



# Captura de carbono en plantaciones de *Pinus radiata* pre-cosecha en un gradiente de productividad en dos suelos contrastantes

**Daniel Bozo; Rafael Rubilar; Otávio Campoe; Rosa Alzamora; Juan Elissetche; Juan Valverde; Matías Pincheira; Juan Valencia; Claudia Sanhueza.**

05 de diciembre de 2023

# Cambio climático Global

Atmospheric carbon dioxide and Earth's surface temperature (1880-2019)

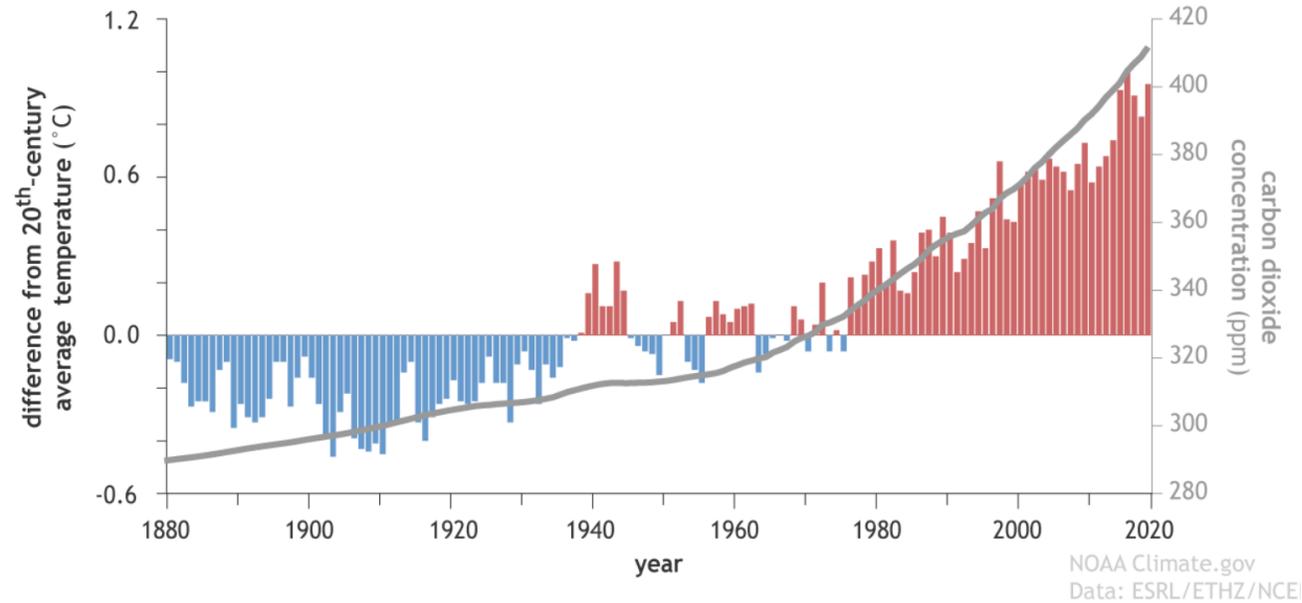


Figura 1: Diferencia en temperatura (°C) y Concentración de CO<sub>2</sub> (ppm) desde 1880 a 2019. NOAA, 2020.

Aumento de CO<sub>2</sub>, generando un incremento de las temperaturas y cambios en el patrón de las precipitaciones.

Se busca reducir las emisiones y aumentar el secuestro y absorción de carbono.

Los bosques son sumidero de carbono. Por lo que una estrategia es el uso de plantaciones de rápido crecimiento para una mayor captura de C.

Carbono emitido por actividades silvícolas es compensado por la gran acumulación de C en plantaciones.

En Chile, las tendencias son de aumento de las T° (entre 0,6° en escenarios conservadores y 2°C en más adversos). Leve disminución de pp (entre 3 a 15%).

Relevante aumentar el secuestro de C .

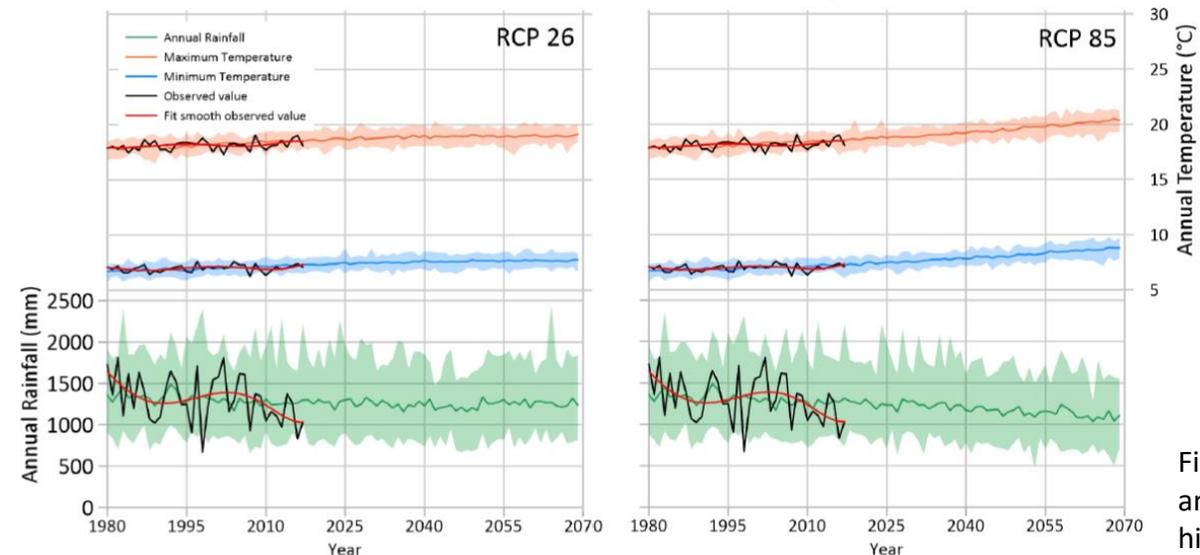


Figura 2: Cambios previstos en la precipitación media anual y la temperatura media anual del período histórico (1980-2017) a 2070. Carrasco *et al.*, 2022

# Dinámica de acumulación de carbono en bosques

Absorción de  $\text{CO}_2$  por fotosíntesis y emisiones por respiración.  
Carbono se acumula por NPP en el tiempo.

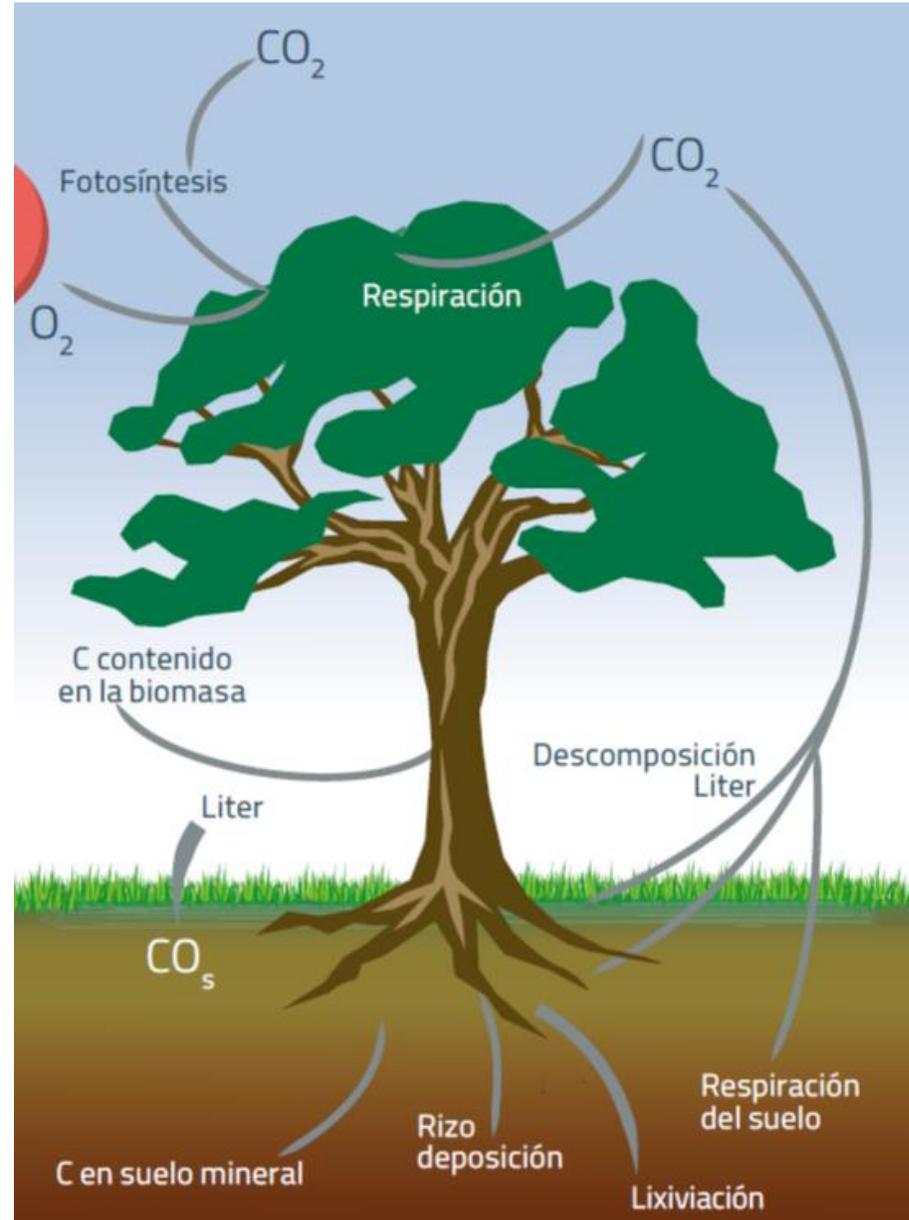


Figura 3: Captura de carbono en ecosistema forestal. Prado, 2015.

Los stocks de carbono en los ecosistemas forestales se distribuyen:

- Suelo mineral (44%)
- Biomasa aérea y subterránea (42%)
- Madera muerta (8%)
- Piso forestal (6%)

Pan *et al.*, 2011.

