



## AGREGACIÓN Y CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS BAJO PRADERAS DE LA PATAGONIA OCCIDENTAL HÚMEDA, CHILE.

Manuel Andres Vial Alarcon<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup> Ingeniero Agrónomo,  
Magister en Ciencias.  
Instituto de  
Investigaciones  
Agropecuarias, INIA.

e-mail:  
manuel.vial@inia.cl

Orcid:  
<https://orcid.org/0000-0003-3728-9437>

**Palabras claves:**  
Agregación,  
Patagonia,  
Hapludands,  
Andisols, carbono

### RESUMEN

Se evaluó el % de agregación total ( $\Sigma 5\text{mm}-0,053\text{mm}$ ), macroagregados ( $\Sigma \geq 0,25\text{ mm}$ ), microagregados ( $\Sigma < 0,25\text{ mm}$ ) y contenido de carbono orgánico del suelo (CO) de praderas de la ecorregión templada húmeda intermedia de la región de Aysén, Chile, en un andisol (Typic Hapludands). Las condiciones fueron: Terraza pradera natural degradada (TPD), Terraza pradera sembrada buen estado (TPBE), Silvopastoreo (SP), Lomaje pradera natural degradada (LPD), Lomaje pradera sembrada buen estado (LPBE); en profundidades de 5, 10 y 20 cm. Todas las condiciones estudiadas presentan elevada agregación total. SP presenta un alto contenido de macroagregados; de manera opuesta, TPD presenta mayor % microagregados. El CO entre tratamientos fue variable; los macroagregados de SP presentaron el mayor %CO ( $8,6 \pm 1,74$ ), seguido por los tratamientos en ladera (LPD, LPBE) y terraza (TPD y TPBE). El mayor %CO en microagregados fue en ladera (LPD  $9,55 \pm 1,84$  y LPBE  $8,13 \pm 2,11$ ), seguido por los tratamientos en terraza (TPBE, TPD) y el menor fue SP ( $6,78 \pm 1,49$ ). En profundidad (0-20 cm) %CO en macroagregados y microagregados disminuyeron significativamente un 37% y 41% respectivamente. Se concluye que SP presenta condiciones ecológicas que promueven la agregación con un mayor contenido de macroagregados; además de aportar %CO congregado en los macroagregados. Se infiere una relación entre sistemas degradados (praderas degradadas), un mayor % de microagregados y un mayor % CO en microagregados, lo cual coincide con lo planteado por varios autores en cuanto a que el microagregado tiene una mayor estabilidad estructural física y es un importante reservorio de CO.

## AGGREGATION AND ORGANIC CARBON IN SOILS IN GRASSLAND USE OF HUMID WESTERN PATAGONIA, CHILE.

### ABSTRACT

**Keywords:**  
Aggregation,  
Patagonia,  
Hapludands,  
silvopasture,  
andisols, carbon

The soils (Typic Hapludands) of pastures under grazing in the intermediate-humid-temperate ecoregion of the Aysén region (humid western Patagonia, Chile) was evaluated for determination total aggregation ( $\Sigma 5\text{mm}-0.053\text{mm}$ ), macro-aggregates ( $\Sigma \geq 0.25\text{ mm}$ ), micro-aggregates ( $\Sigma < 0.25\text{ mm}$ ) and soil organic carbon (CO) content in the aggregated structures. Established conditions were: terrace in degraded natural pasture (TPD), terrace in well-kept planted pasture (TPBE), silvopasture (SP), degraded natural pasture on a hill site (LPD), and well-kept planted pasture on a hill site (LPBE) at depths of 0-5, 5-10 and 10-20 cm. All the conditions studied have high total aggregation. SP has a high content of macro-aggregates; in the opposite way, TPD has a higher percentage of micro-aggregates. The CO between treatments was variable. SP macro-aggregates presented the highest percent CO ( $8.6 \pm 1.74$ ), followed by hill site (LPD, LPBE) and terrace (TPD and TPBE) treatments. The highest percent CO in micro-aggregates was on the hill site (LPD  $9.55 \pm 1.84$  and LPBE  $8.13 \pm 2.11$ ), followed by terrace treatments (TPBE, TPD) and the lowest was SP ( $6.78 \pm 1.49$ ). In depth (0-20 cm) percent CO in macroaggregates and micro-aggregates decreased significantly 37percent and 41percent respectively. It is concluded that SP presents ecological conditions that promote aggregation with a higher content of macro-aggregates; In addition to providing percent CO congregated in the macro-aggregates. A relationship between degraded systems (degraded grasslands), a higher percent of micro-aggregates and a higher percent CO in micro-aggregates is inferred, which coincides with that proposed by several authors in that the micro-aggregate has greater physical structural stability and is important CO reservoir.

