadas → más C en SAF que monocultivos → **verdaderos sumideros C**  
(Peichl et al. 2006; Nair et al. 2010; Dube et al. 2011 y 2012).
- Rodales sp. mixtas → capturan C +eficientemente que plantaciones (Kimmins 2004).
- SAF = trade-off → designados e implementados p/ mejorar fertilidad suelo + combinan sp. Interdep.

# Problema y Justificativa

- Escasez de estudios en SAF en Chile + falta de investigación sobre reservorios C en SSP → Hemisferio Sur Templado, e suelos degradados.
- Interés creciente a nivel mundial para estudiar el potencial de captura C en agro-ecosistemas sustentables, incluyendo regiones remotas como la Patagonia Chilena →
  - clima **ventoso e inhóspito**, topografía accidentada
  - **praderas degradadas**, suelos **erosionados**
  - bosque original quemado → abrir campo → pastoreo
- +30,000 ha *Pinus ponderosa*, *P. contorta* + *Pseudotsuga menziesii* y +1 M ha prad. deg.





Mapa de Chile (a) y ubicación de la Patagonia (negro) y Región de Aysén (rojo) en la Patagonia; (b) ubicación del Sector Mano Negra en la zona ecológica Templada Intermedia, Región de Aysén, donde se recolectaron los datos entre 2006 y 2009.

# Objetivos

- 1) Medir el tamaño de reservorios C presentes en biomasa vegetación y suelos volcánicos en una pradera (PST), plantación de *Pinus ponderosa* (PPP), y sistema silvopastoril (SPS).
- 2) Examinar como pastura leguminosa (*Trifolium* spp.) afecta crecimiento arbóreo y stocks de COS.

# Materiales y Métodos

## Ubicación y Caracterización:

- Módulo Agroforestal San Gabriel (INFOR - 2002)
- Sector Mano Negra (Región Aysén)
- Pendiente Oeste, 730 msnm
- S45°25' y W72°00'
- 1991: 2000 arb/ha plantaciones;
- 2003: 800 arb ha<sup>-1</sup> - **PPP**  
400arb ha<sup>-1</sup> - **SPS**
- Pradera mejorada - **PST**
- Pradera fertilizada **N-S** (c/ 2 años)
- Precipitaciones: >1200 mm año<sup>-1</sup>
- Temp: 12-14°C (ver.), 2-3°C (inv.)
- Densidad aparente suelo <0.9 g cm<sup>-3</sup>
- Typic Hapludands









## Diseño experimental

- DCA con 3 rep; pendiente 10-15%; parcelas 405 m<sup>2</sup>.

## Biomasa arbórea y contenido C

- Inventario en 2007, 2008 y 2009;
- Muestro destructivo → peso de todos componentes;
- Biomasa radicular gruesa → función (raíz vs. DAP);
- Combustión seca y cromatografía de gas.

## Humedad de suelo y temperatura aire

- Humedad (0-20 cm profundidad) y temperatura aire (+5 cm) → cada 2 h con Data Loggers.