# Carbono en el suelo mineral y piso forestal

**Suelo mineral:** mayor stock de C en los bosques.

C se acumula en los primeros horizontes (20 cm), disminuyendo luego en profundidad.

Depende de la descomposición de la materia orgánica proveniente de la biomasa subterránea (raíces) y del piso forestal.

Suelos arcillosos retienen mayor materia orgánica, con mayores concentraciones de C que suelos arenosos.

Litton *et al.*, 2007; López-Díaz *et al.*, 2017; Zhang *et al.* 2019; Tessema *et al.*, 2022.



Figura 4: Muestreo suelo mineral en plantación de *Pinus radiata* adulto.



**Piso forestal:** comprende la hojarasca en diferentes grados de descomposición, residuos de madera, frutos, entre otros.

Permite el ingreso de materia orgánica al suelo superficial y almacena nutrientes (con alta concentración de N).

A pesar de ser el componente de menor proporción de carbono en los bosques, presenta importancia por funciones ecológicas.

Harmon *et al.*, 1986; López-Senespleda *et al.*, 2021; Díaz Villa *et al.*, 2022.

Figura 5: Muestreo de piso forestal en plantación de *Pinus radiata* adulto.

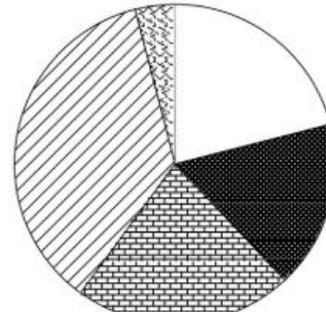
# Pools de Carbono

Tipo de Suelo afecta la distribución y acumulación de biomasa y el stock de C.

Sitios de mayor productividad aumentan la acumulación de C en los diversos componentes (aéreos y subterráneos).

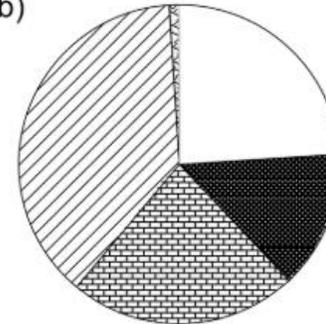
Relevante contar con modelos que estimen el C tanto en la biomasa, como en los componentes suelo y piso forestal (ambos acumulan ~ 60 % C)

(a) Dry Sands Control



Red Clay Control

(b)



Recent Volcanic Ash Control

(c)

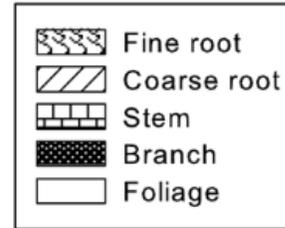
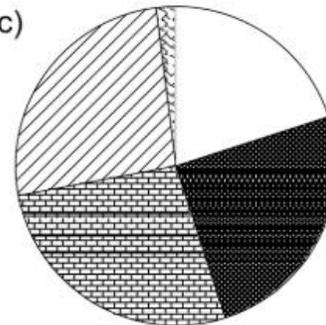


Figura 6: Distribución de biomasa a los 4 años en ensayos de *Pinus radiata* en Chile. Rubilar *et al.*, 2013.

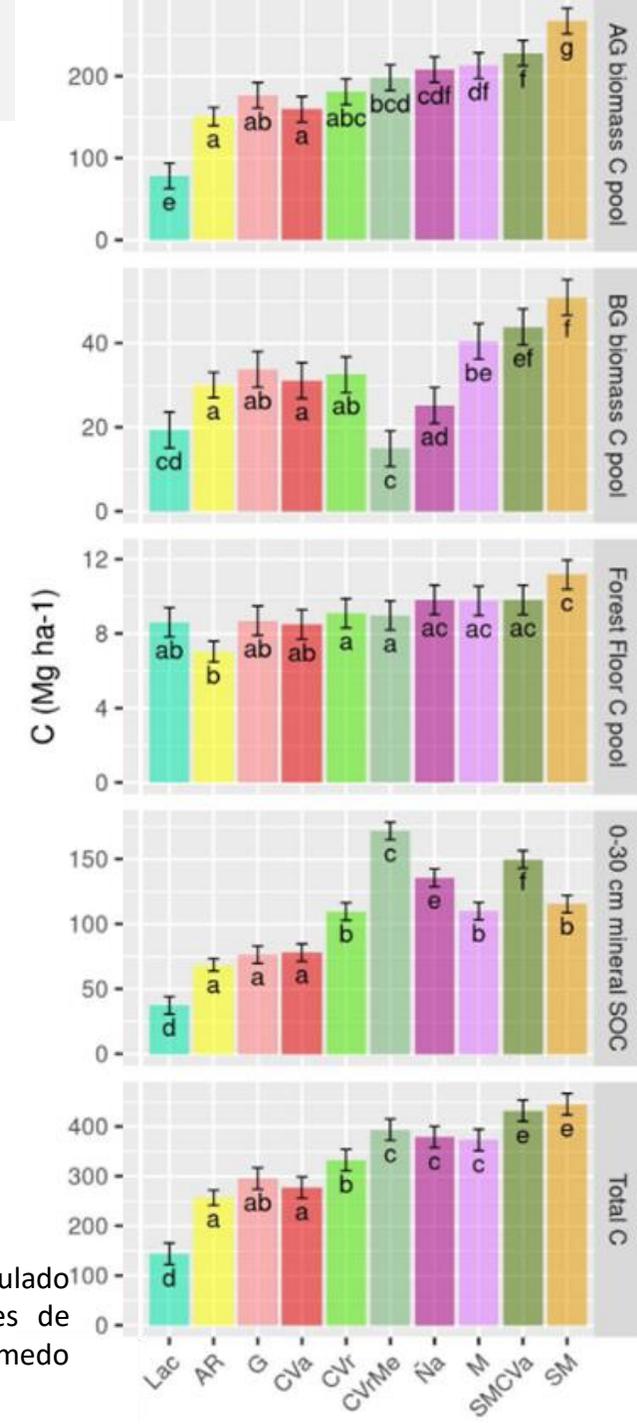


Figura 10: Carbono acumulado por suelo en plantaciones de *Pinus radiata* en Chile. Olmedo *et al.*, 2020.

# Objetivos

## Objetivo general:

Determinar los stocks de carbono en plantaciones de *Pinus radiata* creciendo en suelos de arena y trumaos con distinta productividad en edad de cosecha.

## Objetivos específicos:

1.- Determinar el carbono acumulado en la biomasa aérea y subterránea, en el piso forestal y en el suelo mineral en un gradiente de productividad en dos suelos contrastantes en plantaciones de *Pinus radiata* en edad de cosecha.

2.- Modelar el carbono almacenado en los componentes aéreos y subterráneos, respecto a variables del sitio, ambientales y del rodal en suelos de arena y trumao en plantaciones de *Pinus radiata* en edad de cosecha.

# Método

## Selección de sitios

10 sitios con rodales adultos de *Pinus radiata* pre-cosecha, en suelos contrastantes de arenas (5) y trumao (5), representativos en un gradiente de productividad.

Cuadro 1: Sitios de muestreo

Suelo	Comuna	Edad (años)	Densidad (arb/ha)	Volumen (m <sup>3</sup> /ha)	MAI (m <sup>3</sup> /ha/yr)
Arenas	Cabrero	22	503	343,8	15,2
Trumao	Quilaco	21	353	389	18,5
Arenas	Laja	21	467	433,1	20,6
Trumao	Pemuco	21	417	432,9	20,6
Arenas	Yumbel	22	477	471,9	21,4
Arenas	Los Ángeles	23	520	537,3	23,4
Trumao	Quilleco	22	448	549,1	25
Trumao	Mulchén	20	420	516,3	25,8
Arenas	Laja	23	467	626,5	27,2
Trumao	Mulchén	23	457	687	29,9

Cuadro 2: Medias por tipo de suelo.

Suelo	DAP (cm)	Altura (m)	Densidad (arb/ha)	Volumen (m <sup>3</sup> /ha)
Arenas	34,1	30,5	492 *	475,8
Trumao	36,7	33,6	399 *	505,5