Rec : 20/08/2021

Acep : 26/09/2021



## INTRODUCCIÓN

El manejo sustentable del suelo tiende a la mantención e incremento del contenido de carbono debido a que este elemento afecta directamente las propiedades físicas, biológicas y químicas del suelo e incidiendo directamente en su productividad. De igual forma, el carbono orgánico del suelo es relevante por ser el 69,8% del carbono en la biosfera, siendo la principal reserva global por lo cual es altamente incidente respecto a emisiones, medidas adaptativas y mitigatorias destinadas a enfrentar el efecto del cambio climático (FAO, 2001).

Los mecanismos de protección del carbono orgánico del suelo son de elevada relevancia, por un lado, está la estabilización física con la agregación del suelo y formación de macroagregados y microagregados, estabilización físico-química con arcillas con condiciones intrínsecas y estabilización bioquímica formando compuestos altamente recalcitrantes y protegidos (Lal, 1997; Six *et al.*, 1999).

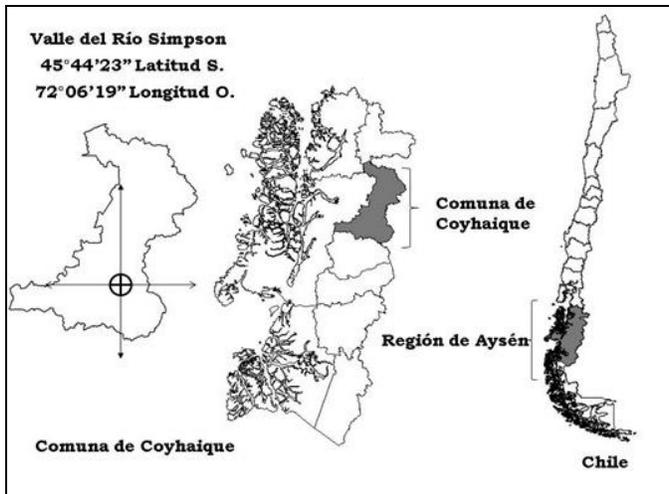
Autores señalan que los macroagregados (250-2000  $\mu\text{m}$ ) se pueden formar inicialmente a través de la acumulación de microagregados (53 a 250  $\mu\text{m}$ ) o alrededor de partículas de materia orgánica o actividad bacteriana y sus exudados que a su vez van acomplejando partículas de arcilla y formando sucesivos enlaces y agregación; se inicia con exudados y formación de un polisacárido aglutinador del cual se van adhiriendo en forma sucesiva partículas de arcilla y donde se van formando en forma continuos enlaces que otorgan estabilidad evolucionando a compuestos órgano-metálicos (Jastrow, 1996; Jastrow *et al.*, 1998; Six *et al.*, 2000). Por otro lado, los microagregados son constituidos a partir de moléculas orgánicas, uniones de minerales de arcilla y partículas complejas (arcilla-moléculas orgánicas-enlaces polivalentes) unidas con otras

moléculas formando a su vez macroagregados (Tisdall y Oades, 1982; Oades, 1984); de esta manera, la formación de microagregados está asociada con la actividad biológica del suelo, principalmente de origen bacteriano. El presente estudio tiene como objetivo conocer el contenido de carbono orgánico del suelo en relación a macroagregados y microagregados en sitios en distintos estados bajo uso pastoril y en distintas profundidades.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los sitios de estudio se ubican en la Patagonia occidental húmeda, en el sector valle Simpson, comuna de Coyhaique, región de Aysén, Chile (45° 43' Lat. S., 72° 06' Long. O., 288 msnm). Los suelos son de origen volcánico calificados como orden Andisol, serie Pollux (familia franca, media, mesica, Typic Hapludands) en posición de terrazas fluvioglaciales y morrénicas de textura superficial franco arenosa y color pardo rojizo oscuro en el matiz 5YR; de textura franco limosa y color pardo muy oscuro en el matiz 7.5YR en profundidad, con presencia de pumicita, situado en topografía suavemente ondulada, de permeabilidad moderadamente rápida y bien drenado (CIREN, 2005).

El clima del sector se destacan dos uniformidades climáticas de acuerdo a la clasificación Köppen: La ecorregión templada húmeda intermedia o “de valles intermontanos” (Cfk') ocupa un 3% de la superficie regional; y la templada de verano fresco y mésico o de microclimas (Cfsk') con un 2% del territorio de la región. La pluviometría decae de entre 1000 a 1500 mm en los valles intermontanos a 500 y 700 mm en sectores de transición hacia la estepa fría. (Silva *et al.*, 1999).



**Figura 1.** Localización del área de estudio, Aysén, Chile.

Se recolectaron muestras en 5 usos de suelo en 3 profundidades (0-5, 5-10 y 10-20 cm), considerando la capa arable.

