



*Seminario Internacional*  
**Sustentabilidad de Bosques y  
Plantaciones Forestales en el Día  
Internacional de los Suelos**

*Martes 5 de diciembre 2023*  
*Auditorio Principal de la Facultad de Ciencias Forestales, UdeC*



Universidad de Concepción



Centro Nacional  
**CENAMAD**  
para la Industria de la Madera



Agencia  
Nacional de  
Investigación  
y Desarrollo

Ministerio de Ciencia,  
Tecnología, Conocimiento  
e Innovación

Gobierno de Chile

## Dinámica de nutrientes y emisiones de CO<sub>2</sub> de la respiración microbiana de suelos afectados por incendios forestales.



Claudia Garrido Ruiz

Concepción, 5 de diciembre del 2023.

## Fire severity and intensity

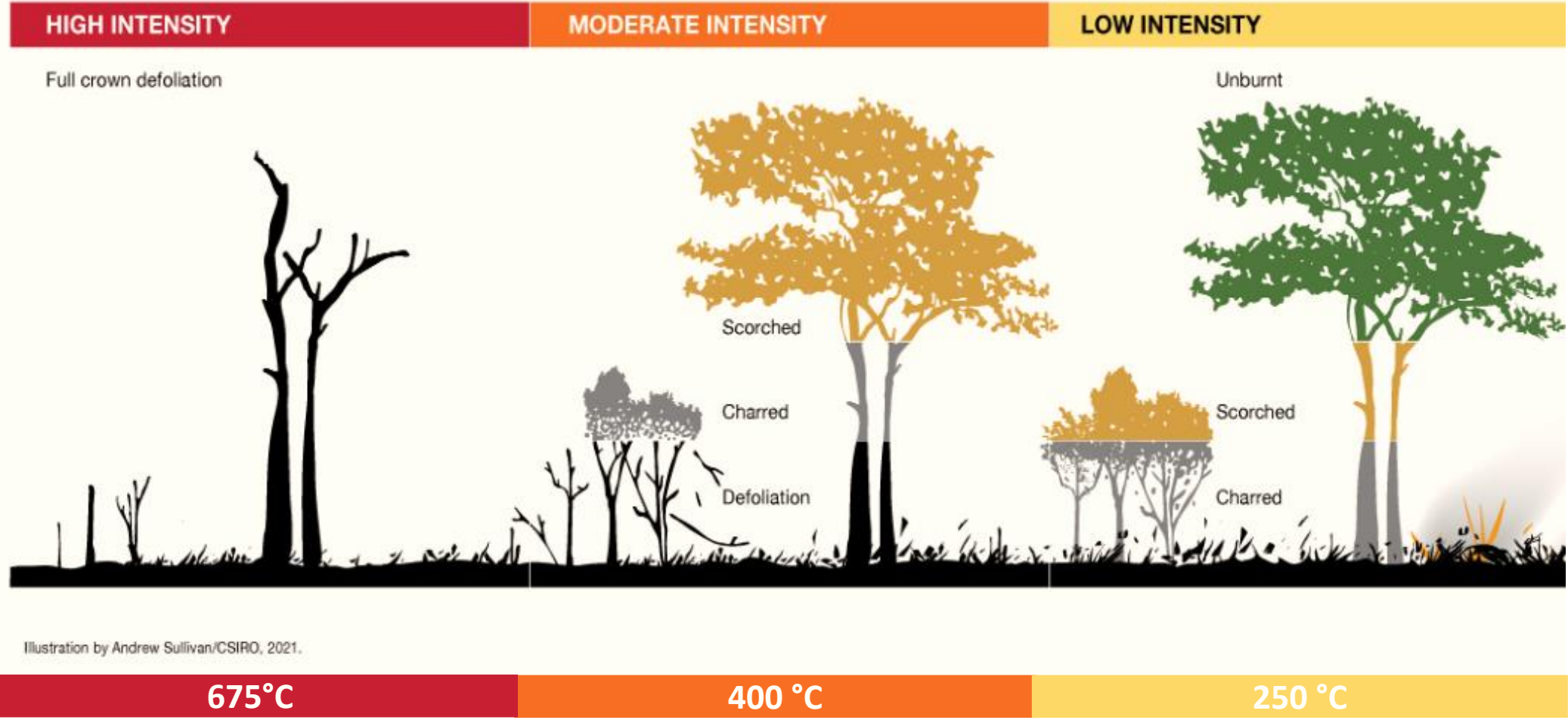
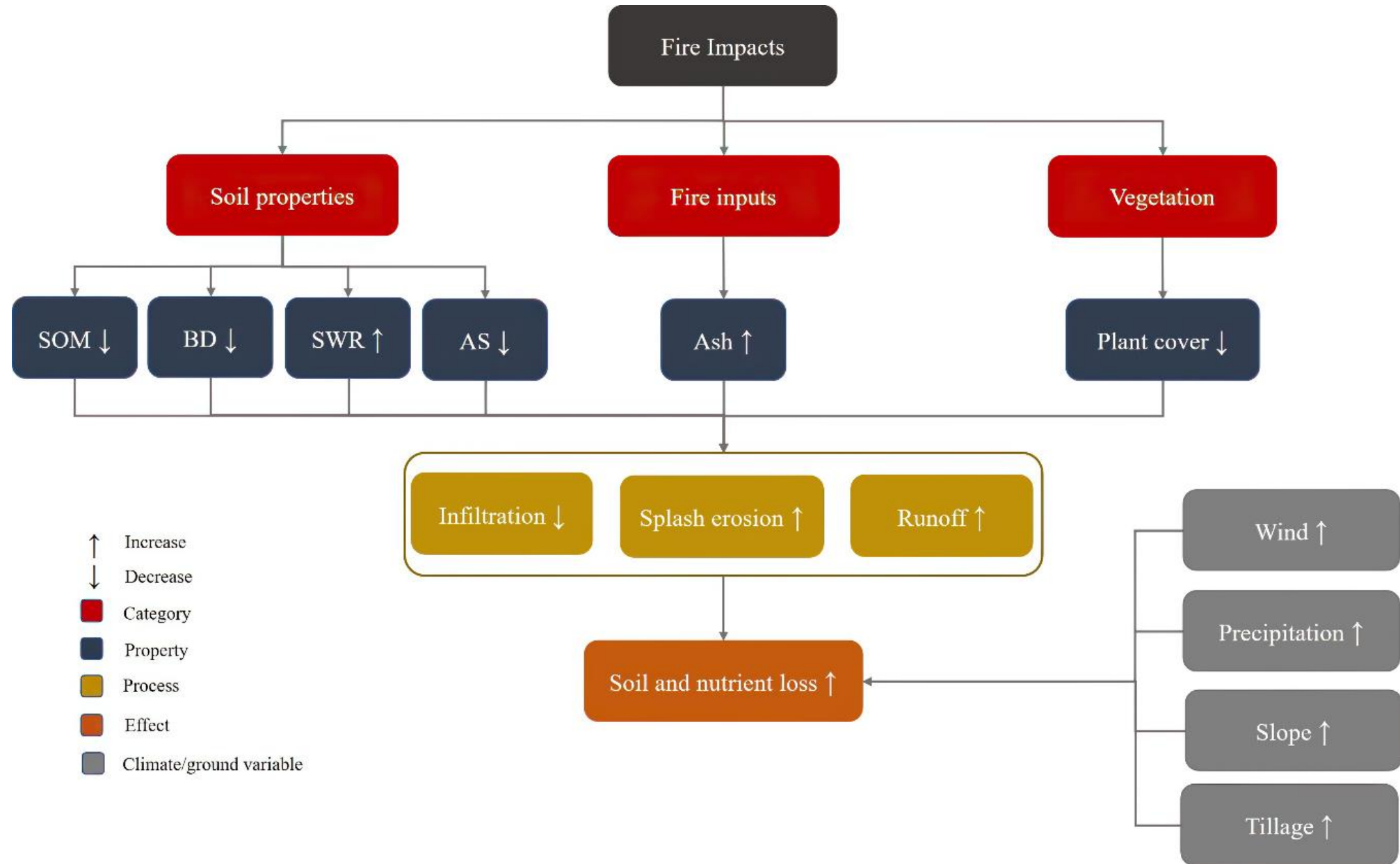


Illustration by Andrew Sullivan/CSIRO, 2021.