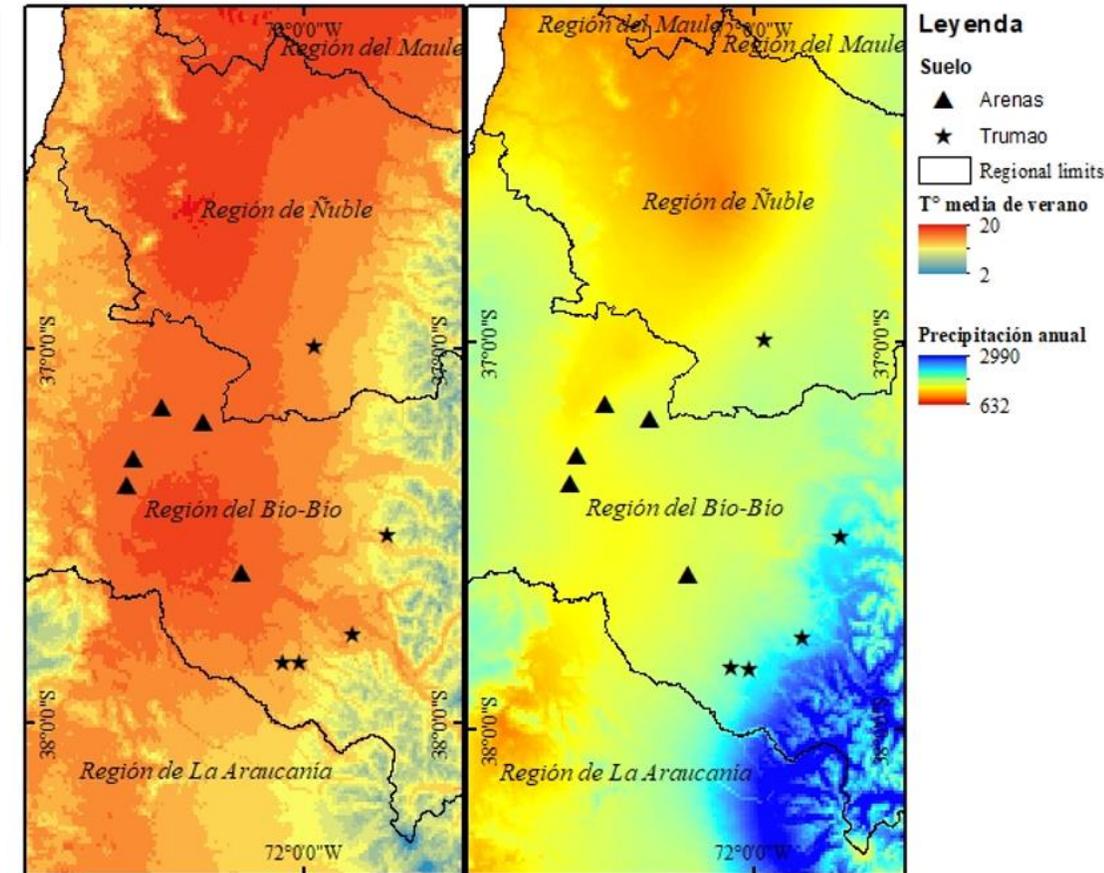
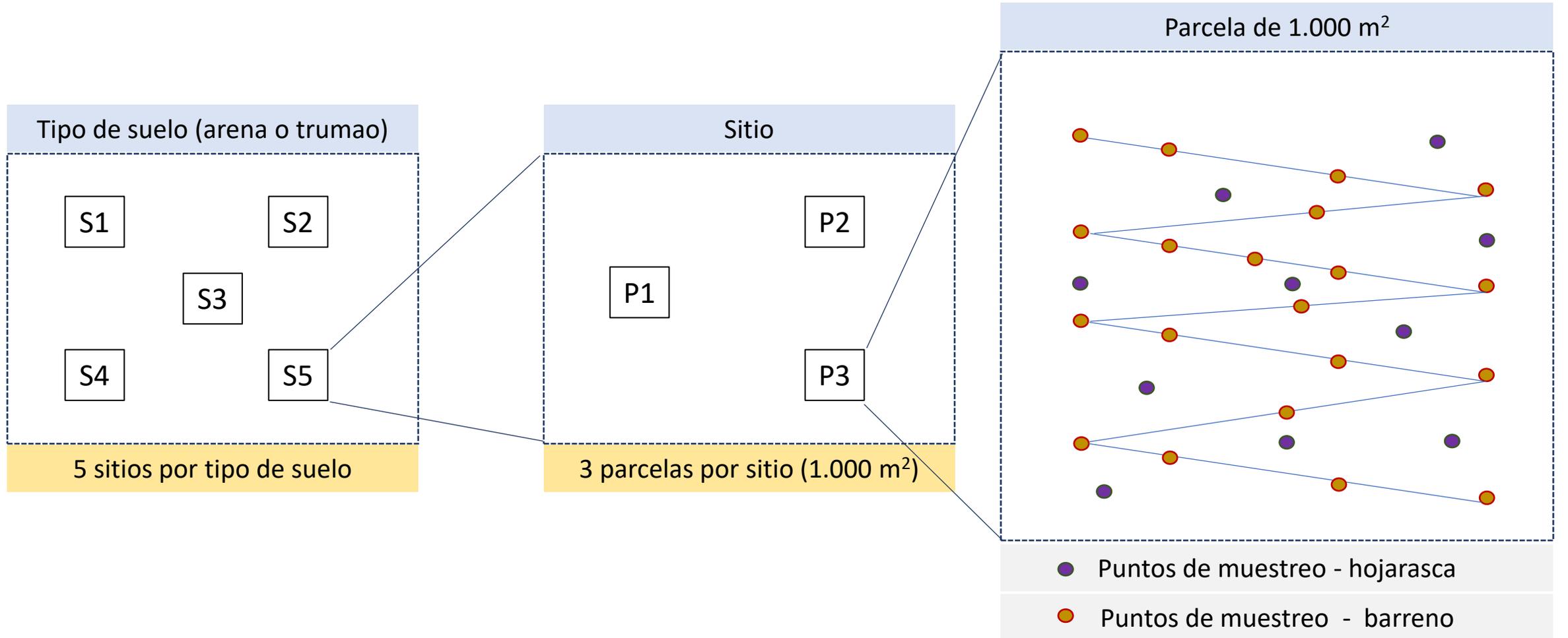


Figura 9: Sitios de muestreo. En la izquierda, temperatura media de verano, y derecha precipitación anual acumulada.

# Método

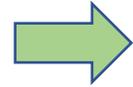
## Determinación de pools de carbono en los rodales de *Pinus radiata*



# Método

## Biomasa aérea y subterránea

Mediciones de crecimiento: DAP y H total  
(todos los árboles de cada parcela de 1000 m<sup>2</sup>)



30 parcelas  
totales



Revisión de ec. alométricas y  
coeficientes de fracción de  
biomasa para *P. radiata*



Estimación de  
biomasa aérea



Estimación de  
biomasa subterránea

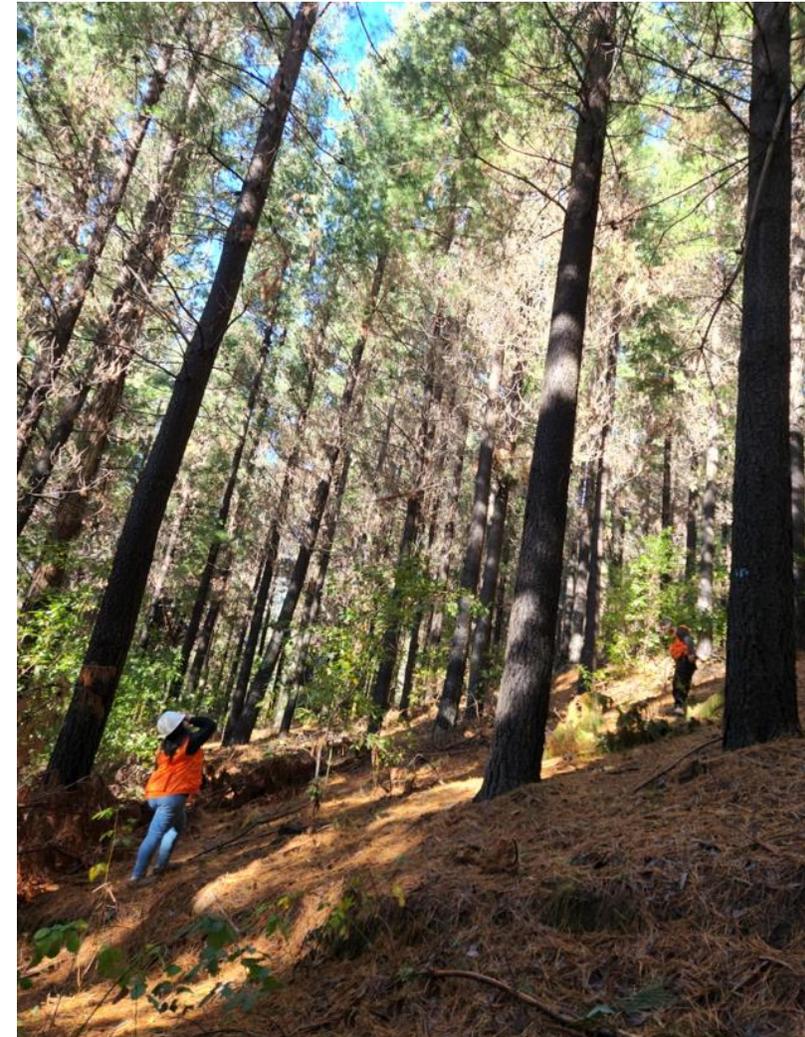


Figura 10: Medición de altura en plantación de *Pinus radiata*.