Las condiciones en sus distintos estados se clasifican en:

- **Terraza-pradera degradada (TPD):** se caracteriza por la presencia de gramíneas y arbustos. Evidencia de suelo desnudo, y musgo. Predomina de: *Hypochoeris radicata*, *Plantago sp.*, *Acaena sp.*, *Luzula sp.*, *Cerastium sp.*, *Agrostis sp.* y *Poa pratense*.
- **Terraza-pradera buen estado (TPBE):** pradera a la cual se le confirió como buena calidad por la presencia de leguminosas. Predominio de: *Dactylis glomerata*, *Lolium perenne*, *Anthoxanthum odoratum*, *Festuca arundinacea*, *Trifolium pratense*, *Trifolium repens*, *Hypochoeris radicata* y *Taraxacum officinale*.
- **Silvopastoreo pradera (SP):** pradera con el predominio de *Trifolium pratense*, *Trifolium repens*, *Dactylis glomerata*, *Hypochoeris radicata*. A nivel arbóreo se encuentra la especie caducifolia

*Nothofagus pumilio* “Lenga” en baja densidad.

- **Lomaje-pradera degradada (LPD):** ladera con pradera donde predominan especies con bajo valor forrajero. Lomajes en exposición norte. Erosión de manto en estado incipiente a severo. Especies: *Acaena sp.*, *Trifolium sp.*, *Hypochoeris radicata*.
- **Lomaje-pradera buen estado (LPBE):** pradera con una composición botánica de calidad. *Hypochoeris radicata*, *Trifolium sp.*, *Trifolium pratense*, *Trifolium repens*, *Dactylis glomerata* y *Holcus lanatus*. Lomajes exposición norte.

Los sitios pertenecen a una misma fisiografía, presentado suelo textura franco arenosa (Fa) (Tabla 1). La capacidad de almacenamiento de agua útil tiene un valor medio de  $14,84 \pm 0,25$  capacidad de campo (% C.C.) y punto de marchitez permanente (% P.M.P.) de  $35,10 \pm 2,82$ , entre los 0-20 cm.

Los agregados se determinaron por el método de tamizado en húmedo sobre un set de tamices bajo una columna de agua. El set de tamices retiene el material según su diámetro:  $\geq 2$ mm; 2-1 mm; 1-0,5 mm; 0,5-0,25 mm; 0,25 – 0,1 mm; 0,1– 0,05 mm y libera el material  $< 0,05$  mm considerado como residuo (material flotante y precipitado). Los resultados fueron separados en porcentajes de: agregación total At ( $\sum 5$ mm–0,053mm  $\emptyset$ ), macroagregados Ma ( $\sum \geq 0,25$  mm  $\emptyset$ ) y microagregados Mi ( $\sum < 0,25$  mm  $\emptyset$ ), en la relación al suelo seco tratado (100 g) estableciendo % como indicador normalizado (Kemper y Rosenau, 1986). El contenido de carbono orgánico (CO) en los macroagregados y microagregados se determinó mediante los valores de materia orgánica (MO) estimados vía húmeda por el método de Walkley y Black (Sadzawka *et al.*, 2006) y luego dividido por el

factor de corrección 1,724 de Van Bemmelen (Tabatabai, 1996).

**Tabla 1.** Caracterización textural y clasificación USDA.

Condición	Profundidad (cm)	Textura			Leyenda USDA
		Arena % 0,050-2 mm	Arcilla % <0,002 mm	Limo % 0,002-0,05 mm	
TPD	0-5	56,8	0,7	42,5	Franco arenosa (Fa)
	5-10	57,0	1,9	41,1	Franco arenosa (Fa)
	10-20	57,2	3,3	39,5	Franco arenosa (Fa)
TPBE	0-5	61,9	2,6	35,5	Franco arenosa (Fa)
	5-10	59,1	8,4	32,5	Franco arenosa (Fa)
	10-20	56,8	8,5	34,6	Franco arenosa (Fa)
SP	0-5	54,3	8,7	37,0	Franco arenosa (Fa)
	5-10	55,6	8,4	36,1	Franco arenosa (Fa)
	10-20	54,7	8,5	36,7	Franco arenosa (Fa)
LPD	0-5	58,0	0,9	41,2	Franco arenosa (Fa)
	5-10	56,9	4,2	38,9	Franco arenosa (Fa)
	10-20	56,5	3,9	39,6	Franco arenosa (Fa)
LPBE	0-5	60,1	4,9	35,0	Franco arenosa (Fa)
	5-10	58,6	5,0	36,4	Franco arenosa (Fa)
	10-20	57,0	6,1	36,9	Franco arenosa (Fa)

Condición: TPD = Terraza pradera degradada, TPBE = Terraza pradera buen estado, SP = Silvopastoreo, LPD = Lomaje pradera degradada, LPBE = Lomaje pradera buen estado.

El diseño experimental es completamente al azar con muestreo en arreglo de parcelas divididas.