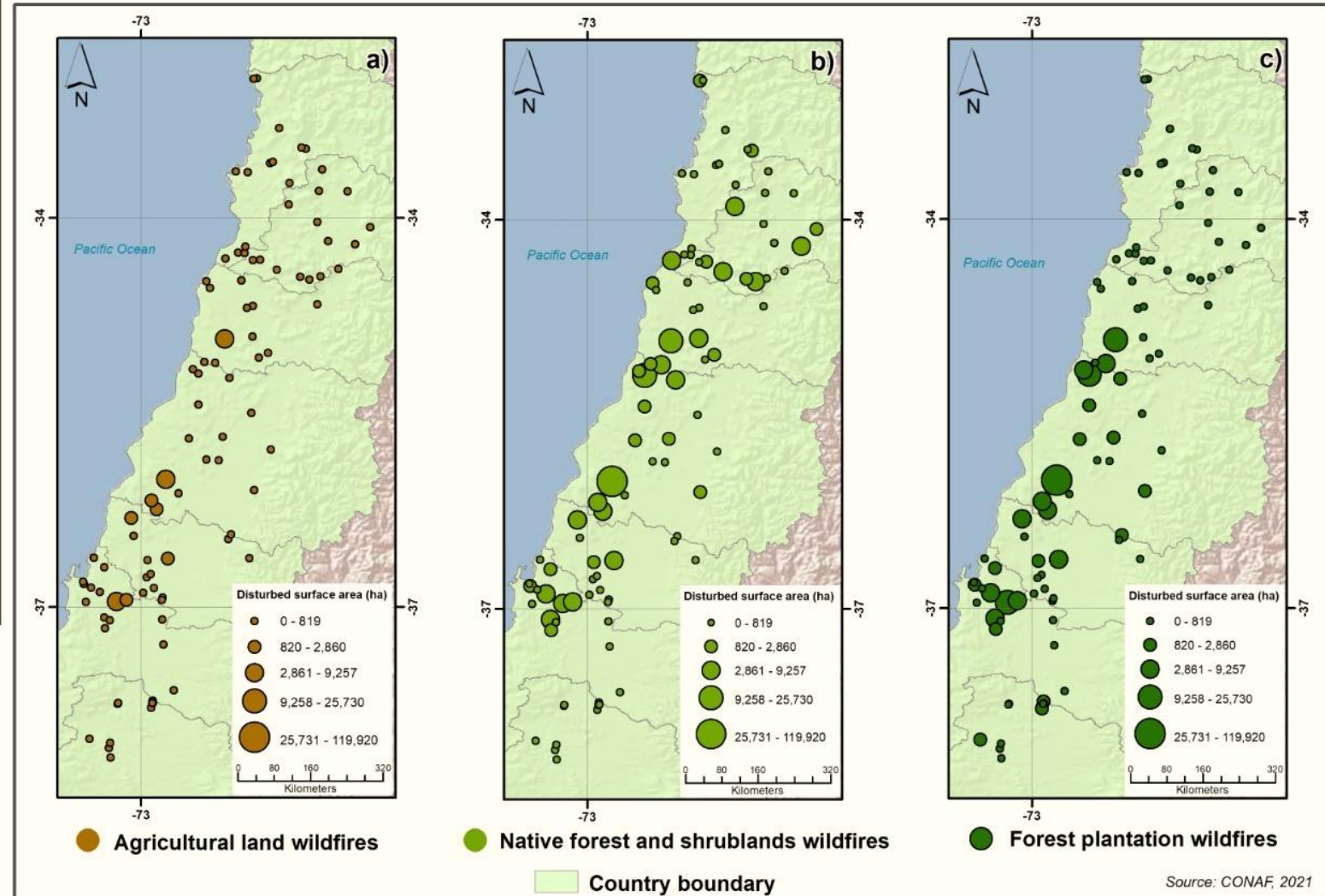
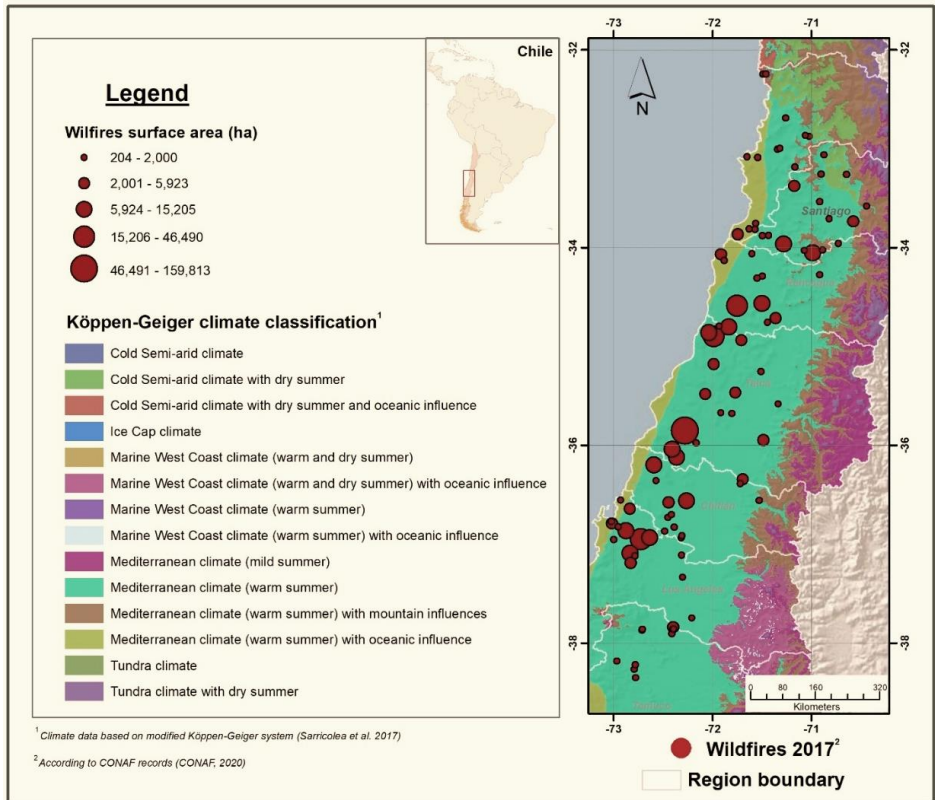
Fire severity emphasized the degrees of organic matter loss or decomposition both aboveground and belowground.

Substantial oxidation of SOM begins in the 200-250 °C.

# ALTERACIONES DEL FUEGO



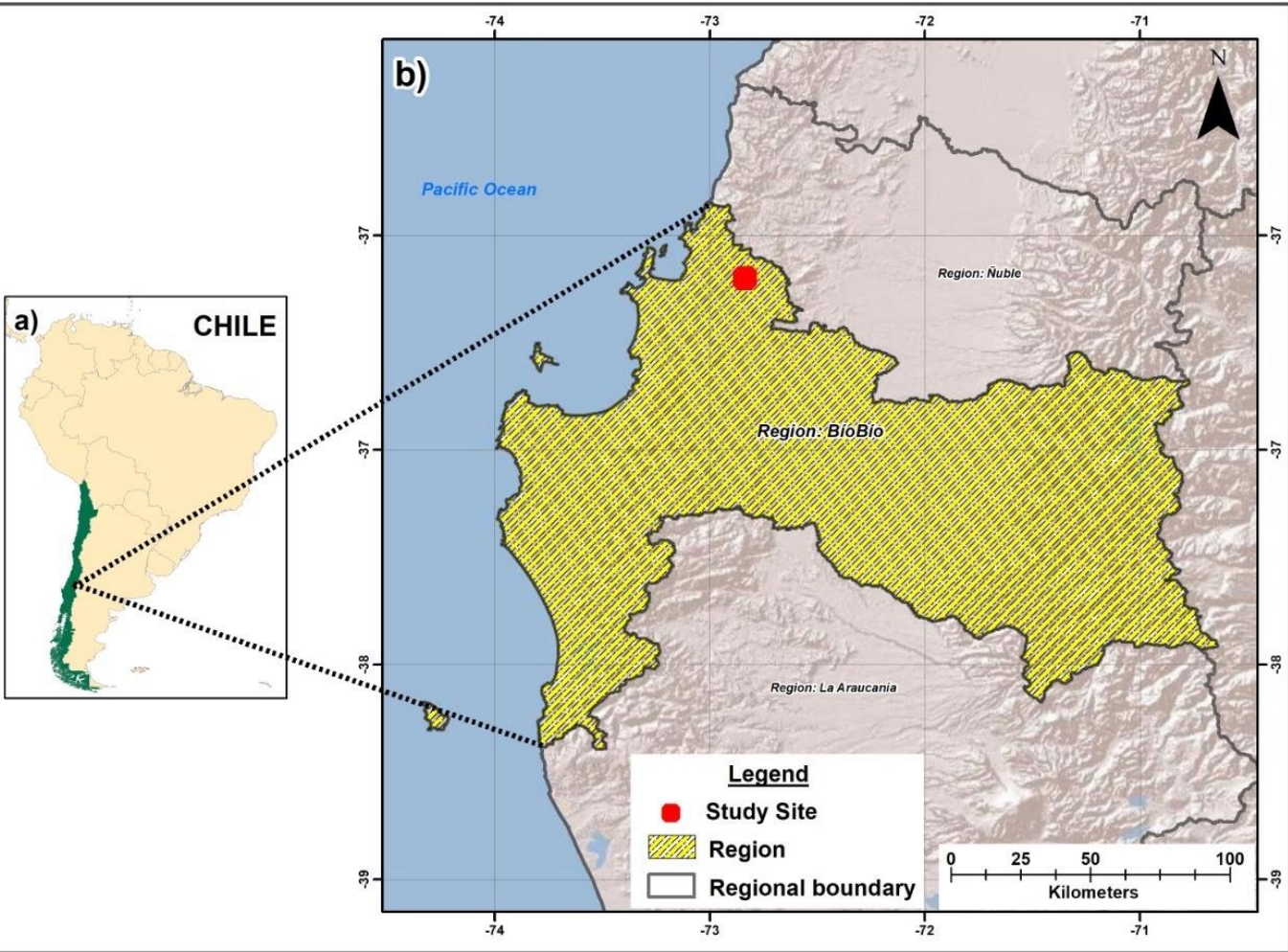
# INCENDIOS 2017



95% occur in Mediterranean-climate (warm summer).

- 223,605 ha of forest plantations
- 187,906 ha of native forest and shrublands.
- 28,729 ha of agricultural lands.