# Método

## Muestreo de carbono en suelo mineral: Calicata (1 /sitio)

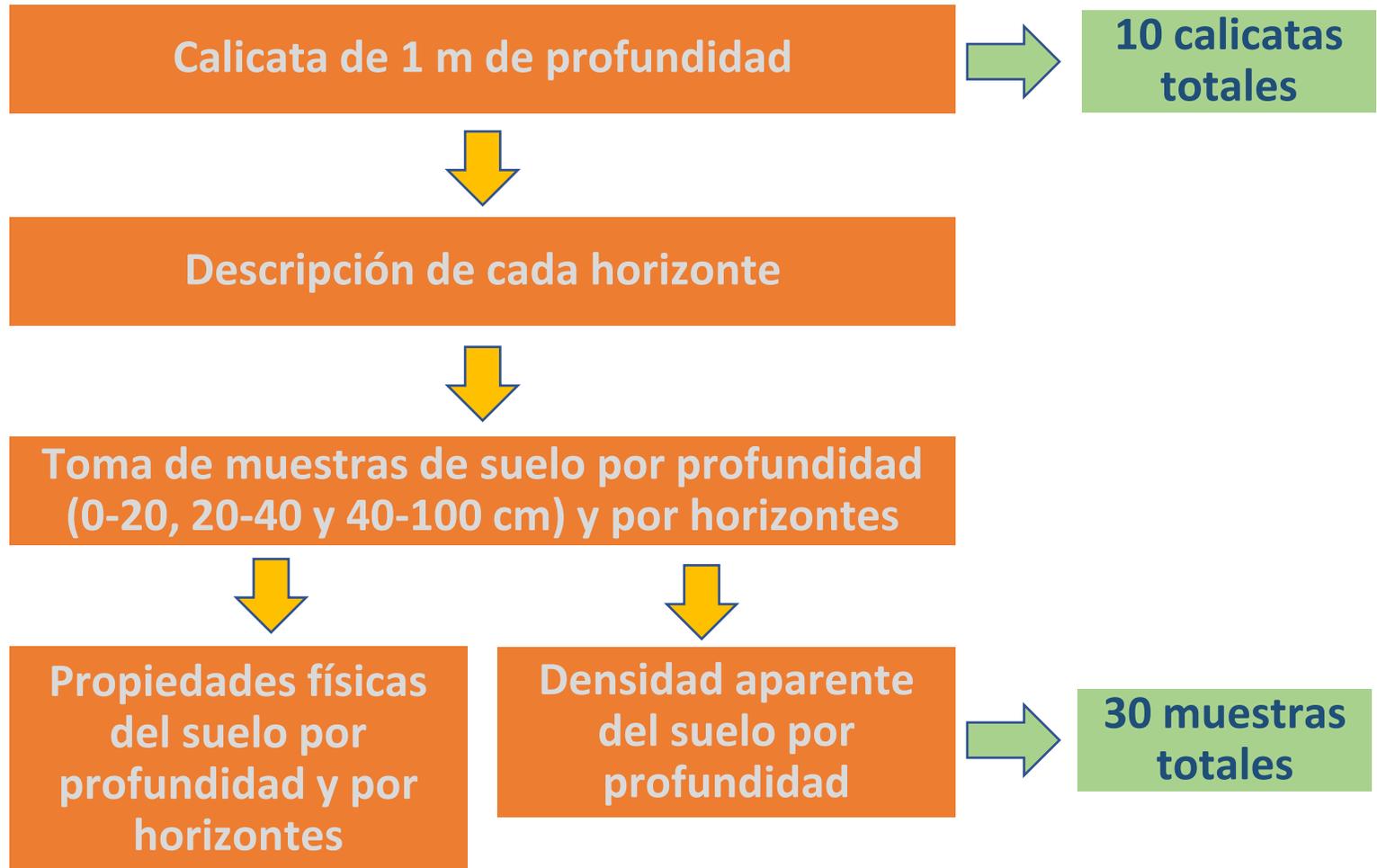


Figura 11: Descripción de calicata y muestreo de densidad aparente de suelo con cilindro de volumen de 100 cm<sup>3</sup>.

# Método

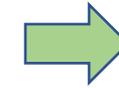
## Muestreo de carbono en suelo mineral: Barrenos



20 puntos/parcela de barrenos a 3 profundidades: 0-20, 20-40 y 40-100 cm



Muestra compuesta de cada profundidad por parcela



90 muestras totales



Secado , tamizado y molienda



Determinación de carbono de suelo (IRMS)\*



Figura 12: Muestreo de suelo mineral usando barreno y separando por profundidad.

\*Infrared Mass Spectroradiometer (IRMS, SERCON Scientific Inc.)

# Método

## Muestreo de carbono en piso forestal

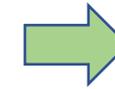


Figura 13: muestreo de piso forestal con marco de área de 0,2 m<sup>2</sup>.

10 puntos/parcela de piso forestal con marco de área = 0,2 m<sup>2</sup>.



Separación entre hojarasca y residuos



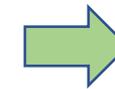
600 muestras totales



Secado y pesado de muestras



Mezclar (homogenizar) todas las muestras de hojarasca y por separado las de residuos



60 muestras unificadas



Mufla (cenizas)



Carbono (IRMS)

# Método

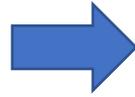
## 3.- Análisis de datos

**Objetivo 1. Determinar el carbono acumulado en la biomasa aérea y subterránea, en el piso forestal y en el suelo mineral en un gradiente de productividad en dos suelos contrastantes en plantaciones de *Pinus radiata* en edad de cosecha.**

### Componente

### Determinación de carbono

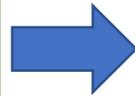
Carbono de biomasa aérea ( $CB_a$ )



$$CB_a = \sum_{i=1}^3 C * B_i$$

C: concentración de C (0.47, según IPCC) y  $B_i$ : biomasa del componente i (fuste, rama, hoja, por ec. alométricas)

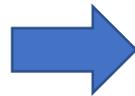
Carbono de biomasa subterránea ( $CB_s$ )



$$CB_s = B_s * C$$

$B_s$ : biomasa subterránea (por ec alométricas) y C: concentración de C (0.47, según IPCC)

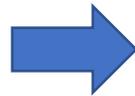
Carbono de suelo mineral ( $C_s$ )



$$C_s = \sum_{i=1}^3 C_i * BD_i * h_i * (1 - \theta_i)$$

$C_i$ : concentración de C (%),  $BD_i$ : densidad aparente,  $h_i$ : es altura de la profundidad i y  $\theta_i$  es la proporción de fragmentos gruesos (> 2mm)

Carbono de piso forestal ( $C_{pf}$ )



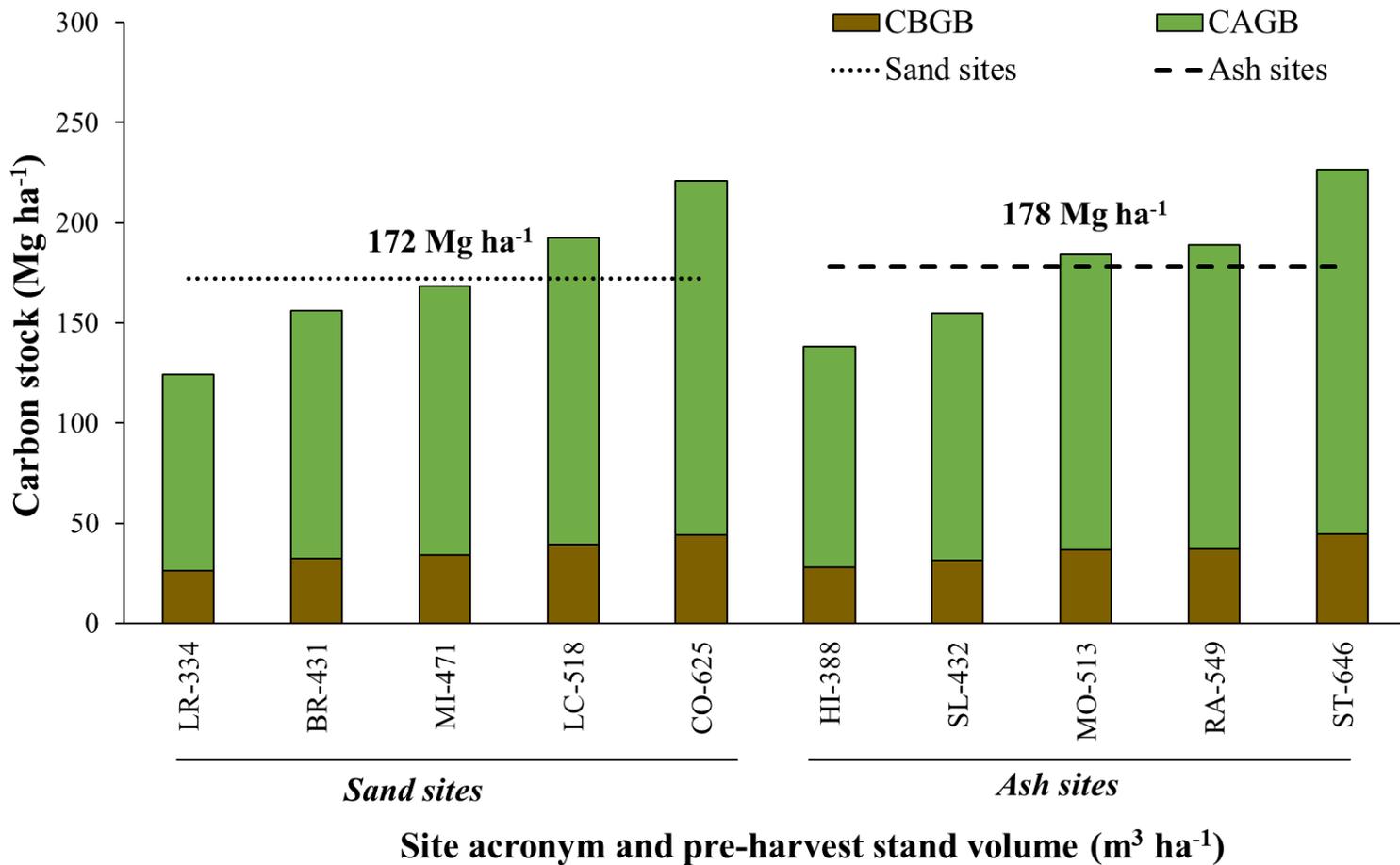
$$C_{pf} = \sum_{i=1}^n C_i * Ps_i$$

$C_i$ : concentración de C (%),  $Ps_i$ : peso seco de piso forestal, i: hojarasca y residuos.

# Resultados



# Carbono en biomasa aérea y subterránea: Sitios de contrastante productividad



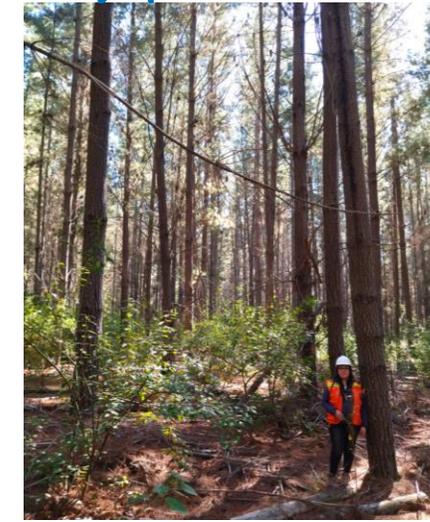
**Arenas volcánicas.  
Baja productividad**



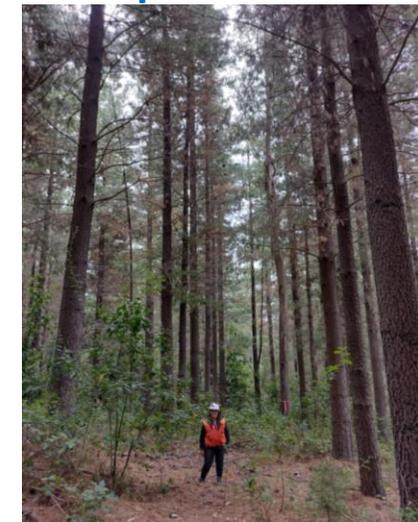
**Arenas volcánicas.  
Alta productividad**



**Cenizas volcánicas.  
Baja productividad**



**Cenizas volcánicas.  
Alta productividad**



Tipo de suelo	NHA (trees ha <sup>-1</sup> )	DBH (cm)	HT (m)	BA (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	VOL (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	MAI (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )
Trumaos	398.7 *	36.7 *	33.6 *	42.6 ns	505.5 ns	23.5 ns
Arenas	492.0 *	34.1 *	30.5 *	45.4 ns	475.8 ns	21.4 ns