Se consideró como tratamiento la condición de las praderas (C) y como sub-tratamiento la profundidad (P) (0-5, 5-10, 10-20 cm) con 3 repeticiones por tratamiento. La interacción se indica como CxP. Modelo Lineal propuesto se señala en la Tabla 2.

Se realizaron las pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov) y homogeneidad de varianzas (Levene). Los datos porcentuales fueron normalizados con la fórmula Arcoseno. Diferencias entre Condición (C) y sub tratamientos (P) se analizaron mediante la comparación de medias Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Se

realizó el análisis General Linear Model GLM utilizando el software SAS<sup>®</sup>.

**Tabla 2.** Modelo lineal propuesto.

$$Y_{ijk} = \mu + \rho_i + \alpha_j + \varphi_{ij} + \beta_k + (\alpha\beta)_{jk} + \varepsilon_{ijk} + \sigma_{ijk}$$

$Y_{ijk}$  Muestra k de la observación j del trt i

$\mu$  Media poblacional

$\rho_i$  Efecto repetición

$\alpha_j$  Efecto A

$\varphi_{ij}$  Efecto error parcela principal

$\beta_k$  Efecto B

$(\alpha\beta)_{jk}$  Efecto interacción

$\varepsilon_{ijk}$  Error experimental

$\sigma_{ijk}$  Error muestral

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según la Tabla 3, existen altos niveles de CO en todas las condiciones de las praderas (C) concentrados en superficie, con una disminución paulatina en profundidad.

Los Andisol del sur de Chile se caracterizan por poseer altos niveles de MO y arcilla amorfa (alofan) que se caracteriza por poseer una composición estructural con elevadas cantidades de aluminio compuesto por enlaces sólidos Al-MO (Sollins *et al.*, 1996; Matus *et al.*, 2006); Al

respecto Huygens *et al.* (2005), concluye que por sorción electrostática, entre los compuestos de Al amorfos y los minerales arcillosos, son los causantes de la estabilización fisicoquímica del CO; de esta forma, dado que los minerales arcillosos están estrechamente asociados con los compuestos de materia orgánica, se pueden formar complejos estables de metal, humus y arcilla; estos mecanismos son los que otorgan estabilidad al contenido de MO a pesar de sucesivas rotaciones o procesos perturbadores a los que han estado sometidos los suelos.

**Tabla 3.** Contenido de CO por condición y profundidad (t ha<sup>-1</sup>).

Condición	Profundidad (cm)							
	CO %				CO Total (t ha <sup>-1</sup> )*			
	5	10	20	0-20	5	10	20	0-20
TPD	16,5	9,5	7,9	11,3	53,1	36,2	72,3	174,9
TPBE	9,8	19,4	12,9	14	36,4	80,6	113,3	227,4
SP	20,8	15,6	13,3	16,6	67,33	58,2	112,5	247,3
LPD	18,5	18,2	15,9	17,5	54,2	65,2	127,2	245,7
LPBE	12,8	16,2	17	15,3	40,8	58,8	136,7	221,6

\*Carbono en suelo (t ha<sup>-1</sup>) = %C\*Da\*E\*A\*100, %C=Porcentaje de carbono; Da=Densidad aparente 0,75±0,1 (g cm<sup>-3</sup>); E=Espesor de la capa de muestreo (cm); A=Área considerada 1 ha.

### Agregación

Según Tabla 4 no existió diferencia significativa en % de agregación total (At) entre las condiciones de la pradera, en cambio sí fue significativo en profundidad (P≤0,05). El % de agregados totales (At) fue elevada; siendo el valor más alto en SP (85,5 ±11,2) seguido por las condiciones de pradera en ladera (LPBE 79,5±8,4 y LPD 75,5±6,8) y las condiciones en terraza (TPD 75,6±12,4 y TPBE 74,8±11,3). En valores totales, existe mayor contenido de macroagregados en todas las condiciones de pradera con una media de 66,1±12,2%; por su

parte los microagregados totales presentan una media de 12,1±4,8 %.

En macroagregados (Ma), no existieron diferencias entre las condiciones de pradera, pero si en profundidad (P≤0,05); de igual forma no se registró interacción CxP; por su parte en microagregados (Mi), existieron diferencias entre las distintas condiciones de pradera (P≤0,05) e interacción CxP, pero no entre profundidades (P>0,05).

En profundidad (0-20 cm) existió un incremento en % At, Ma y Mi; la At un 14,1%; en Ma un 14,1% y en Mi 14,8%; este incremento en el perfil puede corresponder al efecto del pisoteo

del ganado producto del pastoreo continuo en los sitios, junto con el alto contenido de arena del suelo que provoca que el suelo se distorba continuamente en los primeros centímetros formando un micro relieve irregular y altamente

perturbado y a partir de esto se mantiene agregación original en los centímetros inferiores que es más elevada.