## C y N en muestras de suelo

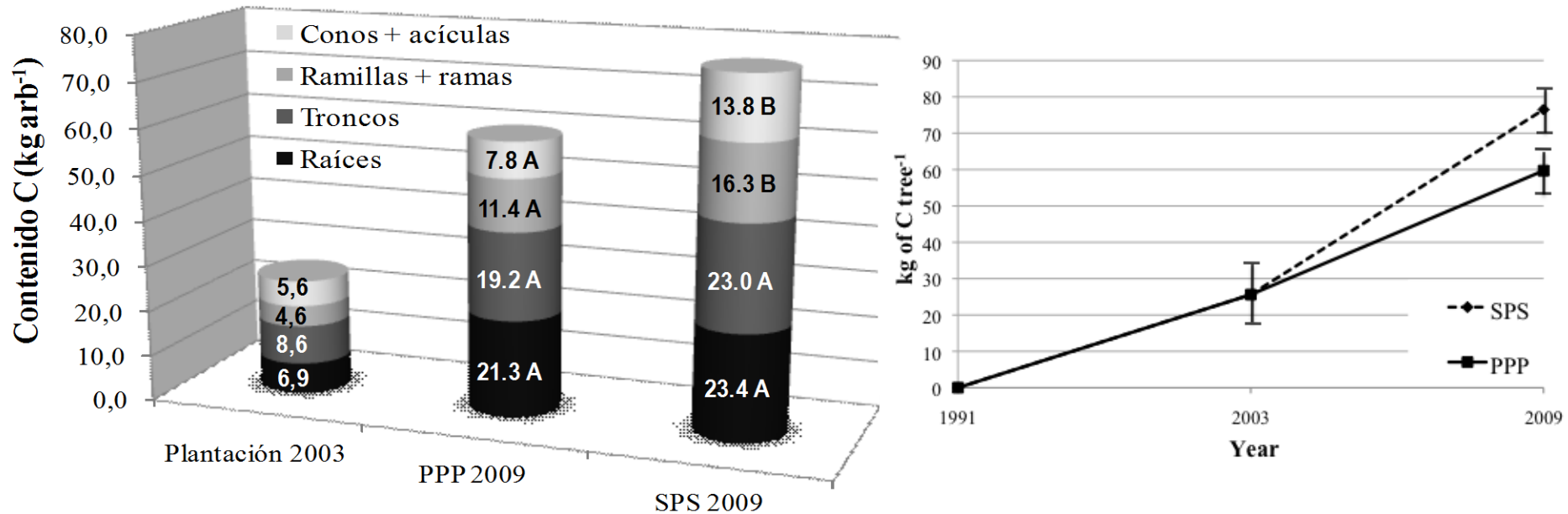
- Muestro a profundidad de 0-5, 5-20, 20-40 cm;
- 2 transectos perpendiculares a las fajas de pino, a intervalo de 2,5 m en direcciones E + O.

# Muestreo destructivo (6 árb) + C% por C.G.





# Resultados y Discusión



## Usos de suelo y años de medición

Figura 1. Distribución del contenido de C (kg) por compartimento del árbol antes del raleo y en PPP y SPS 6 años después de ralear. Valores con misma letra **mayúscula** entre componentes arbóreos y entre tratamientos en 2009 no son estadísticamente diferentes (test *t* de Student, \*\* $P < 0.01$ ).

- Tasas captura C aumentaron c/ ↓ densidad en Plantación original.
- Tasa captura C signif. mayor después → Plantación 2003 a SPS.
- Dif. signif. entre ↑DAP en PPP (1 cm año<sup>-1</sup>) y SPS (2 cm año<sup>-1</sup>).
- Raleo → ++C en SPS en Raíces (+10%), Troncos (+20%), Ramillas+Ramas (+43%), Conos+Acic. (+77%) por árbol en 2009.