# Características físicas del Suelo hasta 1 m

Tipo de suelo	Profundidad (cm)	B.D. (gr cm <sup>3</sup> )	N total	C total	SWHC	Clay	Silt	Sand
			%					
Trumaos	0 - 20	0.57	0.41	7.08	29.36	8.80	43.02	48.18
	20 - 40	0.63	0.28	4.90	23.32	7.38	37.65	54.98
	40 - 100	0.66	0.20	3.37	24.12	6.37	35.52	58.11
Arenas	0 - 20	1.13	0.08	1.66	6.87	2.96	26.94	70.09
	20 - 40	1.19	0.05	1.19	8.54	2.96	17.72	79.32
	40 - 100	1.34	0.05	0.94	6.56	3.25	8.07	88.68



**Arenas volcánicas.  
Baja productividad**



**Arenas volcánicas.  
Alta productividad**

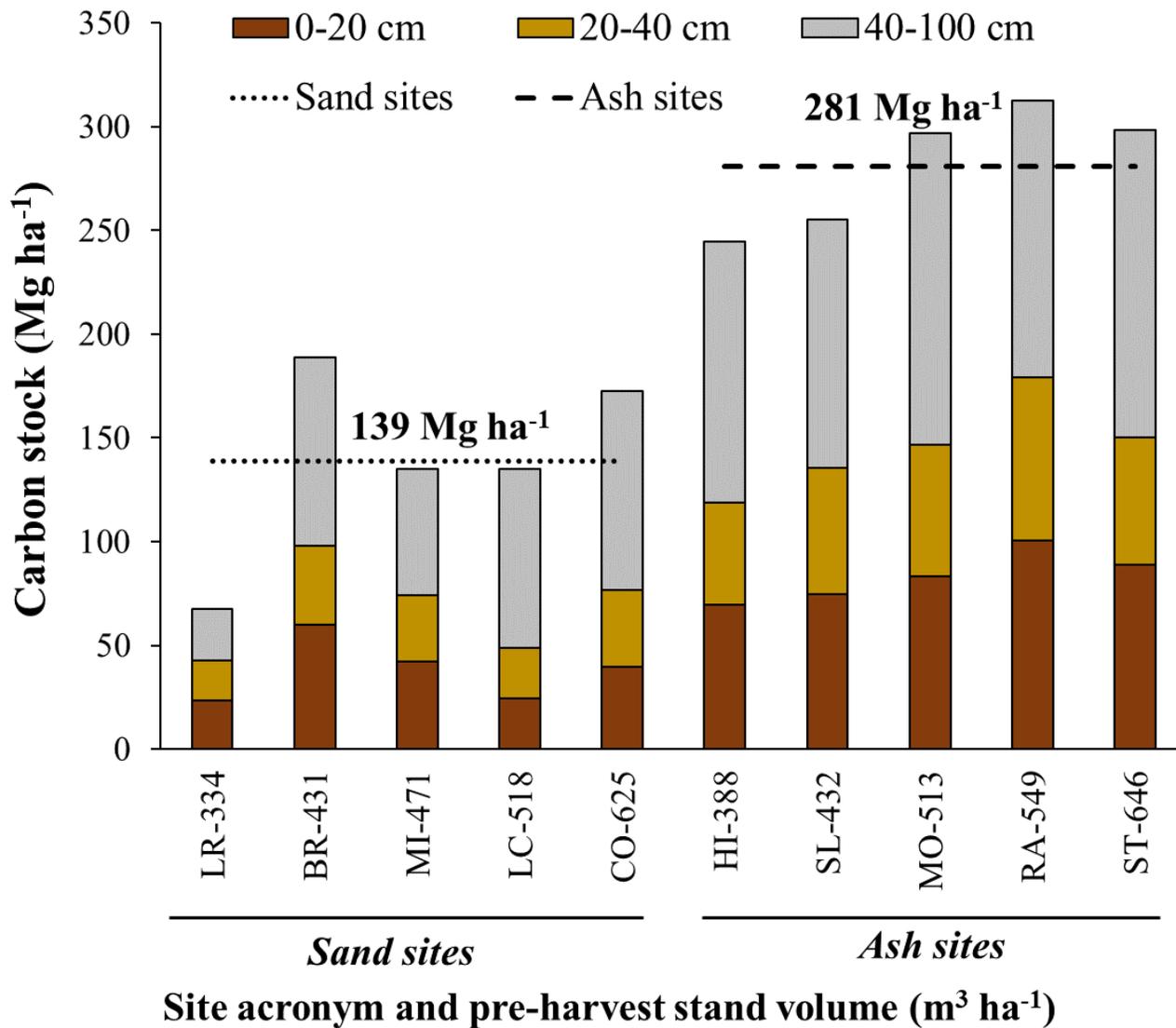


**Cenizas volcánicas.  
Baja productividad**

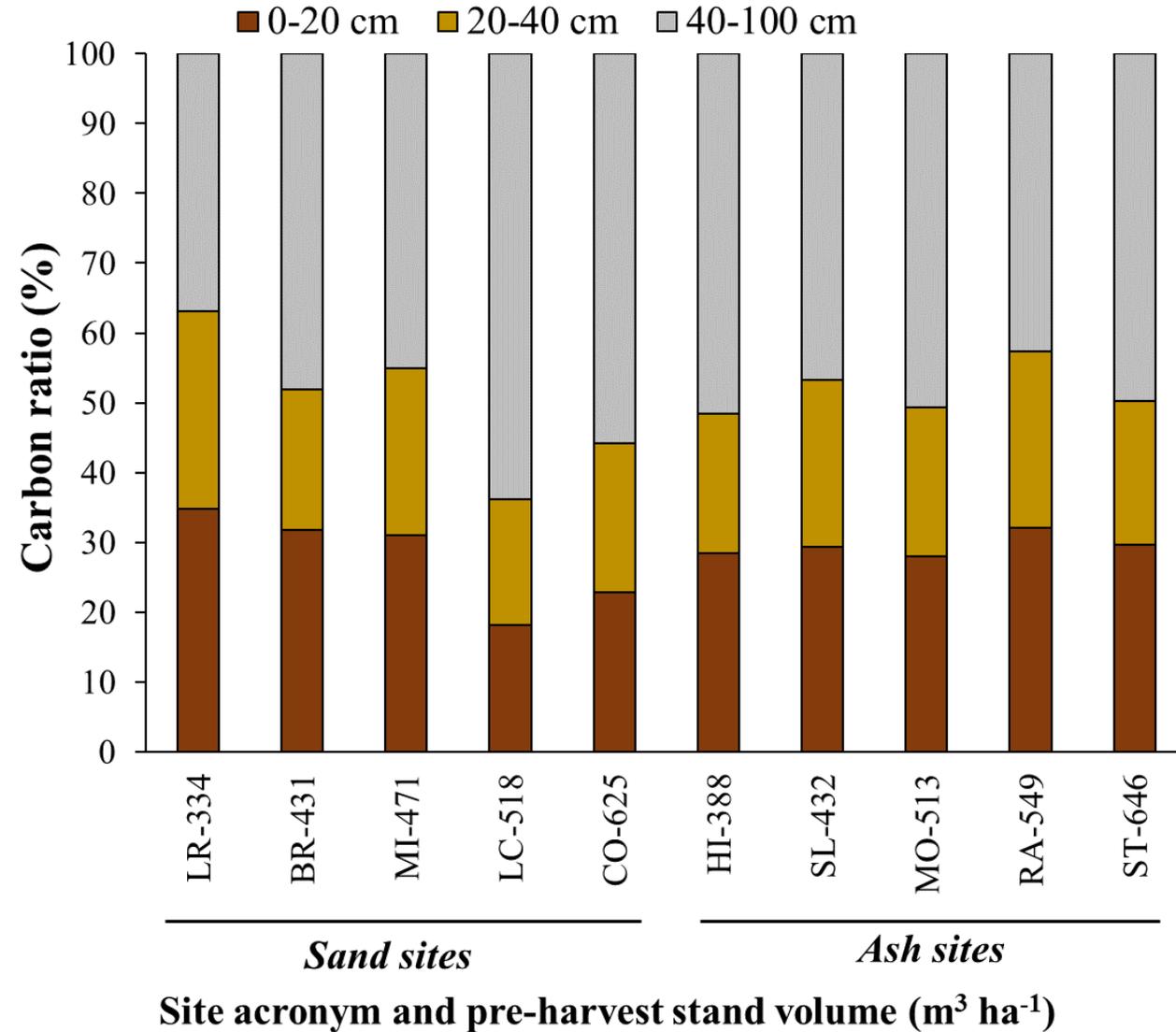


**Cenizas volcánicas.  
Alta productividad**

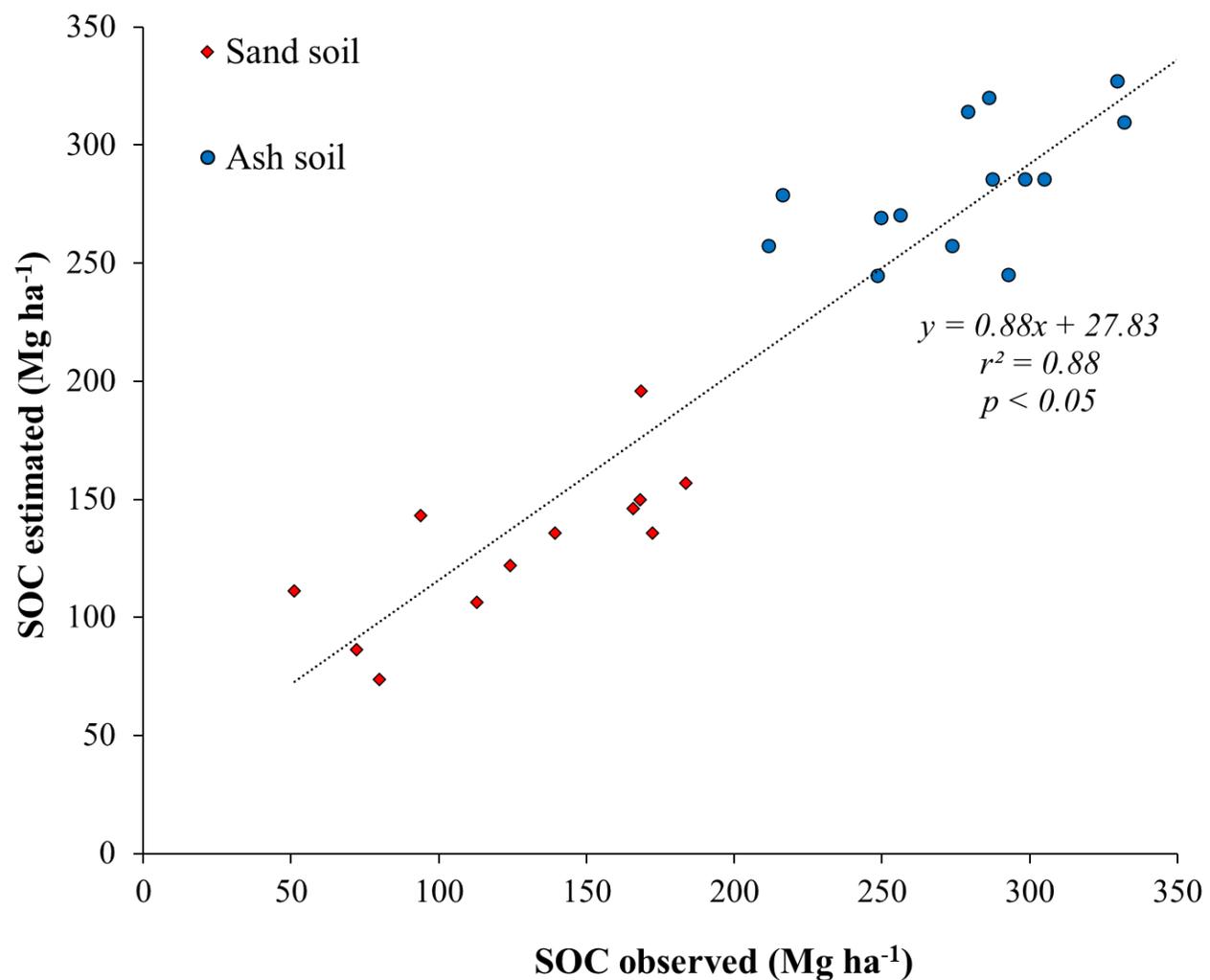
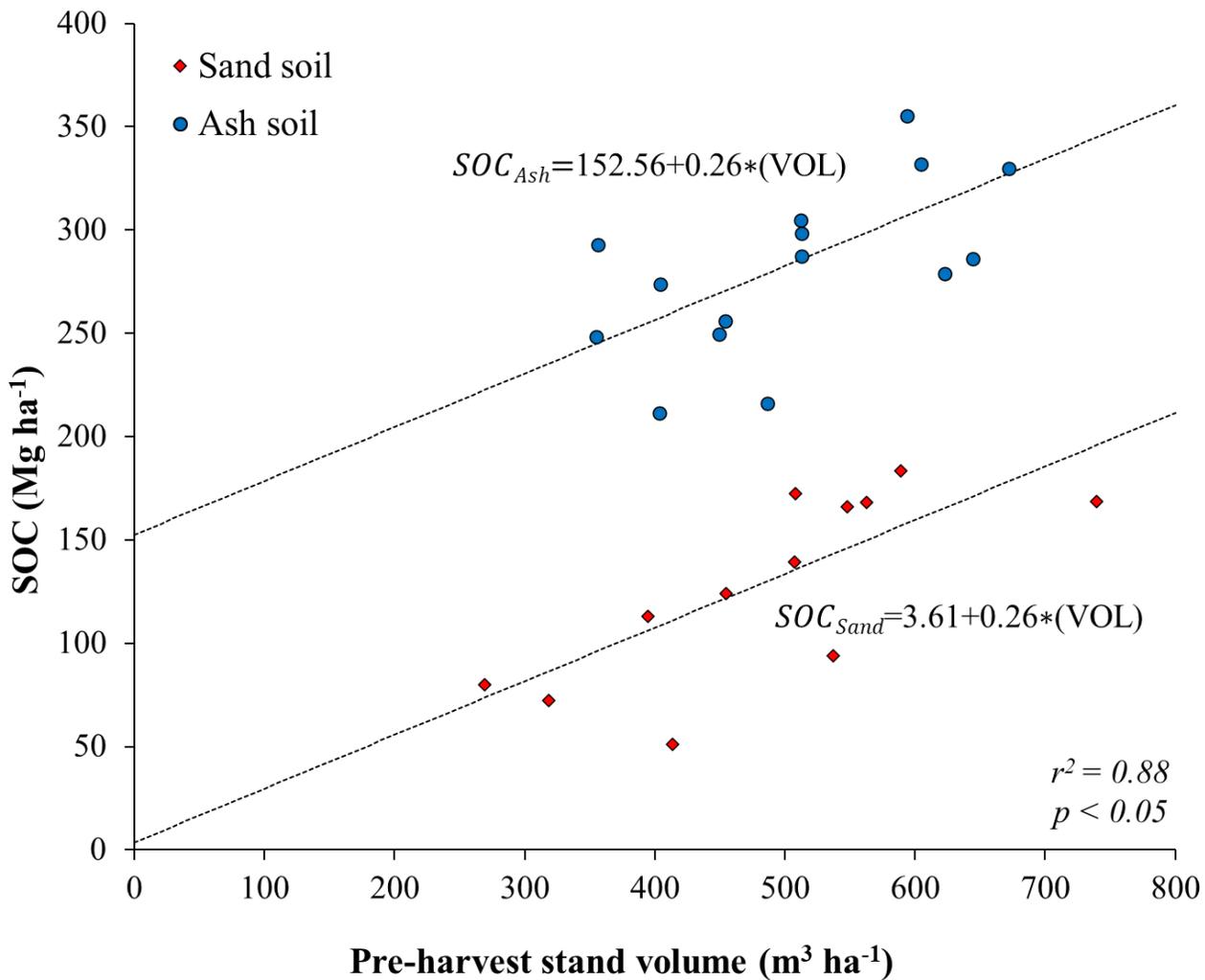
## Carbono en Suelo mineral (hasta 1 m)



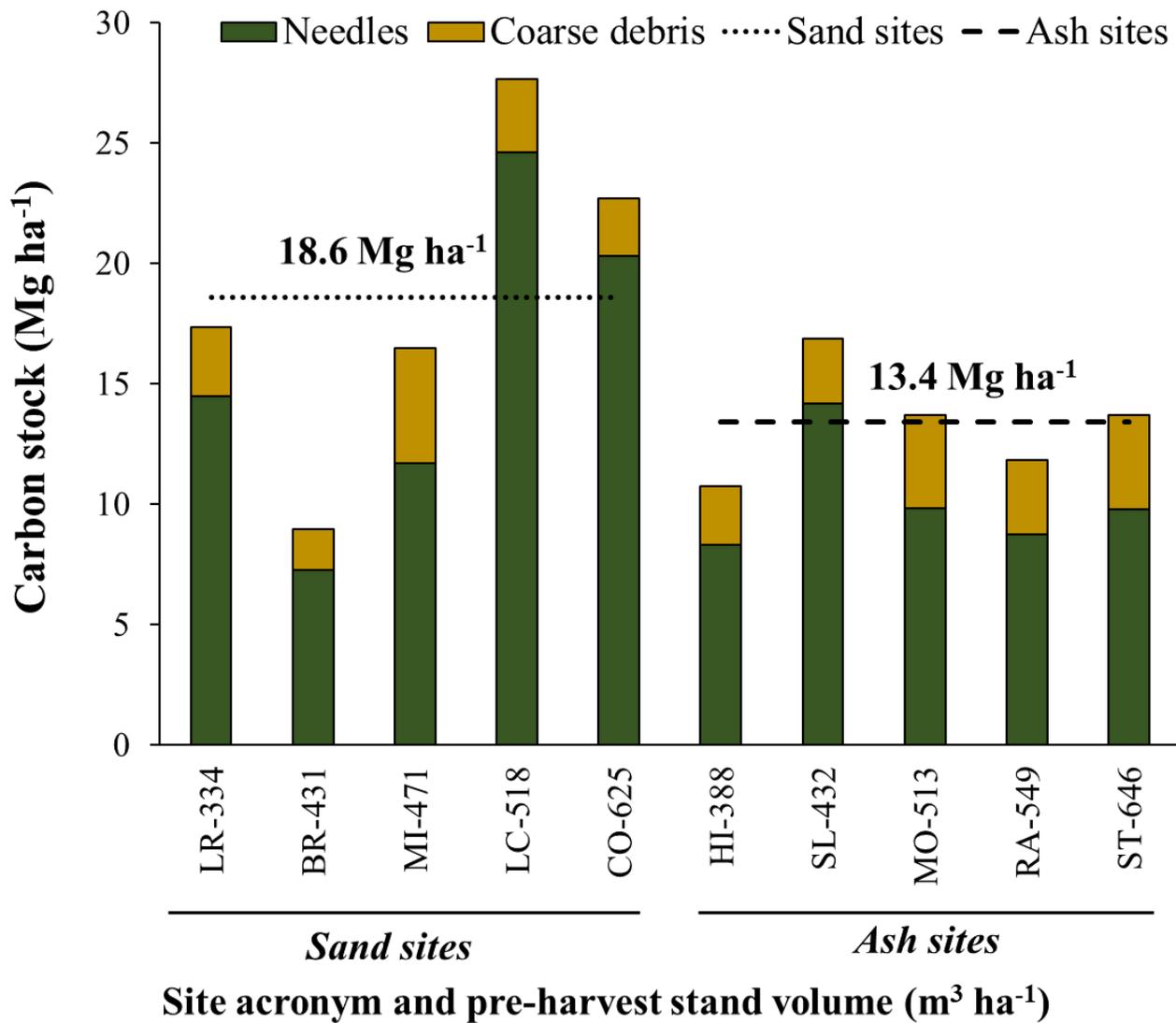
## Proporción de C en Suelo mineral (hasta 1 m)