# SITIO DE ESTUDIO



- 9-15% slope
- Clay loam
- Alfisols
- 1.663 mm

## PROPIEDADES DEL SUELO EVALUADAS

- ❖ 21 propiedades químicas
- ❖ 11 propiedades físicas
- ❖ 8 propiedades biológicas

### ANÁLISIS QUÍMICOS

- ❖ pH
- ❖ N, P y K disponible
- ❖ Ca, Mg, Na, Al intercambiable
- ❖ Bases
- ❖ CICE
- ❖ Saturación de Al, K, Ca, Mg.
- ❖ S, Fe, Mn, Zn, Cu y B disponible

### ANÁLISIS FÍSICOS

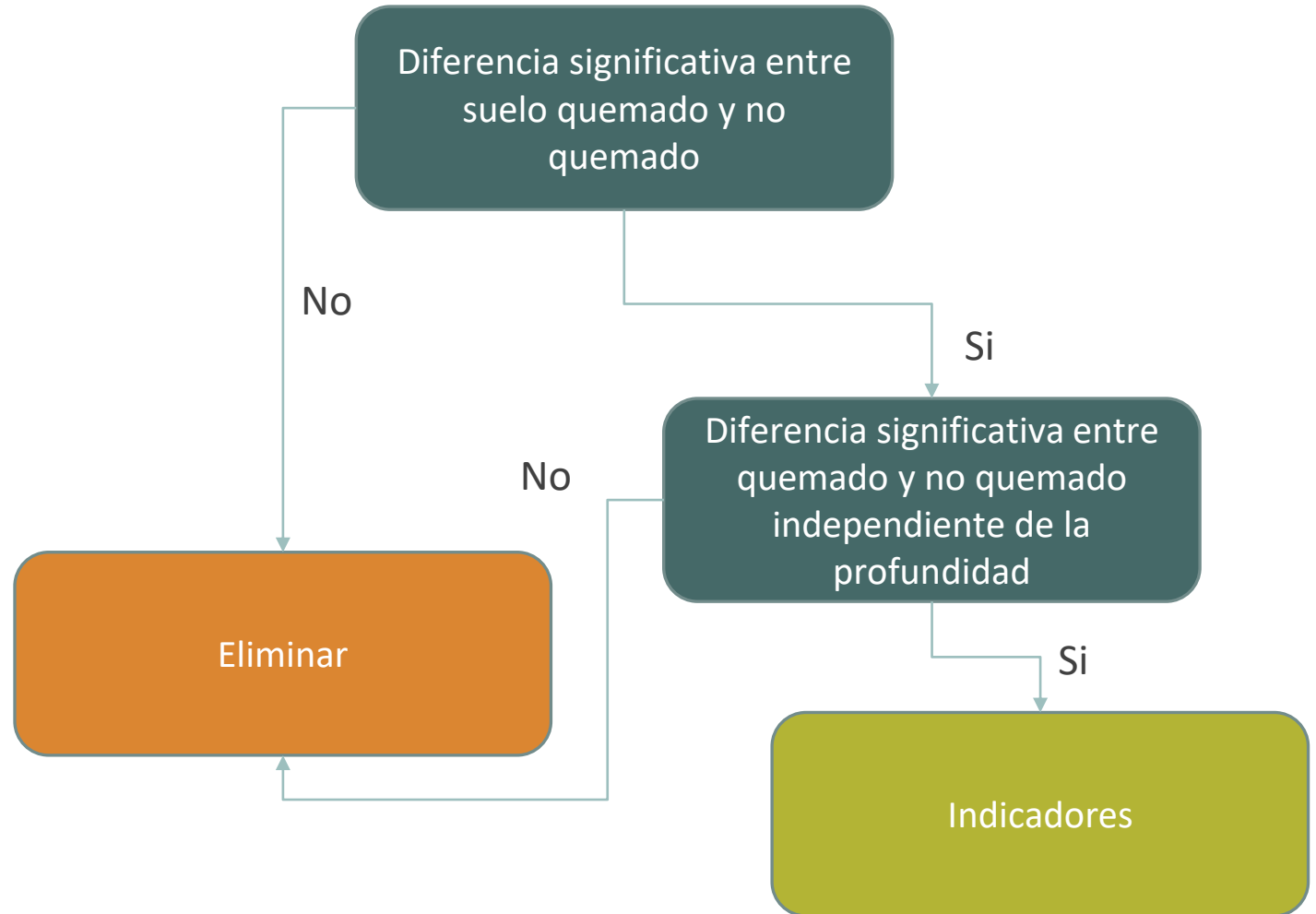
- ❖ Textura
- ❖ CC
- ❖ PMP
- ❖ HA
- ❖ Dap
- ❖ Macroagregados
- ❖ Microagregados
- ❖ DPM
- ❖ Ks

### ANÁLISIS BIOLÓGICOS

- ❖ MO
- ❖ Mineralización del C
- ❖ Carboxilesterasa
- ❖ Fosfatasa ácida.
- ❖  $\beta$ -glucosidasa
- ❖ Ureasa
- ❖ Deshidrogenasa
- ❖ Proteasa

# ANÁLISIS ESTADÍSTICO

- ❖ Normalidad
- ❖ Análisis de cluster
- ❖ Prueba T para variables independientes ( $p > 0.05$ )
- ❖ ANOVA de dos vías.
- ❖ Filtro de selección de atributos.
- ❖ Componentes principales
- ❖ Normalización de los indicadores.



$$LS = \frac{X}{X_{max}}$$

$$LS = \frac{X_{min}}{X}$$

$$NLS = \frac{1}{1 + \left(\frac{X}{X_0}\right)^{-2.5}}$$

## RESULTADOS

Soil property	Content	Level
SOM, %	1.73 ± 0.15	Low
pH (1:1 H <sub>2</sub> O)	7.28 ± 0.20	Neutral
NO <sub>3</sub> -N, mg kg <sup>-1</sup>	2.03 ± 0.27	Very low
NH <sub>4</sub> -N, mg kg <sup>-1</sup>	5.92 ± 1.67	Very low
P, mg kg <sup>-1</sup>	13.02 ± 2.74	Moderate
K, cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup>	0.52 ± 0.08	High
Ca, cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup>	7.87 ± 1.96	Moderate
Mg, cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup>	0.64 ± 0.09	Moderate
Na, cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup>	0.03 ± 0.02	Very low
Bases, cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup>	9.07 ± 1.93	Moderate
Al, cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup>	0.05 ± 0.03	Very low
S, mg kg <sup>-1</sup>	2.99 ± 0.48	Low
Fe, mg kg <sup>-1</sup>	3.73 ± 1.61	Very low
Zn, mg kg <sup>-1</sup>	0.41 ± 0.09	Low
Cu, mg kg <sup>-1</sup>	0.41 ± 0.05	Low
B, mg kg <sup>-1</sup>	0.31 ± 0.07	Low



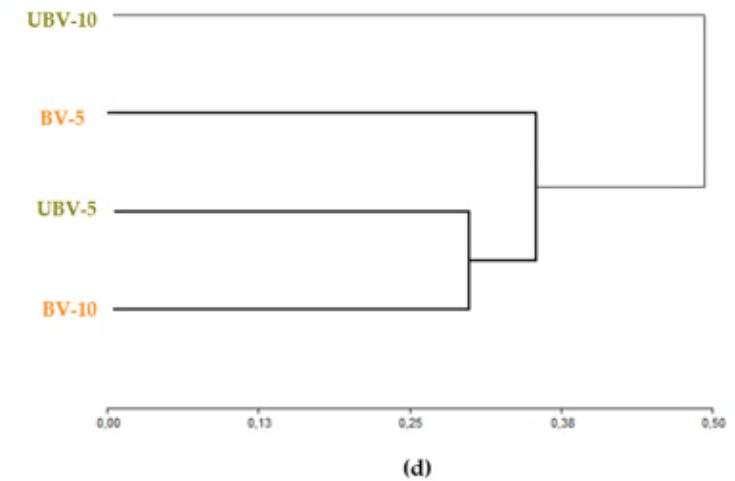
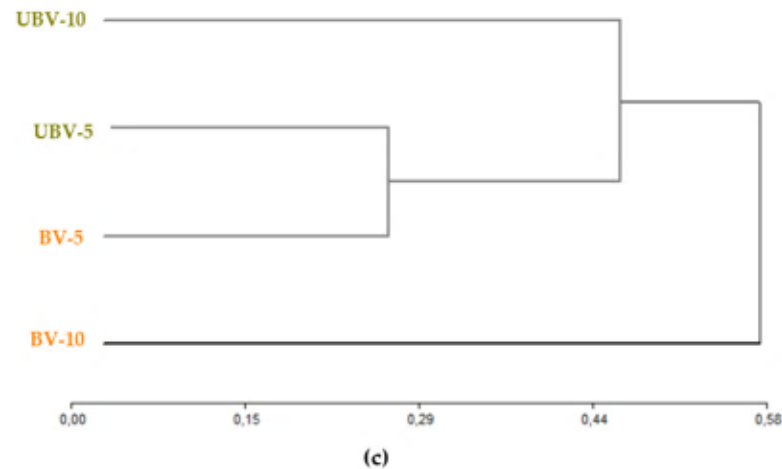
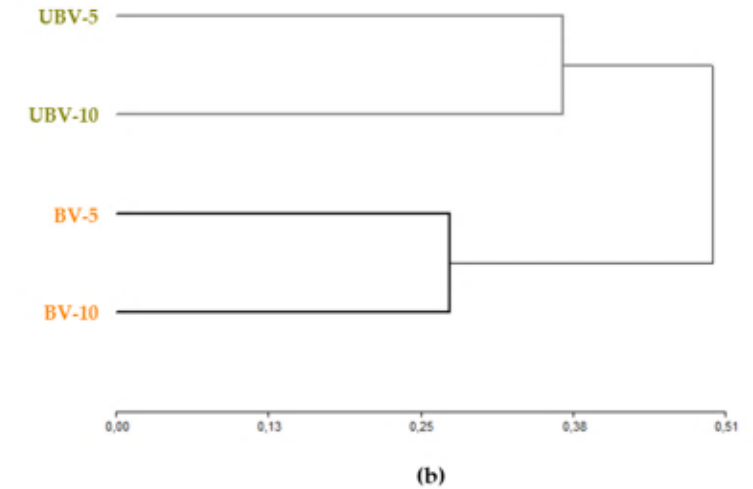
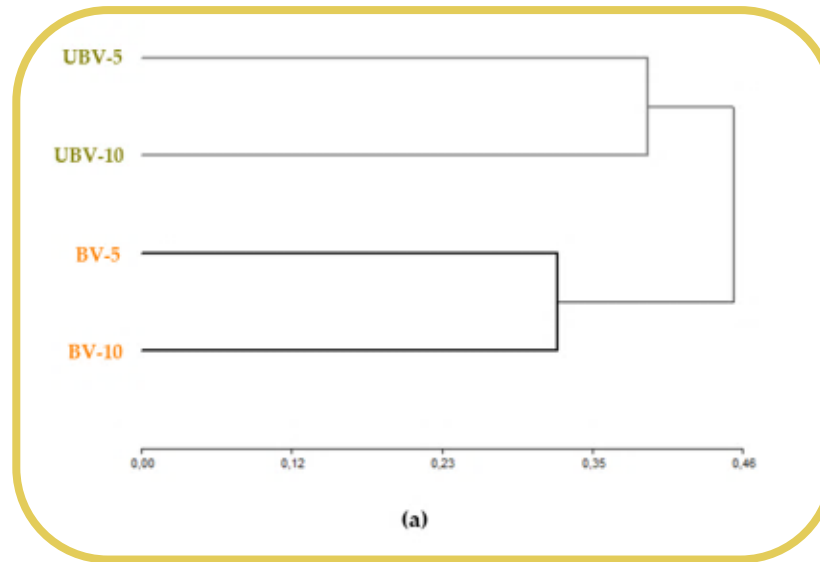
## RESULTADOS: PATRONES Y SEGMENTACIÓN

a) Todas las propiedades del suelo (n=40) separan los suelos quemados de los no quemados.

a) Las propiedades químicas (n=21) separan los suelos quemados de los no quemados.

a) Las propiedades biológicas (n=8) no logran separar los suelos quemados de los no quemados.

a) Las propiedades físicas (n=11) del suelo no logran separar los suelos quemados de los no quemados.