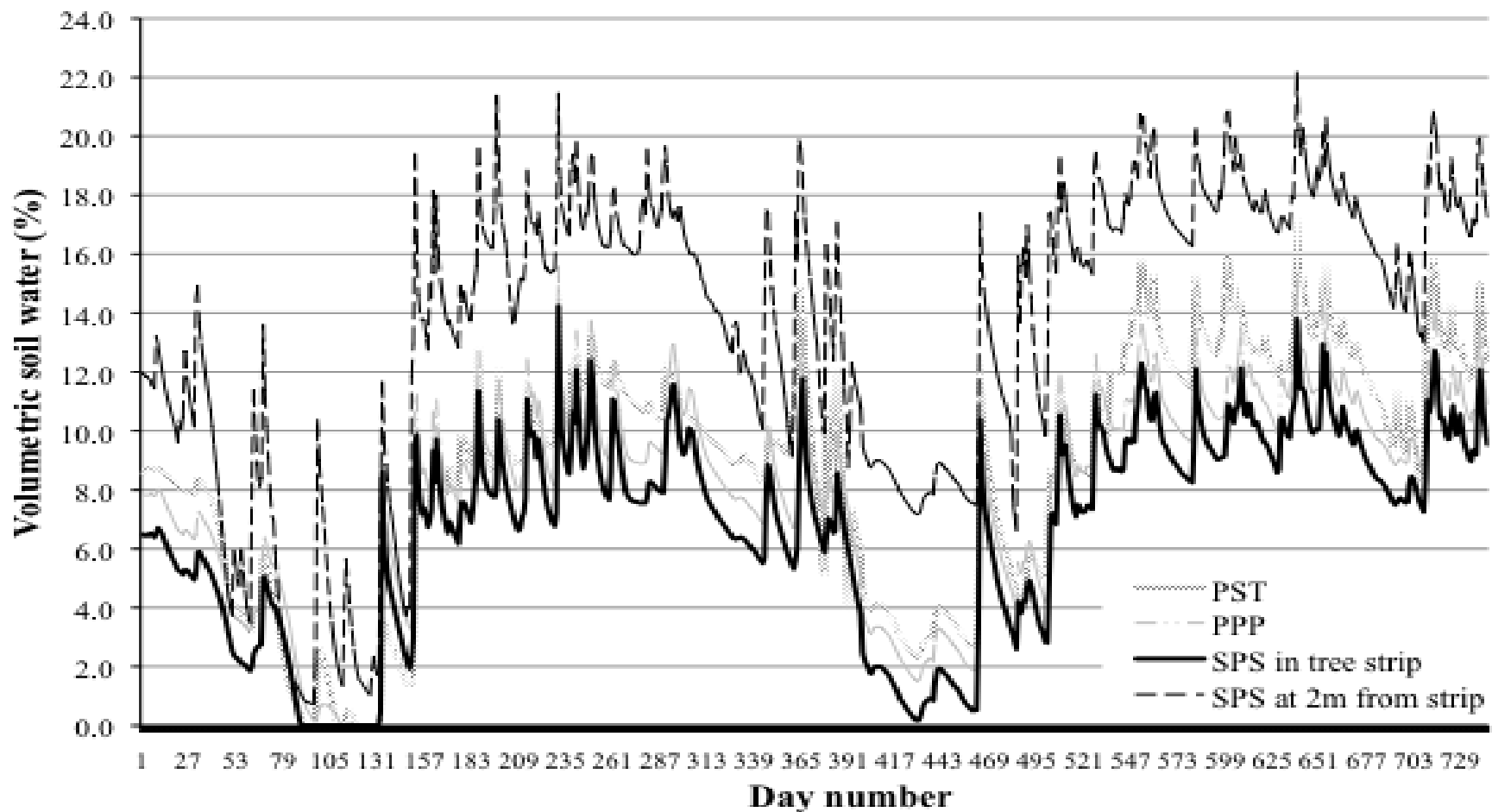


Figura 2a. Humedad diaria suelo (% a prof. 0-20 cm) medida aleatoriamente en PST y PPP y a 2 ubicaciones en SPS, entre Nov. 2007-2009.

- H% suelo a 2 m desde faja pinos en SPS → significativamente >>> en cualquier momento (a pesar de sequía verano 2008).
- H% suelo en PPP >>> faja pinos en SPS (salvo en sequía).