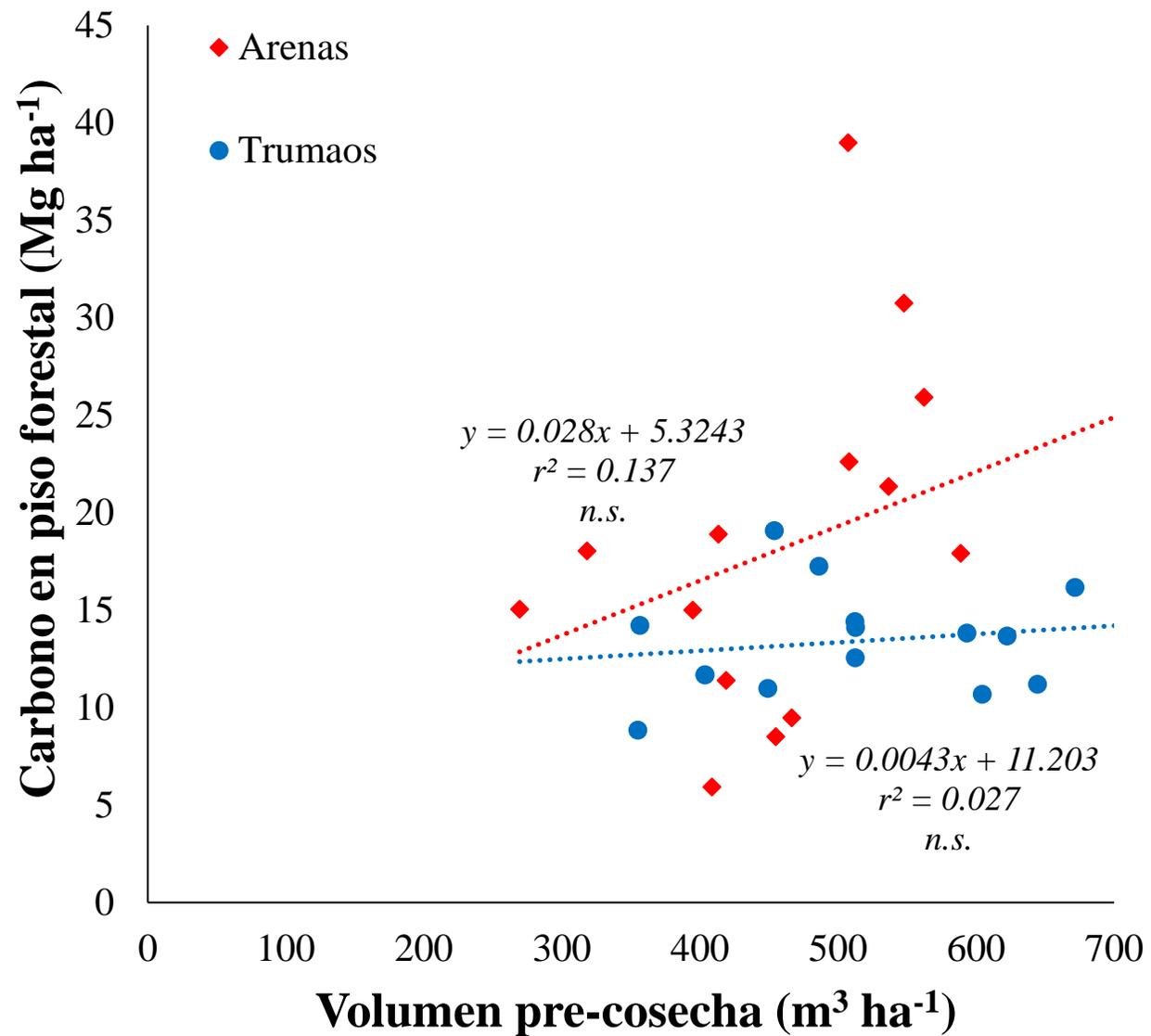
# Relación entre el Carbono del Suelo (SOC, hasta 1 m) y el Volumen pre-cosecha del rodal



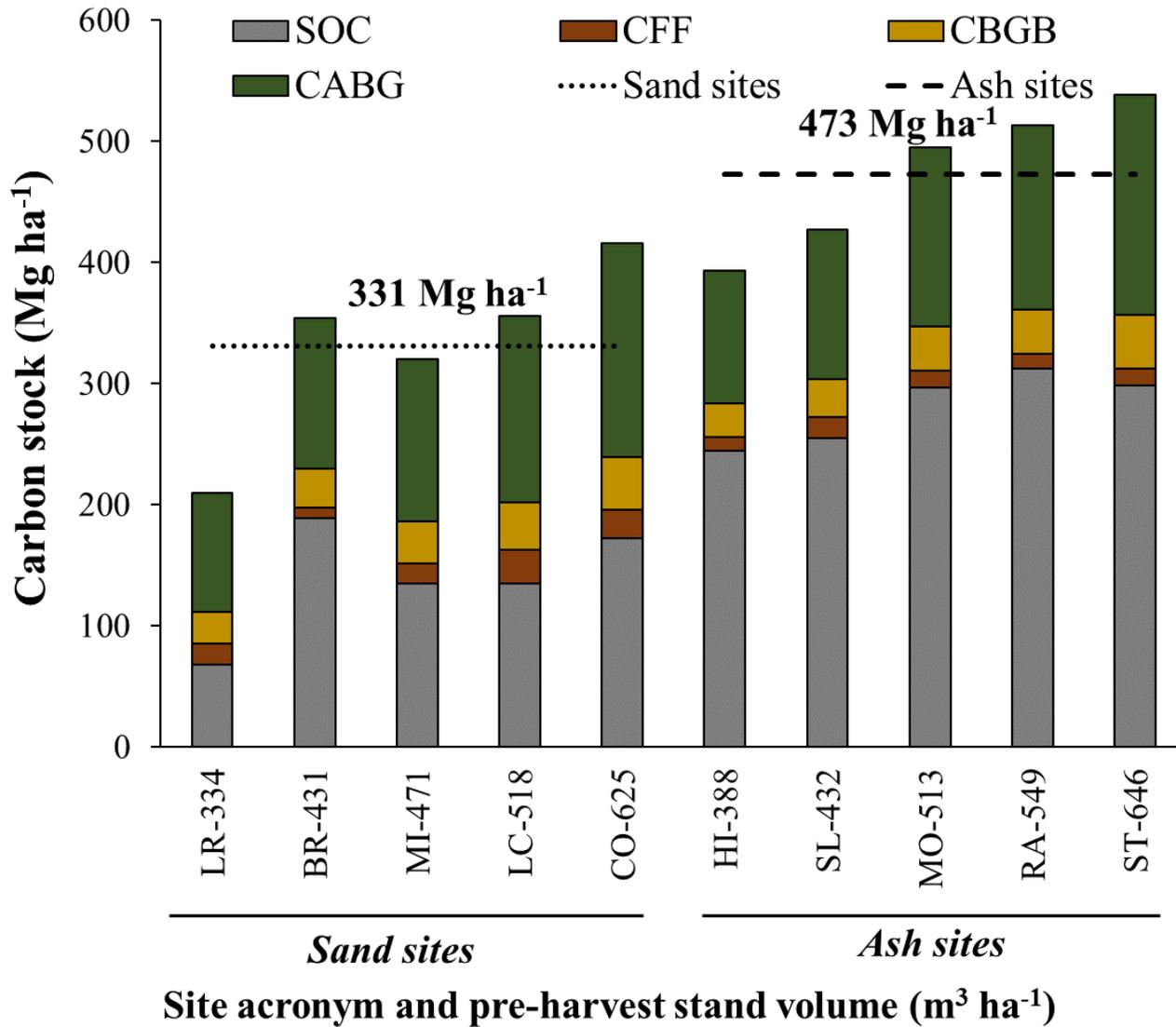
## Carbono en Piso forestal



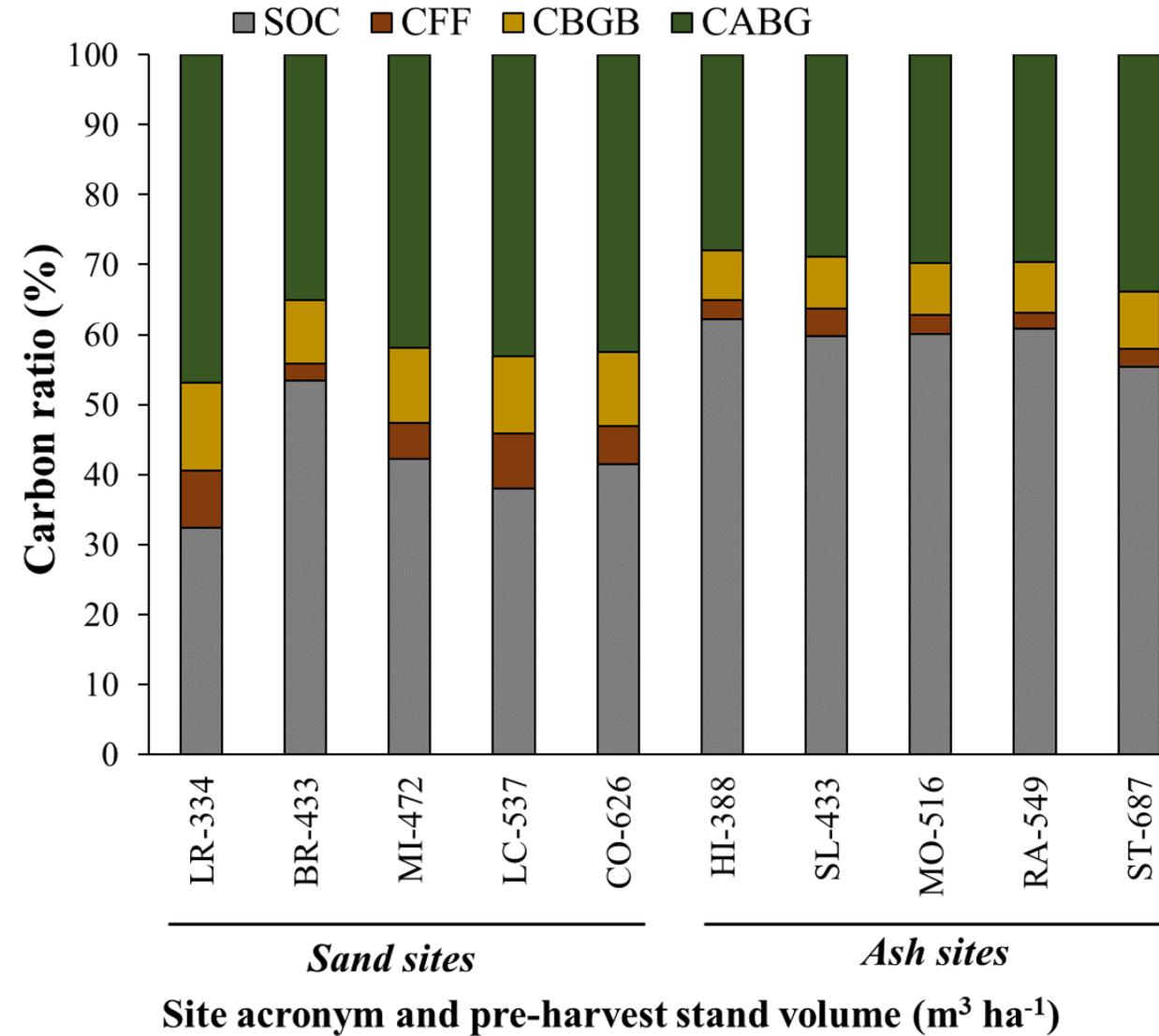
## Relación entre el Carbono del Piso forestal con Volumen