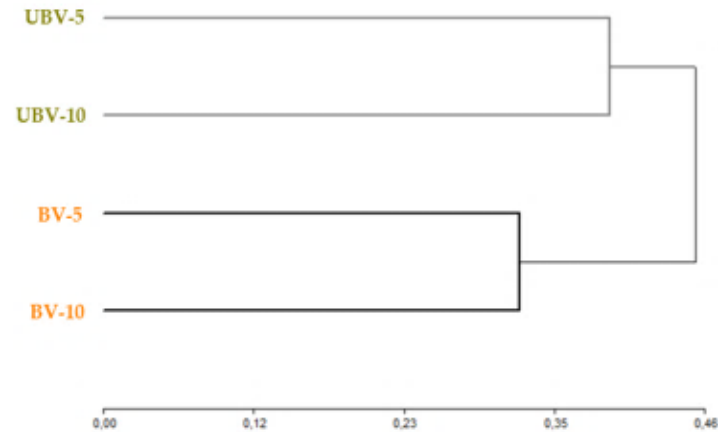
## RESULTADOS

a) Todas las propiedades del suelo (n=40) separan los suelos quemados de los no quemados.

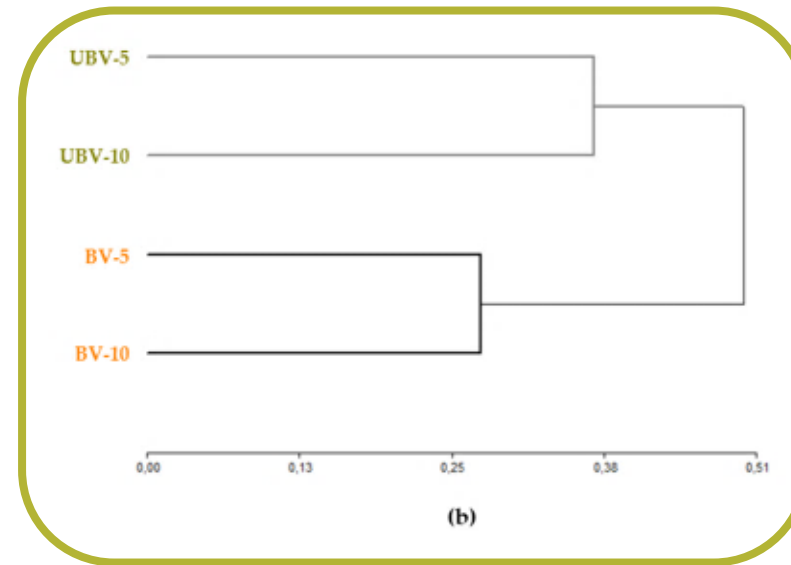
a) Las propiedades químicas (n=21) separan los suelos quemados de los no quemados.

a) Las propiedades biológicas (n=8) no logran separar los suelos quemados de los no quemados.

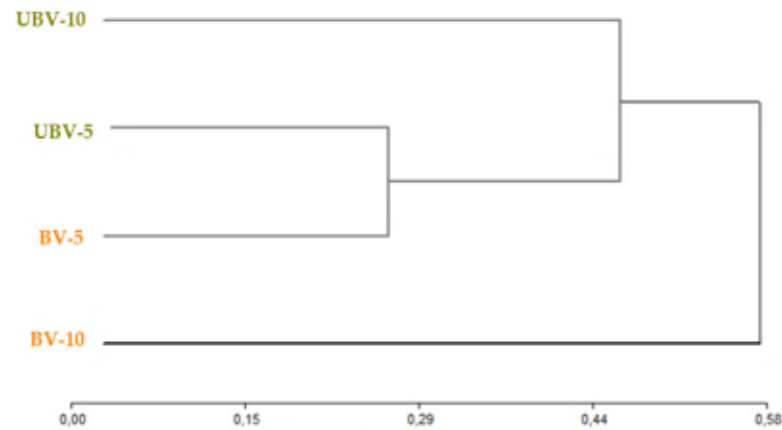
a) Las propiedades físicas (n=11) del suelo no logran separar los suelos quemados de los no quemados.



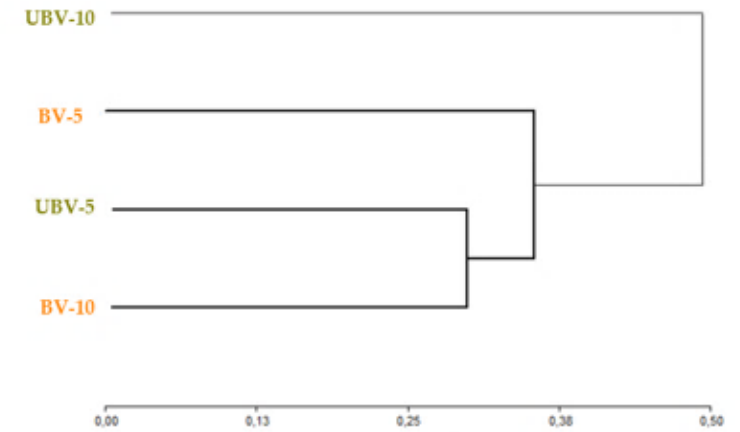
(a)



(b)



(c)



(d)

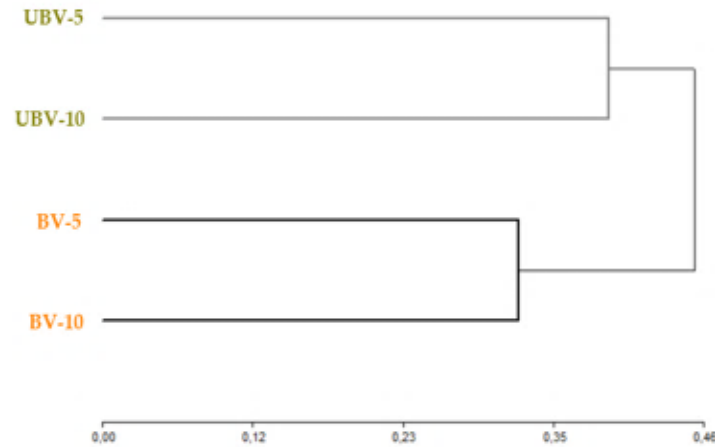
## RESULTADOS

a) Todas las propiedades del suelo (n=40) separan los suelos quemados de los no quemados.

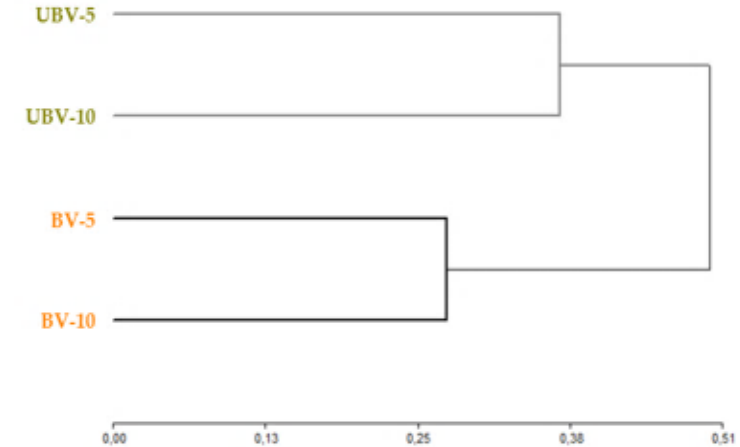
a) Las propiedades químicas (n=21) separan los suelos quemados de los no quemados.

a) Las propiedades biológicas (n=8) no logran separar los suelos quemados de los no quemados.

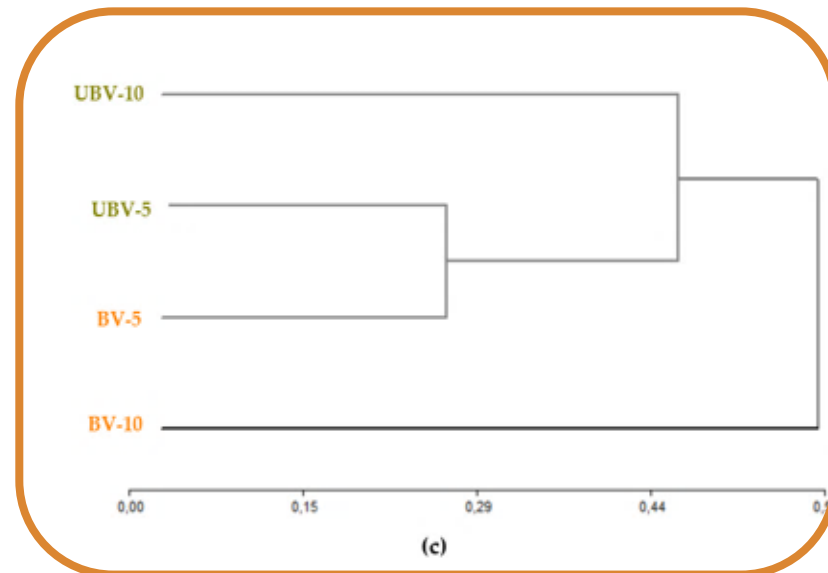
a) Las propiedades físicas (n=11) del suelo no logran separar los suelos quemados de los no quemados.