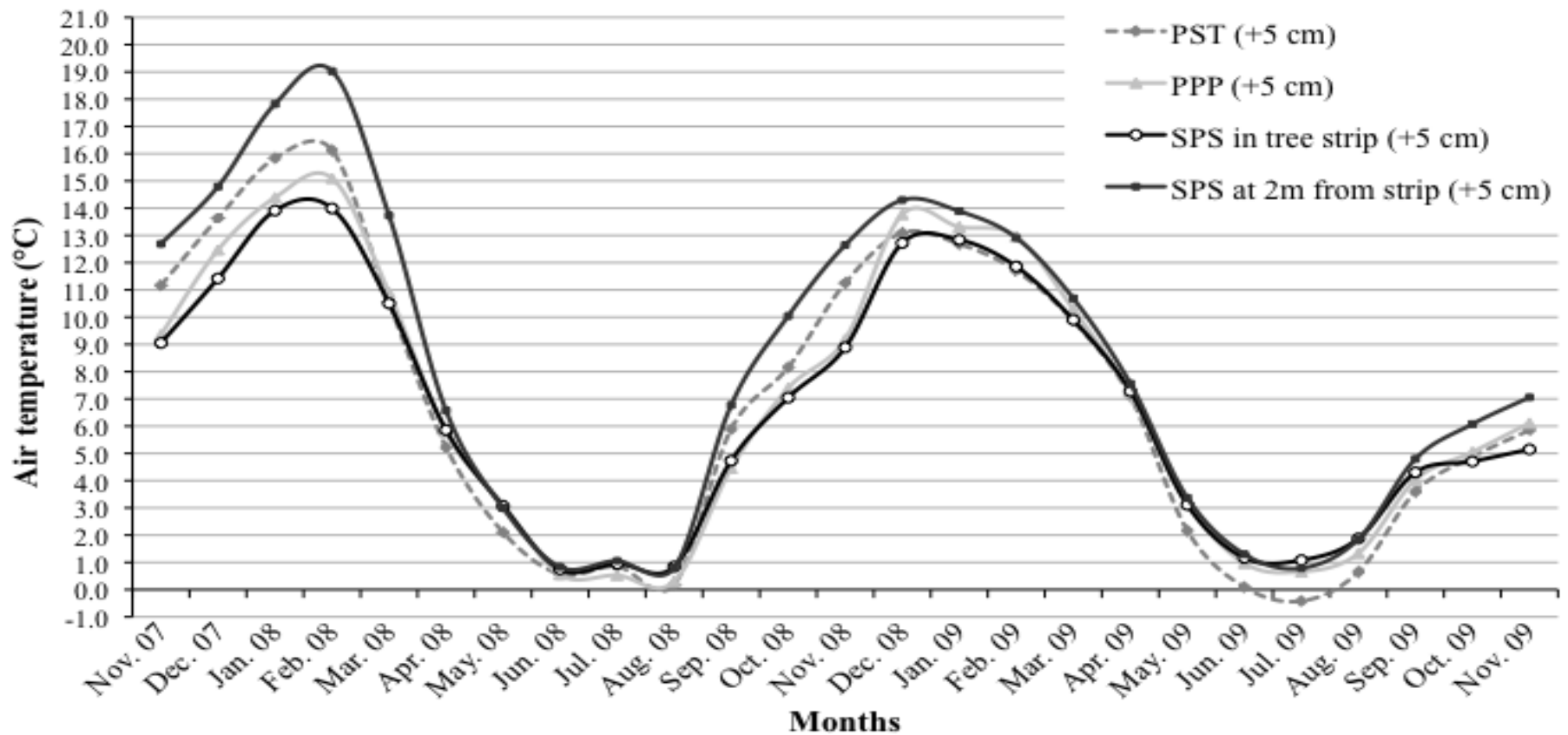


Figura 2b. Temperatura del aire arriba del suelo (+5 cm) medida aleatoriamente en PST y PPP y a 2 ubicaciones en SPS, entre Nov. 2007-2009.

- T° Aire (+5 cm) → sustancialmente >> a 2 m desde faja en SPS que otros tratamientos (estación crecimiento y primavera).
- Durante año → T° Aire a 2 m desde faja de pinos en SPS >>> PST (2.3°C en 2008 y 1.1°C en 2009).

Tabla 1. Productividad primaria neta de pastura (promedio  $\pm$  dev. est.)