**Tabla 4.** % agregación: At=% Agregados totales; Ma =% Macroagregados; Mi=% Microagregados.

	Condición	Profundidad (cm)					
		5		10		20	
At (%)	TPD	63,9 ± 11,8	b	77,1 ± 8,3	b	85,9 ± 4,4	a
	TPBE	67,9 ± 11,3	b	75,4 ± 11,4	b	81,0 ± 8,7	a
	SP	83,7 ± 12,3	a	84,8 ± 12,0	a	88,1 ± 10,9	a
	LPD	78,4 ± 7,4	b	76,8 ± 10,4	b	83,3 ± 7,0	a
	LPBE	73,0 ± 6,3	b	71,9 ± 5,4	b	80,6 ± 5,8	a
	C	ns					
	P	*					
	TxP	ns					
	C.V.(%)	11,7					
Ma (%)	TPD	53,3 ± 12,6	b	66,1 ± 8,6	b	71,9 ± 4,3	a
	TPBE	58,2 ± 8,5	b	62,2 ± 10,6	b	66,1 ± 10,3	b
	SP	78,9 ± 11,7	a	78,9 ± 11,4	a	78,2 ± 12,5	a
	LPD	64,6 ± 10,4	b	66,0 ± 12,5	b	70,1 ± 10,1	a
	LPBE	54,7 ± 4,3	b	55,6 ± 4,7	b	66,7 ± 8,2	b
	C	ns					
	P	*					
	TxP	ns					
	C.V.(%)	12,9					
Mi (%)	TPD	10,6 ± 2,0	B	10,9 ± 1,7	B	14,1 ± 2,8	A
	TPBE	9,7 ± 4,3	B	13,2 ± 2,6	AB	14,9 ± 2,5	A
	SP	4,8 ± 1,9	C	5,9 ± 0,8	C	9,9 ± 3,1	B
	LPD	13,9 ± 3,5	AB	10,8 ± 5,7	B	13,2 ± 4,6	AB
	LPBE	18,3 ± 5,1	A	16,3 ± 4,2	A	13,9 ± 3,8	AB
	C	*					
	P	ns					
	TxP	*					
	C.V.(%)	28,7					

\*=Significancia  $P \leq 0,05$ ; ns=no significativo  $P > 0,05$ , C=Condición; P=Profundidad (cm).

Entre Condición: Letras mayúsculas distintas significa que existen diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) con medias separadas según Tukey. Entre profundidad: Letras minúsculas distintas significa que existen diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) con medias separadas según Tukey.

Manejos del suelo donde se promueve el depósito constante de MO y la no inversión de los estratos, en particular las superficiales como praderas y siembra directa, aumentan la actividad biológica del suelo (Hungria *et al.*, 2009) y por ende la formación constante de agregados, aumentando igualmente la estabilidad estructural (Haynes, 1999; Atsivor, 2001). Por otra parte, formaciones vegetacionales como bosques, influyen en la agregación de los suelos directamente; así, los valores obtenidos por SP ( $85,5 \pm 11,2$  %) son similares a los obtenidos en un Andisol en bosque adulto y bosque caducifolio del sur de Chile ( $86,7 \pm 0,24$  y  $90,7 \pm 0,2$  % respectivamente) (Alvear *et al.*, 2007). En relación a las praderas, los valores obtenidos en % de agregación son mayores a los indicados por Villablanca *et al.*, (2009) en praderas mixtas y praderas naturalizadas con valores de 49,8 y 58,6 respectivamente en un Andisol.

La condición de pradera SP y LPBE presentan el mayor % Ma ( $78,7 \pm 11,2$  y  $66,9 \pm 10,7$  respectivamente) que las otras condiciones de la pradera debido al efecto de SP producto del incremento de MO en los perfiles superficiales del suelo y la actividad biológica asociada (Curaqueo *et al.*, 2010); por su parte LPBE tienen relación con el desarrollo de la pradera establecida y de un sistema radicular denso producto de la fertilización a la cual el sitio ha sido sometido; esto último coincide con lo señalado por Chenhua *et al.* (2019) en cuanto al efecto producido por la fertilización y acumulación de residuos orgánicos tiene un efecto directo en el incremento de la agregación y acumulación de CO del suelo.

El contenido de Ma en el resto de las condiciones siguió la secuencia: TPBE > TPD > LPD ( $62,1 \pm 9,8$ ,  $63,8 \pm 11,7$  y  $59 \pm 7,9$ ) respectivamente.