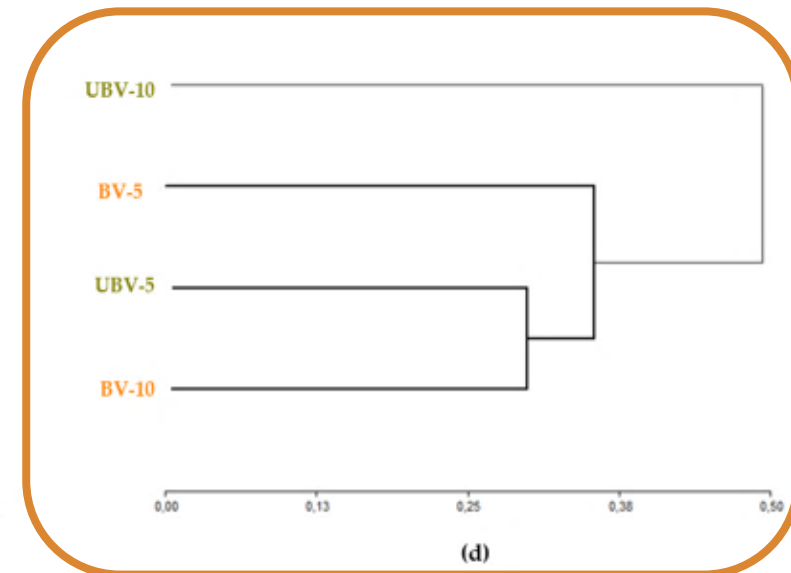
(a)



(b)



(c)



(d)

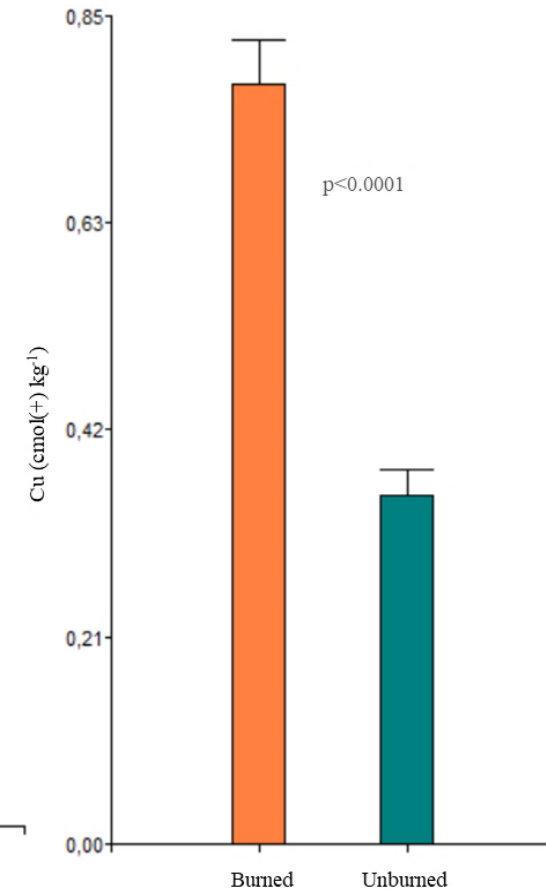
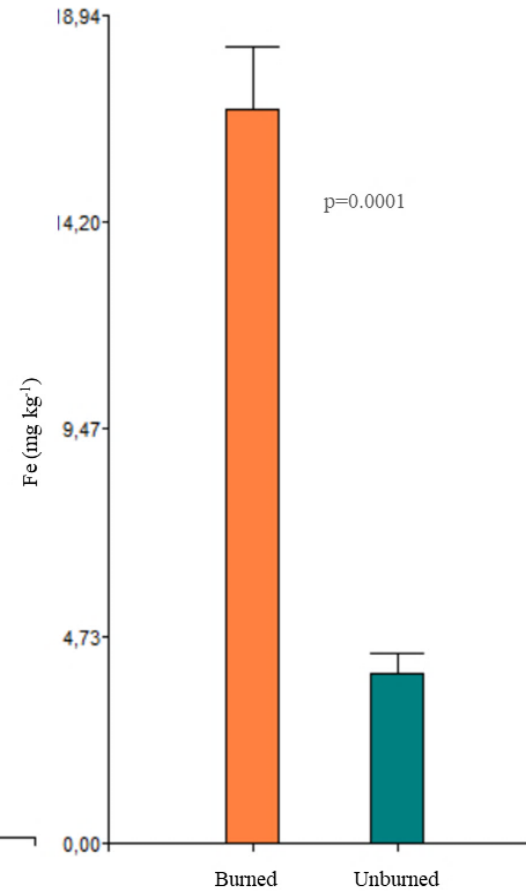
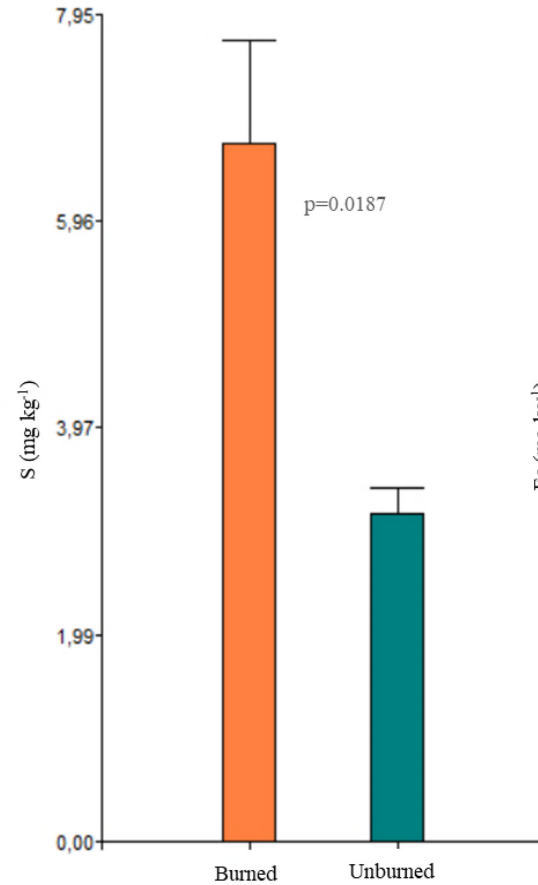
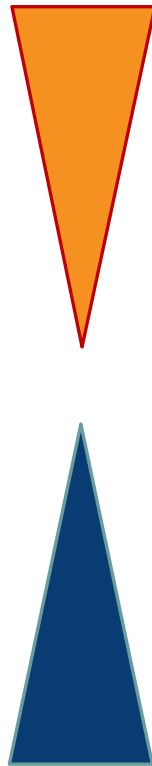
## RESULTADOS: INDICADORES DE CALIDAD DE SUELO

Soil property	P value		
	Fire	Depth	*
ASM (cm)	0.0066	0.1841	0.3729
Macroaggregates (%)	0.0010	0.0966	0.0001
Microaggregates (%)	0.0151	0.6722	0.0137
MWD (cm)	0.0017	0.0510	0.0239
CbE ( $\mu\text{mol h}^{-1}\text{g}^{-1}\text{dry soil}$ )	0.0186	0.0087	0.7900
Protease ( $\mu\text{mol tyr-equivalents h}^{-1}\text{g}^{-1}\text{dry soil}$ )	0.3022	0.6502	0.0396
pH (1:1 H <sub>2</sub> O)	0.0010	0.9063	0.6567
NO <sub>3</sub> -N (mg kg <sup>-1</sup> )	0.0010	0.0007	0.0062
P (mg kg <sup>-1</sup> )	0.0057	0.0024	0.4159
Ca (cmol(+) kg <sup>-1</sup> )	0.0049	0.0169	0.2943
S (mg kg <sup>-1</sup> )	0.0097	0.3216	0.4626
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	0.0001	0.4490	0.5774
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	0.0001	0.1148	0.7924
B (mg kg <sup>-1</sup> )	0.0456	0.3533	0.5707