Year	Aboveground dry biomass yield (ANPP) (kg ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup> )			Belowground dry biomass yield (BNPP) (kg ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup> )		
	PST	SPS	PPP	PST	SPS	PPP
2008	2954 $\pm$ 1027 a	2458 $\pm$ 828 a	n/a	6010 $\pm$ 392 a	4697 $\pm$ 291 b	n/a
2009	3391 $\pm$ 932 a	3368 $\pm$ 594 a	732 $\pm$ 18 b	6329 $\pm$ 422 a	5074 $\pm$ 334 b	1875 $\pm$ 112 c
Mean	3173 $\pm$ 309 a	2958 $\pm$ 580 a	732 $\pm$ 18 b	6170 $\pm$ 428 a	4885 $\pm$ 360 b	1875 $\pm$ 112 c

Valores con la misma **letra minúscula** en un mismo año y entre tratamientos no son significativamente diferentes (n/a: no aplicable; test *t* de Student, \**P* < 0.01).

- ANPP y BNPP  $\rightarrow$  2009 > 2008. A pesar de que ANPP media era levemente mayor en PST que SPS  $\rightarrow$  N.S.
- En base de cuadrante (g/0.5 m<sup>2</sup>)  $\rightarrow$  ANPP en **SPS** = 11%  $\uparrow$  en 2008 y 28%  $\uparrow$  2009 que PST (mayor T° aire, H% suelo).
- Pese a área disponible para pastura = 22%  $\downarrow$  en SPS  $\rightarrow$  ANPP = 14%  $\downarrow$  en 2008 y  $\approx$  en 2009.
- Fuerte influencia de árboles  $\rightarrow$  creación de un microclima favorable en fajas de pasto en SPS.



Tabla 1. SOC y N a distintas profundidades en PST, PPP, SPS (promedio  $\pm$  dev. est.)

Treatment	Soil depth (cm)	SOC (%)	N (%)	SOC (Mg ha <sup>-1</sup> )
PST	0-5	10.77 $\pm$ 0.7 A a	0.86 $\pm$ 0.15 A a	48.49 $\pm$ 3.34 A a
	5-20	5.62 $\pm$ 0.08 A b	0.38 $\pm$ 0.00 A b	75.85 $\pm$ 1.06 A b
	20-40	2.92 $\pm$ 0.50 A c	0.19 $\pm$ 0.01 A c	52.57 $\pm$ 9.08 A a
	<b>0-20</b>	<b>6.92 <math>\pm</math> 0.15 A</b>	<b>0.50 <math>\pm</math> 0.04 A</b>	<b>124.53 <math>\pm</math> 2.74 A</b>
	<b>0-40</b>	<b>4.92 <math>\pm</math> 0.28 A</b>	<b>0.35 <math>\pm</math> 0.01 A</b>	<b>177.10 <math>\pm</math> 10.09 A</b>
PPP	0-5	6.25 $\pm$ 0.08 B a	0.49 $\pm$ 0.01 B a	28.12 $\pm$ 0.37 B a
	5-20	3.89 $\pm$ 0.05 B b	0.28 $\pm$ 0.02 B b	52.49 $\pm$ 0.70 B b
	20-40	3.81 $\pm$ 0.43 A b	0.26 $\pm$ 0.05 A b	68.65 $\pm$ 7.70 A c
	<b>0-20</b>	<b>4.48 <math>\pm</math> 0.03 B</b>	<b>0.34 <math>\pm</math> 0.02 B</b>	<b>80.61 <math>\pm</math> 0.55 B</b>
	<b>0-40</b>	<b>4.15 <math>\pm</math> 0.20 B</b>	<b>0.30 <math>\pm</math> 0.02 B</b>	<b>149.25 <math>\pm</math> 7.34 B</b>
SPS	0-5	10.68 $\pm$ 0.35 A a	0.86 $\pm$ 0.03 A a	48.04 $\pm$ 1.57 A a
	5-20	6.51 $\pm$ 0.15 C b	0.49 $\pm$ 0.01 C b	87.94 $\pm$ 1.98 C b
	20-40	3.20 $\pm$ 0.21 A c	0.21 $\pm$ 0.00 A c	57.54 $\pm$ 3.73 A c
	<b>0-20</b>	<b>7.57 <math>\pm</math> 0.10 C</b>	<b>0.58 <math>\pm</math> 0.01 C</b>	<b>136.23 <math>\pm</math> 1.86 C</b>
	<b>0-40</b>	<b>5.38 <math>\pm</math> 0.13 C</b>	<b>0.40 <math>\pm</math> 0.01 C</b>	<b>193.76 <math>\pm</math> 4.61 A</b>