El contenido de Mi se relacionó a la secuencia LPD > TPBE = LPBE > TPD > SP; donde LPD

mostró los mayores valores medios ( $16,2 \pm 4,5$ ); esto se explica por eventos perturbadores a las cuales han sido sometidos los sitios, como sobrepastoreo y exposición (ladera norte), a lo cual se suma el efecto de factores climáticos como radiación y fluctuaciones de humedad severas como sequía estival, Six *et al.* (1999) señalaron que macroagregados son inestables y sensibles frente a perturbaciones que de ocurrir derivan a la formación de microagregados y reanudando el ciclo de vida a la construcción de un nuevo macroagregado; este comportamiento sería similar en los Andisol, al respecto Asano y Wagai (2014) demostraron que un suelo Andisol (Hydric Hapludand) presentaba una estructura jerarquizada en cuanto a la formación continua de agregados, desde  $53-2000 \mu\text{m}$ , hasta fracciones aún menores  $< 0,2 \mu\text{m}$ , estableciendo, además, que los Andisol cuentan con una alta estabilidad estructural intrínseca de estos suelos en comparación a suelos no volcánicos.

Por otra parte, Oades y Waters (1991) señalan que los microagregados son más estables y resistentes, esto los hace perdurables a pesar de eventos de ruptura; esto relaciona el contenido de microagregados de los sitios praderas sembradas (TPBE y LPBE) y la condición de degradación en ladera y terraza (TPD y LPD) en contraste con el sitio SP, que es el menos intervenido.

### **Carbono orgánico en agregados**

El %CO en Mi ( $8,05 \pm 2,56$ ) fue mayor que en Ma ( $7,12 \pm 2,13$ ), sin que estas diferencias sean significativas ( $P > 0,05$ ).

El %CO en A<sub>t</sub> son mayores en la condición de pradera en ladera (LPD  $8,65 \pm 1,79$  y LPBE  $7,77 \pm 1,74$ ), seguidos por SP ( $7,69 \pm 1,87$ ) y los menores valores en terrazas (TPD  $7,41 \pm 3,69$  y TPBE  $6,4 \pm 1,94$ ).

Entre las condiciones de pradera existieron diferencias significativas en %CO inta-

macroagregado e intra-microagregados ( $P \leq 0,05$ ) (Figura 2).

Los valores medios entre las condiciones de pradera señalan que los Ma de SP presentaron el mayor %CO ( $8,6 \pm 1,74$ ), seguido por la condición en laderas (LPD  $7,75 \pm 1,15$  y LPBE  $7,42 \pm 1,17$ ) y terraza (TPD  $7,07 \pm 2,91$  y TPBE  $4,74 \pm 0,75$ ).

El mayor %CO en Mi fue en lomaje (LPD  $9,55 \pm 1,84$  y LPBE  $8,13 \pm 2,11$ ), seguido por las condiciones de pradera en terraza (TPBE  $8,05 \pm 1,11$  y TPD  $7,75 \pm 4,3$ ) y el menor fue SP ( $6,78 \pm 1,49$ ) ( $P \leq 0,05$ ); estos resultados permiten inferir una relación entre praderas en lomajes con una mayor microagregación, junto con una mayor % CO intra-microagregados, lo cual reafirmaría lo indicado por varios autores respecto a la resistencia física y estabilidad de los microagregados en fisiografías más expuestas al clima como lomajes exposición norte (Tisdall y Oades, 1982; Oades, 1984; Jastrow, 1996; Jastrow *et al.*, 1998; Deneff *et al.*, 2004).

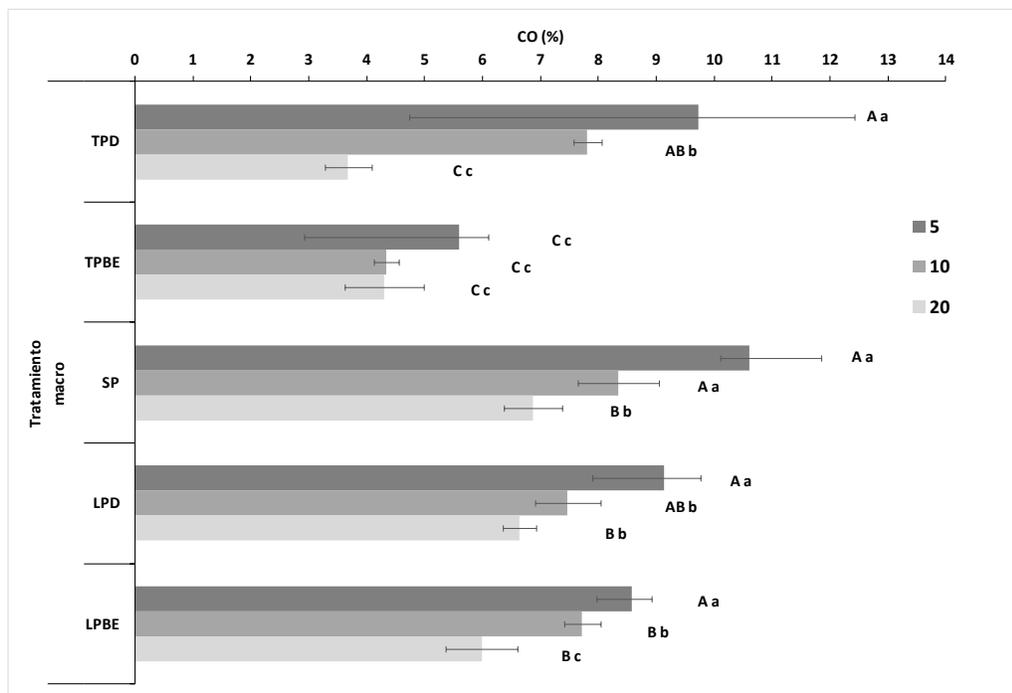
En profundidad existieron diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ). Los valores medios indican que de 0-5 cm obtuvo mayor % CO en Ma SP ( $10,60 \pm 1,1$ ).