## RESULTADOS: DINÁMICA DE NUTRIENTES

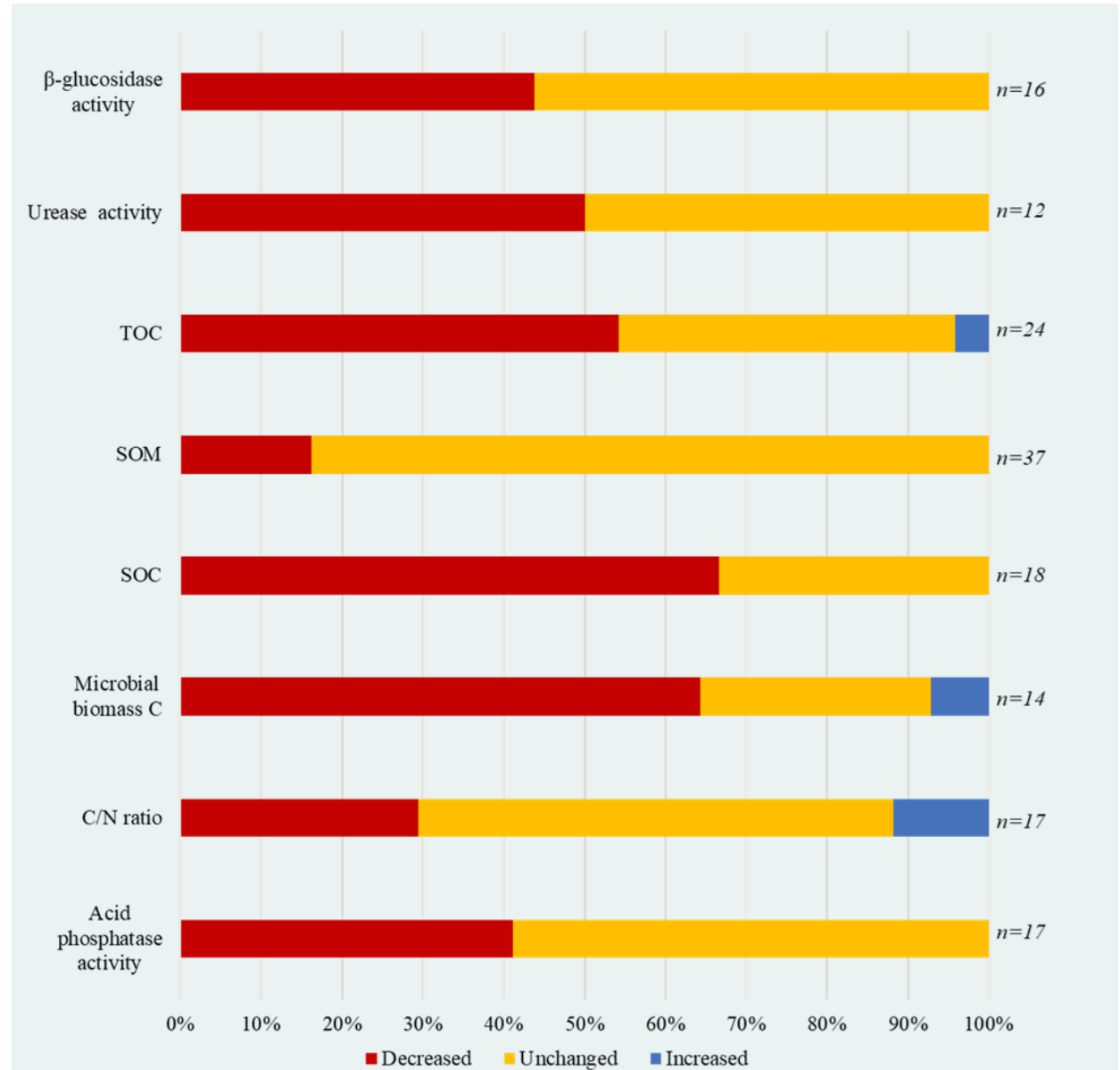
En suelo quemados:

- ❖ Actividad de CbE
- ❖ Humedad Aprovechable
- ❖ pH
- ❖ Ca intercambiable
- ❖ P disponible
  
- ❖ B disponible
- ❖ Fe disponible
- ❖ S disponible
- ❖ Cu disponible



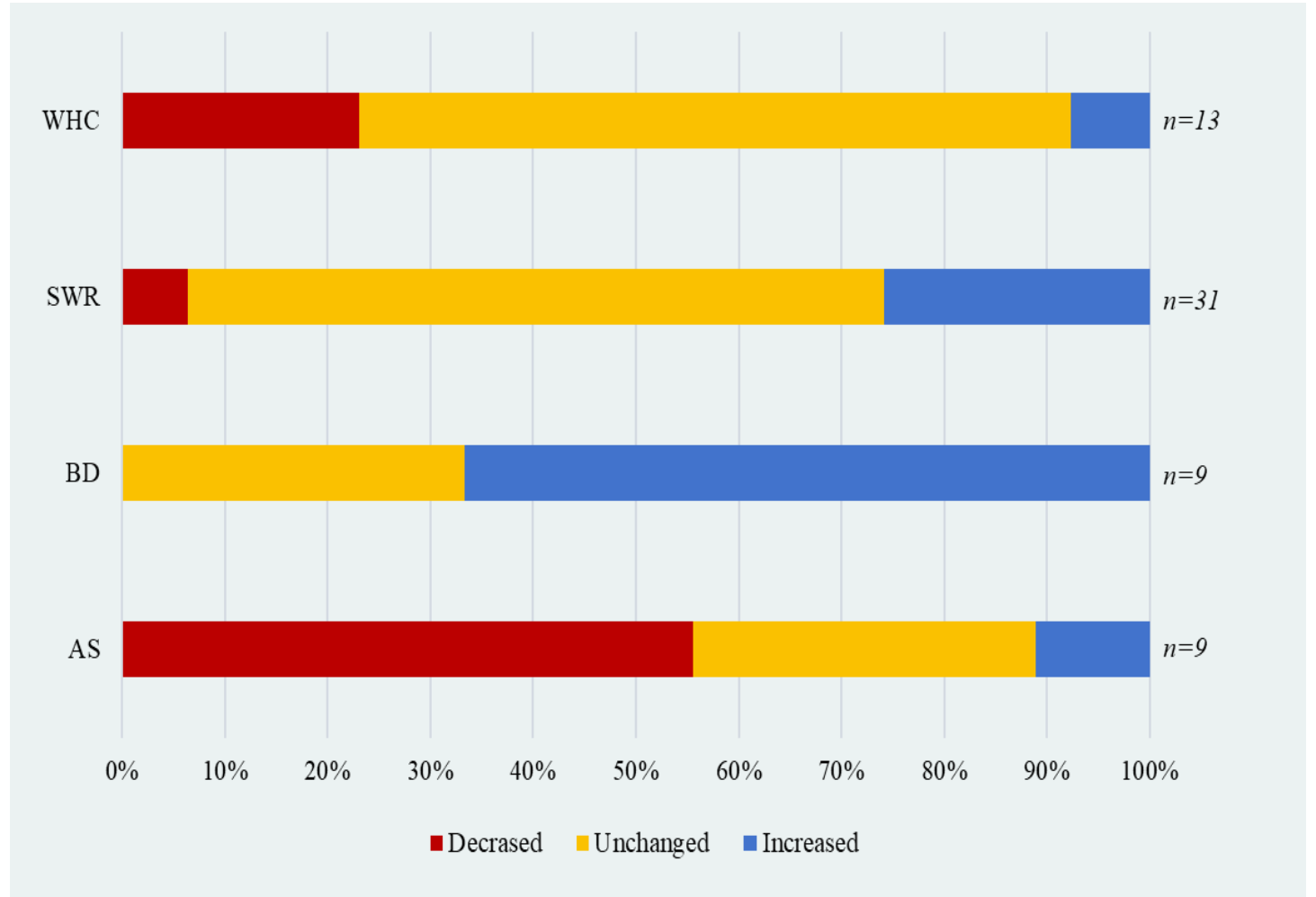
## RESULTADOS: PROPIEDADES BIOLÓGICAS

- ❖ SOM ▲ ▲
- ❖ Actividad de Ureasa ▼ ▼
- ❖ Actividad de Fosfatasa ácida ▲ ▲
- ❖ Actividad de  $\beta$ -Glucosidase ▼ ▼
- ❖ Actividad de Proteasa ▲ ▼
- ❖ Actividad de Deshidrogenasa ▲ ▼
- ❖ Actividad de Carboxilesterasa ▼ ▼
- ❖ Mineralización del C ▲ ▲

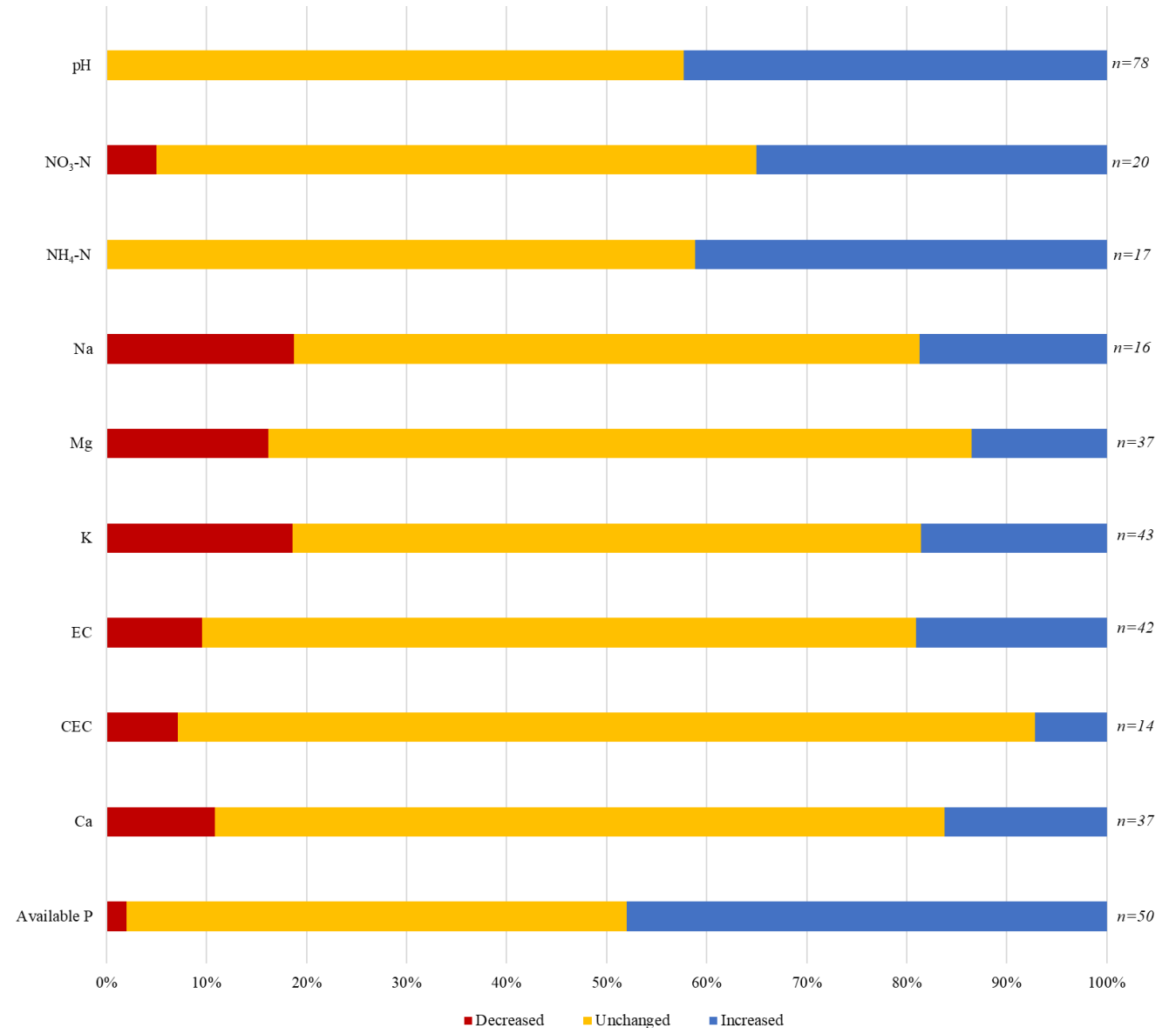
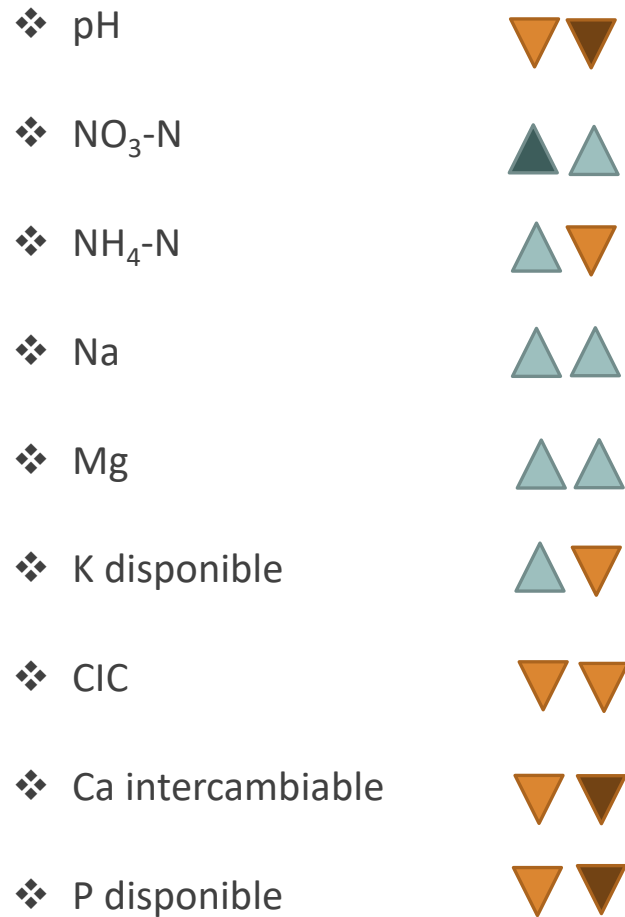