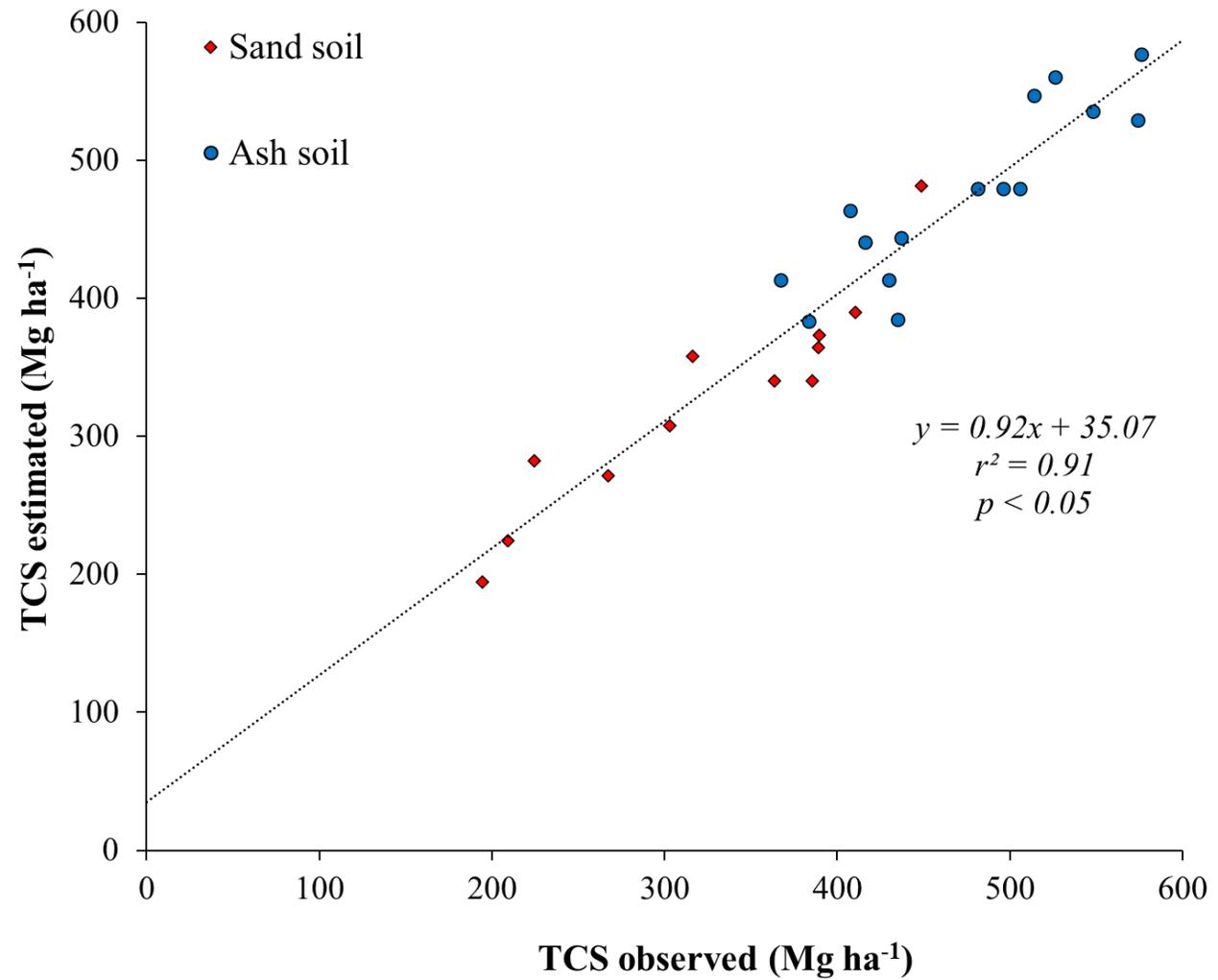
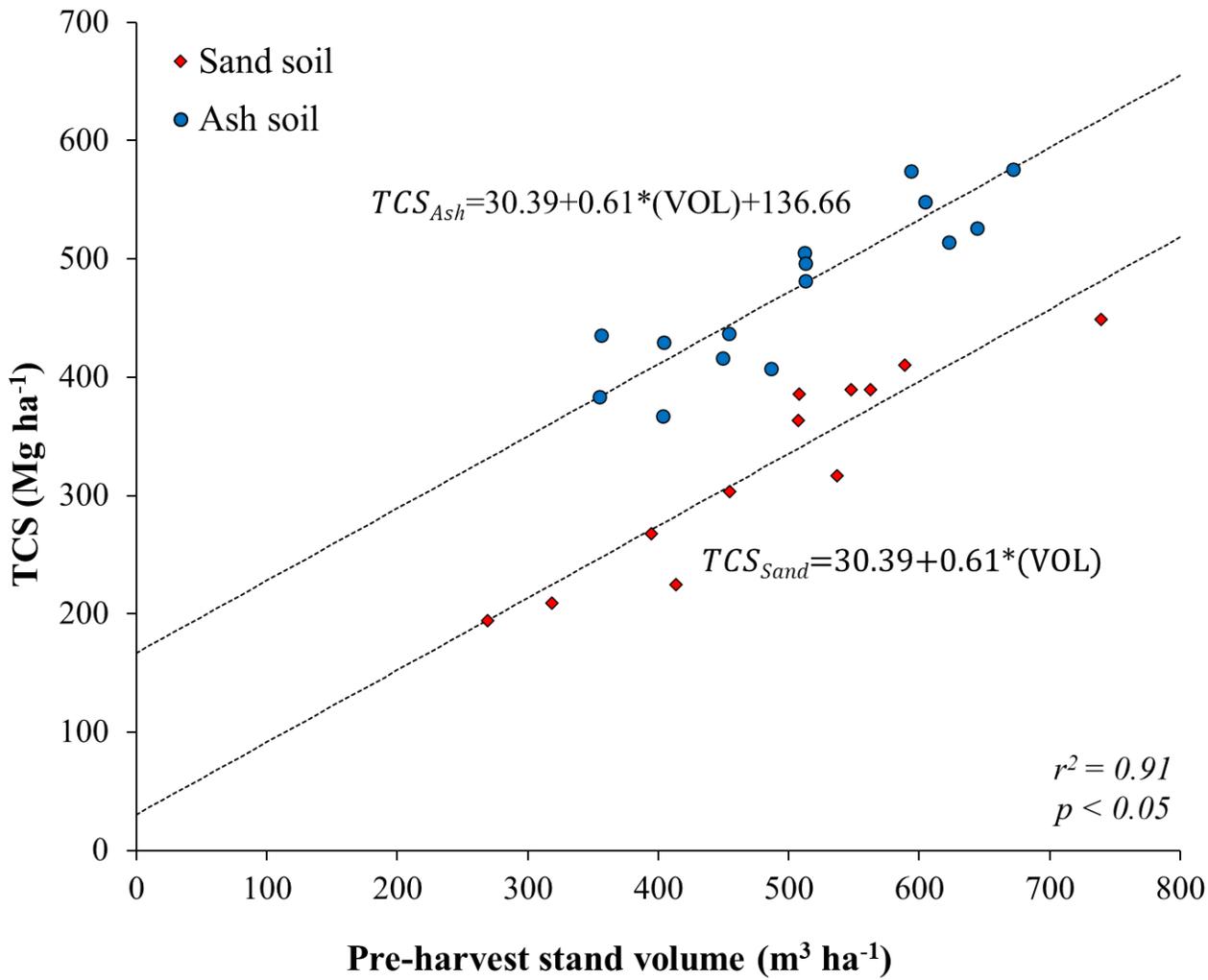
## Carbono total acumulado



## Proporción de carbono total



# Relación entre el Stock Total de Carbono (TCS) y el Volumen pre-cosecha del rodal



# CONCLUSIONES

- Mayor acumulación de carbono en los sitios de cenizas volcánicas (+ 142 Mg ha<sup>-1</sup>) que en arenas.
- Modelos de C permiten una buena estimación del C en el suelo mineral y a nivel del rodal, con un aumento de los stocks de C respecto a la productividad del sitio.
- En cenizas volcánicas, el carbono acumulado está principalmente representado en el suelo mineral (60%), seguido de la biomasa total (38%). En sitios de arenas volcánicas, se presentó más carbono acumulado en la biomasa total (53%), seguido del suelo mineral (42%).
- El piso forestal representó en ambos sitios la menor proporción de carbono acumulado, sin relación con la productividad del sitio.

# Agradecimientos



**ANID BASAL  
FB210015**



**FOVI 220029**