En los Mi en los mayores % CO fueron en praderas degradadas (TPD  $13,56 \pm 1,27$ ; LPD  $12 \pm 0,48$ ) seguidos por praderas en buena condición (LPBE  $10,12 \pm 1,04$ ; TPBE  $9,30 \pm 0,52$ ). Entre 10 a 20 cm los Ma presentan mayor % CO en SP ( $6,87 \pm 0,5$ ) y condición de pradera de lomajes LPBE ( $5,98 \pm 0,6$ ) y LPD ( $6,64 \pm 0,3$ ); los menores valores fueron en terrazas (TPD  $3,68 \pm 0,4$  y TPBE  $4,31 \pm 0,7$ ). En microagregados el % CO fue mayor en LPD ( $7,9 \pm 0,1$ ) ( $P \leq 0,05$ ) frente al resto de las condiciones de pradera ( $P \leq 0,05$ ).

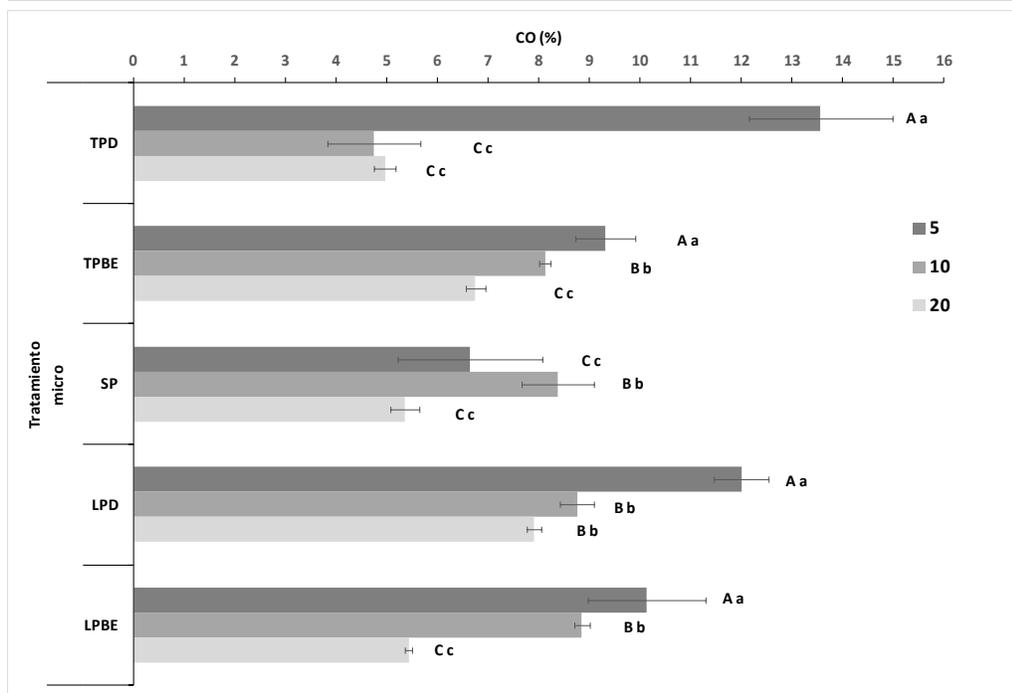
Valores medios en profundidad, en el tramo 0-20 cm, indican que %CO en Ma disminuyó de  $8,73 \pm 2,07$  a  $5,49 \pm 1$ , lo que equivale a un 37%,

lo mismo ocurrió en los Mi, donde %CO promedio bajo de  $10,32 \pm 2,57$  a  $6,07 \pm 1,12$  lo que equivale a una disminución del 41,1%; el resto de las condiciones de pradera en ladera y terraza (LPBE-LPD y TPBE-TPD) mostraron valores mayores en %CO en los microagregados, cuya causa se relaciona con perturbaciones a las cuales fue sometido el perfil superficial como es el caso TPBE y LPBE, y el efecto del sobrepastoreo en TPD y LPD.