Mismas **mayúsculas** en una columna y misma prof. entre tratam. no son diferentes (test t Student,  $**P < 0.01$ ). Mismas **minúsculas** en una columna y mismo tratam. no son diferentes (test HSD Tukey',  $*P < 0.05$ ).

- Entre tratam.  $\rightarrow$  SOC y N a 0-5 cm en PST  $\approx$  SPS, pero  $\approx$  **2X** PPP.
- SOC y N bajaron en orden SPS > PST > PPP a prof. de 0-40 cm.
- Diferentes usos de suelo  $\rightarrow$  **afectaron signif. stocks** SOC y N.

- ❖ **↑ 69% COS** ( $44.5 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) a 0-20 cm desp. **PPP → SPS**
  - Estudio de Bambrick et al. (2010) en Canadá → tendencia similar.
- ❖ **↓ 35% COS** ( $27.9 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) a 0-20 cm desp. **PST → PPP**
  - Estudio de Ross et al. (2002) en NZ → tendencia similar.
- ❖ Alto %COS en ambos lados de faja pinos se debe a: **↑ crecimiento pastura → +N fijado por trébol y almacenado a prof. 0-20 cm → +++C capturado.**
- ❖ Stocks C y N → aumento **20-100%** con presencia de plantas fijadoras de N (Johnson 1992).
- ❖ Razón media de stock COS (0-20 cm : 20-40 cm) = 2.5:1 p/ PST y SPS, pero 1.2:1 p/ PPP →
  - Tendencia acumulación a 0-20 cm en PST y SPS (2X+ que PPP).
- ❖ Propiedades únicas Andisols (**↓D.A. + arcillas alofánicas con ↑ área específica que estabiliza C gracias a Al y Fe activo**) → capturan +++C.

# Conclusiones

- En Patagonia Chilena → SPS = **Práctica sustentable** → optimiza productividad tierra, preserva y ↑ stocks C y N durante siglos, y ↓ CO<sub>2</sub> atmosférico.
- Crecimiento árboles en SPS favorecido por ↓ competencia intraespecífica y por N adicional del suelo proporcionado por la leguminosa → +++ C capturado.
- Microclima favorable (T° aire, H% suelo) en SPS + sinergia en productividad y almacenamiento C entre árboles y pastura
- Árboles individuales en SPS → capturaron 30%+ C en biomasa total que PPP; ↑ densidad + modificaciones al diseño → aumentar captura C en componentes arbóreos.
- Tocones / raíces gruesas en fajas pasto después conversión + Ingresos regulares litera rica lignina → C recalcitrante → ganancias significativa en COS en SPS.



# Agradecimientos

- **CONICYT** del Gobierno de Chile
- **DIUC Patagonia (UdeC)** - Proyecto N° 207.142.025-1.0
- **Sr. Victor Mata** - Dueño de la Estancia San Gabriel
- **Dr. Katia Sáez** - Asistencia en Análisis Estadísticos
- **University of Guelph** - Escuela de Ciencias Ambientales
- **Forestal Mininco S.A.** - Proyecto Aysén
- **Celulosa Arauco S.A.** - Planta Arauco
- **INFOR** - Instituto Forestal
- **Centro Trapananda** - Universidad Austral de Chile
- **Centro de Biotecnología** - Universidad de Concepción
- **Laboratorio de Química Orgánica Ambiental** - UdeC
- **CIEP** - Centro Investigación en Ecosistemas de la Patagonia
- **SAI Global Inc.** - Apoyo económico