## RESULTADOS: PROPIEDADES FÍSICAS

- ❖ Humedad Aprovechable ▼ ▼
- ❖ Capacidad de Campo ▼ ▼
- ❖ Conductividad hidráulica ▼ ▲
- ❖ Densidad aparente ▼ ▲
- ❖ DPM ▲ ▲
- ❖ Macroagregados ▲ ▲
- ❖ Microagregados ▲ ▼



## RESULTADOS: PROPIEDADES QUÍMICAS

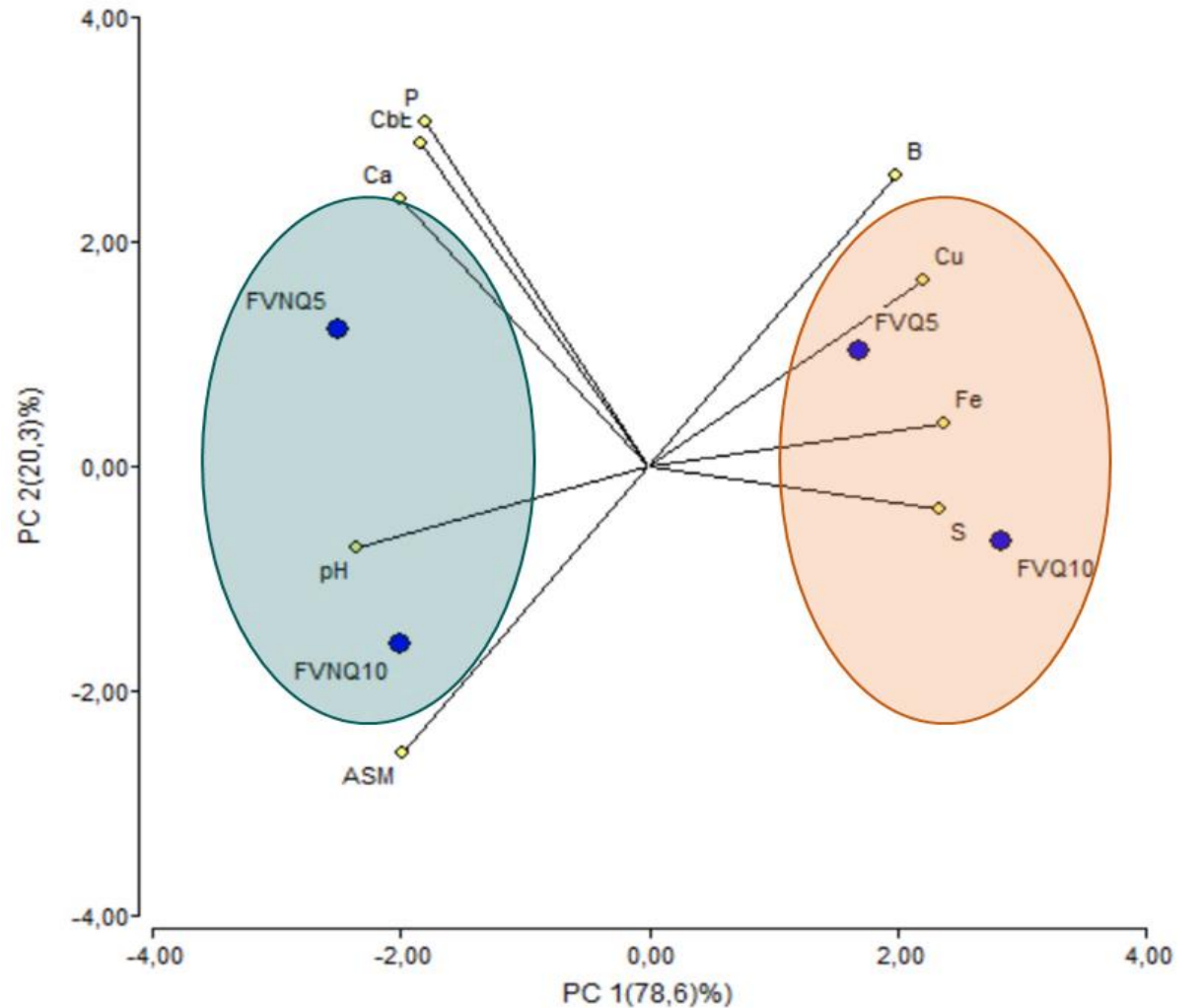




## RESULTADOS: INDICADORES DE CALIDAD DE SUELO

- ❖ 9 propiedades con ranking de relevancia mayor a 1.
- ❖ La mayoría de las propiedades estaban correlacionadas entre sí.
- ❖ pH, P y B.

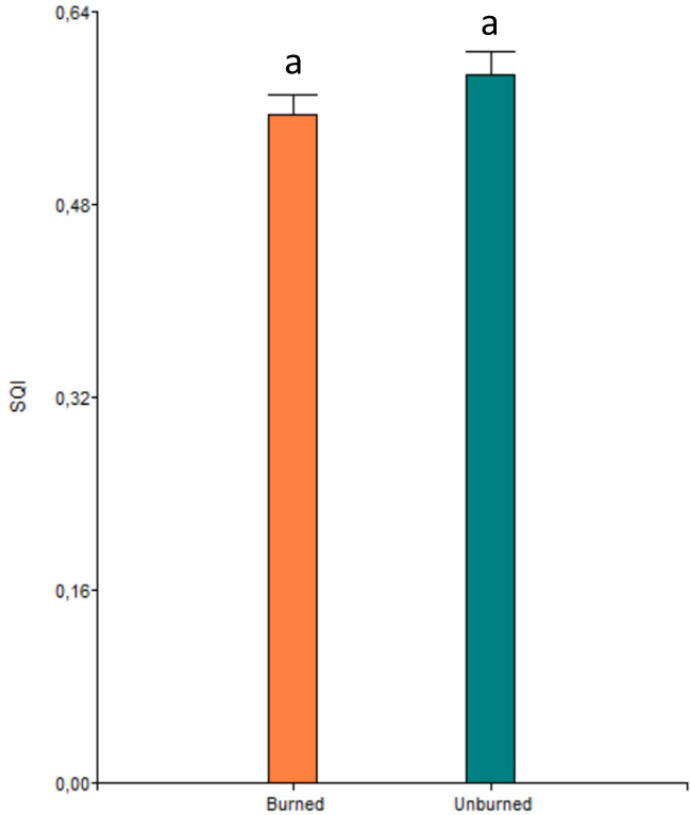
Propiedad	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1) CbE	1.00								
2) ASM	0.27	1.00							
3) pH	0.57	0.70	1.00						
4) P	0.86	0.07	0.52	1.00					
5) Ca	0.90	0.25	0.72	0.91	1.00				
6) S	-0.61	-0.31	-0.78	-0.60	-0.67	1.00			
7) Fe	-0.59	-0.73	-0.85	-0.63	-0.65	0.62	1.00		
8) Cu	-0.43	-0.88	-0.91	-0.37	-0.52	0.56	0.89	1.00	
9) B	-0.38	-0.66	-0.47	-0.22	-0.28	0.35	0.52	0.59	1.00



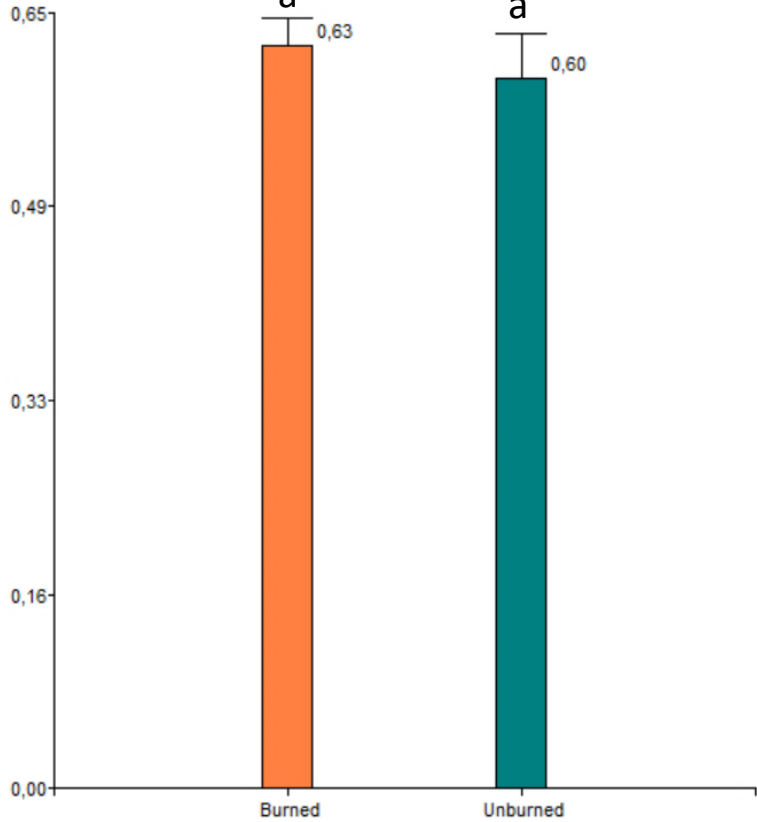
# RESULTADOS: ÍNDICE DE CALIDAD DEL SUELO

More is better	Less is better	Non-linear scoring
Actividad de la Carboxilesterasa	Cu disponible	pH
Humedad aprovechable		
P disponible		
Ca disponible		
Fe disponible		
B disponible		
S disponible		

Todos los indicadores



pH, P y B



## CONCLUSIONES

- El impacto de incendios de severidad moderada sobre las propiedades del suelo en regiones de clima Mediterráneo no es efímera.
- Particularmente los nutrientes que disminuyeron (Ca y P) en los suelos afectados por incendios de severidad moderada se encontraban en un nivel moderado, mientras que los nutrientes que incrementaron como el NO<sub>3</sub>-N, Fe, S y B se encontraban en niveles bajos y muy bajos.
- Es fundamental evaluar la importancia de cada indicador con un enfoque de productividad y evaluar el comportamiento de estos indicadores en el tiempo (medio y largo plazo).
- Al evaluar el impacto post incendios es importante considerar profundidades del suelo mayores a los primeros 5 cm.



*Seminario Internacional*  
**Sustentabilidad de Bosques y  
Plantaciones Forestales en el Día  
Internacional de los Suelos**

*Martes 5 de diciembre 2023*  
*Auditorio Principal de la Facultad de Ciencias Forestales, UdeC*



Universidad de Concepción



Centro Nacional  
**CENAMAD**  
para la Industria de la Madera



Agencia  
Nacional de  
Investigación  
y Desarrollo

Ministerio de Ciencia,  
Tecnología, Conocimiento  
e Innovación

Gobierno de Chile

## Dinámica de nutrientes y emisiones de CO<sub>2</sub> de la respiración microbiana de suelos afectados por incendios forestales.



Muchas gracias por su atención

Concepción, 5 de diciembre del 2023.

# CONCLUSIONES

Soil property	0-5 cm			5-10 cm		
	UBV	BV	p	UBV	BV	p
Sand (%)	0.46 ± 0.00	0.39 ± 0.14	0.5447	0.38 ± 0.00	0.54 ± 0.21	0.3368
Silt (%)	0.21 ± 0.03	0.20 ± 0.01	0.8188	0.22 ± 0.02	0.21 ± 0.06	0.8734
Clay (%)	0.32 ± 0.03	0.39 ± 0.13	0.4514	0.39 ± 0.02	0.24 ± 0.14	0.7523
SBD (g cc <sup>-1</sup> )	1.60 ± 0.05	1.59 ± 0.02	0.7736	1.54 ± 0.06	1.59 ± 0.07	0.3504
FC (%)	20.64 ± 1.61	18.27 ± 1.24	0.1153	21.41 ± 0.88	18.74 ± 1.51	0.0575
PWP (%)	11.29 ± 0.97	10.05 ± 0.68	0.1465	11.06 ± 1.49	10.31 ± 0.83	0.4896
ASM (cm)	9.35 ± 0.64	8.22 ± 0.56	0.0838	10.35 ± 0.95	8.43 ± 0.68	0.0473*
Macroaggregates (%)	22.80 ± 2.06	34.88 ± 1.19	0.0009**	18.50 ± 1.20	42.32 ± 1.13	0.0001**
Microaggregates (%)	4.02 ± 0.97	7.59 ± 0.48	0.0048**	6.07 ± 1.44	6.03 ± 0.81	0.9713
MWD (cm)	0.40 ± 0.04	0.47 ± 0.02	0.1128	0.23 ± 0.04	0.48 ± 0.09	0.0140*
Ks (cm hr <sup>-1</sup> )	32.94 ± 3.30	27.80 ± 2.60	0.1004	21.61 ± 3.58	29.43 ± 3.76	0.0604
Carboxylesterase (μmol h <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup> dry soil)	0.61 ± 0.22	0.40 ± 0.04	0.1838	0.36 ± 0.10	0.11 ± 0.11	0.0442*
Acid phosphatase (μmol h <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup> dry soil)	0.14 ± 0.05	0.35 ± 0.17	0.1247	0.06 ± 0.00	0.16 ± 0.07	0.1768
Glucosidase (μmol h <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup> dry soil)	0.21 ± 0.02	0.19 ± 0.05	0.673	0.10 ± 0.04	0.04 ± 0.01	0.1064
Urease (μNH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N h <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup> dry soil)	2.93 ± 0.11	2.53 ± 0.25	0.0672	2.54 ± 0.19	2.21 ± 0.25	0.1600
Deshydrogenase (μmol INTF h <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup> dry soil)	9.81 ± 7.18	24.64 ± 10.26	0.1098	6.88 ± 0.49	4.70 ± 2.25	0.1767
Protease (μmol tyr-equivalents h <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup> dry soil)	211.93 ± 85.51	465.53 ± 227.85	0.1454	353.39 ± 23.30	256.94 ± 34.09	0.0155*
C Mineralization (μg CO <sub>2</sub> g soil <sup>-1</sup> )	353.60 ± 64.72	418.12 ± 104.99	0.4442	120.12 ± 22.56	181.13 ± 77.96	0.2628
pH (1:1 H <sub>2</sub> O)	7.28 ± 0.20	6.31 ± 0.33	0.0722	7.32 ± 0.14	6.23 ± 0.23	0.0103*
SOM	1.73 ± 0.14	1.92 ± 0.44	0.5268	1.10 ± 0.03	1.47 ± 0.40	0.2516
NO <sub>3</sub> -N (mg kg <sup>-1</sup> )	2.03 ± 0.26	5.98 ± 1.25	0.0060**	1.29 ± 0.34	1.92 ± 0.81	0.2844
NH <sub>4</sub> -N	5.91 ± 1.66	6.45 ± 0.34	0.6161	3.4 ± 0.76	2.94 ± 0.75	0.5026
P (mg kg <sup>-1</sup> )	13.01 ± 2.73	8.97 ± 0.85	0.0709	8.43 ± 0.98	5.898 ± 0.33	0.0135*
K (mg kg <sup>-1</sup> )	0.52 ± 0.07	0.53 ± 0.13	0.9167	0.49 ± 0.01	0.42 ± 0.13	0.4949
Ca (cmol(+) kg <sup>-1</sup> )	7.87 ± 1.96	4.58 ± 0.87	0.0564	5.13 ± 0.32	3.32 ± 0.75	0.0193*
Mg (cmol(+) kg <sup>-1</sup> )	0.63 ± 0.09	0.89 ± 0.32	0.2614	0.71 ± 0.04	0.80 ± 0.25	0.5869
Na (cmol(+) kg <sup>-1</sup> )	0.03 ± 0.02	0.05 ± 0.01	0.3982	0.02 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.3739
Bases	9.06 ± 1.93	6.05 ± 1.29	0.0891	6.36 ± 0.32	4.58 ± 1.15	0.0628
Exchangeable Al (cmol(+) kg <sup>-1</sup> )	0.05 ± 0.02	0.05 ± 0.02	0.9999	0.02 ± 0.01	0.07 ± 0.02	0.0798
CEC (cmol(+) kg <sup>-1</sup> )	9.11 ± 1.94	6.11 ± 1.26	0.0885	6.39 ± 0.31	4.65 ± 1.13	0.0628
Al saturation (%)	0.01 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.1161	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.9999
K saturation (%)	0.09 ± 0.01	0.08 ± 0.00	0.4216	0.07 ± 0.00	0.05 ± 0.01	0.1890
Ca saturation (%)	0.71 ± 0.01	0.75 ± 0.01	0.0835	0.80 ± 0.01	0.85 ± 0.03	0.0864
Mg saturation (%)	0.16 ± 0.01	0.14 ± 0.02	0.2182	0.11 ± 0.00	0.07 ± 0.02	0.0514
S (mg kg <sup>-1</sup> )	2.99 ± 0.48	5.74 ± 0.83	0.0078**	3.29 ± 0.79	7.66 ± 3.42	0.0979
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	3.73 ± 1.61	15.70 ± 3.76	0.0071**	4.06 ± 0.41	17.8 ± 3.44	0.0204*
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	26.73 ± 2.21	44.60 ± 15.93	0.1943	6.6 ± 1.11	22.4 ± 9.98	0.1125
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	0.41 ± 0.09	0.40 ± 0.06	0.9220	0.27 ± 0.09	0.26 ± 0.10	0.9380
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	0.40 ± 0.05	0.81 ± 0.11	0.0052**	0.30 ± 0.01	0.74 ± 0.11	0.0215*
B (mg kg <sup>-1</sup> )	0.30 ± 0.07	0.36 ± 0.06	0.3630	0.25 ± 0.05	0.35 ± 0.01	0.0423*