Los resultados del %CO contenido en los intra-agregados (Ma y Mi) disminuyen en profundidad coincidiendo con lo señalado por varios autores respecto a una tendencia estable de disminución del contenido de CO en profundidad, concentrándose los mayores valores en los primeros perfiles y siguiendo un modelo de disminución paulatino en profundidad formando una curva de tendencia relativamente estable, cuyas variaciones se relacionan con el uso al cual ha estado sometido el sitio (Chan *et al.*, 2011; Bai *et al.*, 2016; Paz y Etchevers, 2016; Paradis y Saint-Laurent, 2017; Sijabat *et al.*, 2018).



(A)



(B)

Entre condición de la pradera: Letras mayúsculas distintas significa que existen diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) con medias separadas según Tukey.

Entre profundidades: Letras minúsculas distintas significa que existen diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) con medias separadas según Tukey.

**Figura 2.** Contenido de carbono orgánico (%CO) en macroagregados (A) y microagregados (B) por condición de pradera y profundidad.

## CONCLUSIONES

El uso de suelo bajo SP presenta condiciones que promueven la agregación de los suelos, junto con un mayor contenido de macroagregados y a su vez con un %CO relevante en el complejo de agregación como macroagregado,

Los resultados permiten inferir una relación entre sistemas degradados (praderas degradadas), un mayor % de microagregados y un mayor % CO intra-microagregados, lo que coincide con lo planteado por varios autores en cuanto a que el microagregado tiene una mayor estabilidad estructural física que resiste de mejor manera perturbaciones externas y es un importante reservorio de CO,

El %CO en los agregados (At, Ma, Mi) tiende a disminuir en profundidad de forma similar a los que ocurre en CO del suelo concentrándose mayormente en las capas superficiales; esto releva la importancia que tienen los primeros cm de la capa arable para como reservorio de CO.

## REFERENCIAS

- Alvear. M., Reyes. F., Morales. A., Arriagada, C. y Reyes, M. (2007). Actividad biológica y agregados estables al agua en dos tipos de formaciones vegetales de un bosque templado del centro - sur de Chile con perturbación antrópicas. *Ecología Austral*. 17:113-122.
- Atsivor, L., Dowuona. G.N. and Adiku S.G.K. (2001). Farming system-induced variability of some soil properties in a sub-humid zone of Ghana. *Plant and Soil*. 236: 83–90.
- Bai. J., Zhang. G., Zhao. Q. (2016). Depth-distribution patterns and control of soil organic carbon in coastal salt marshes with different plant covers. *Sci Rep*. 6. Doi: <https://doi.org/10.1038/srep34835>.
- Chan, K. Y., Conyers, M. K., Li G. D., Helyar K. R., Poile G., Oates A., Barchia I. M. (2011). Soil carbon dynamics under different cropping and pasture management in temperate Australia: Results of three long-term experiments. *Soil Research* 49: 320-328.
- Chenhua, Li., Yan, Li., Jiangbo, Xie., Yan, Liu., Yugang, Wang., Xuecan, Liu. (2019). Accumulation of organic carbon and its association with macro-aggregates during 100 years of oasis formation. *CATENA*. 172:770-780.
- CIREN (2005). Estudio Agrológico. Descripción de suelos. Materiales y Símbolos. XI Región. Publicación CIREN N°130. ISBN. 956-7153-66-3.126 p.
- Ferreira, C., Carvalho da Silva, E., Pereira. M., Do Nascimento. J., Rosset, J. and Cunha dos Anjos, L. (2020). Dynamics of soil aggregation and organic carbon fractions over 23 years of no-till management. *Soil and Tillage Research*.198.104533. ISSN 0167-1987.
- Curaqueo, G., Acevedo, E., Cornejo, P., Seguel. A., Rubio, R. y Borie, F. (2010). Tillage effect on soil organic matter. mycorrhizal hyphae and aggregates in a mediterranean agroecosystem. *J. Soil Sc. Plant Nutr*. 10(1).12-21.
- Denef, K., Six. J., Merckx, R. and Paustian, K. (2004). Carbon Sequestration in Microaggregates of No-Tillage Soils with Different Clay Mineralogy. *Soil Sci. Soc. Am. J*. 68. 1935–1944.
- FAO. 2001. Soil carbon sequestration for improved land management. World soil reports 96. Rome. 58 p.

- Huygens, D., Boeckx, P., Van Cleemput, O., Oyarzún, C. & Godoy, R. (2005). Aggregate and soil organic carbon dynamics in South Chilean Andisols. *Biogeosciences*. 2(2):159–174.
- Haynes, R.J. (1999). Labile organic matter fractions and aggregate stability under short-term grass-based leys. *Soil Biol. and Biochem.* 31: 1821-1830.
- Hungria, M., Franchini, J., Osvaldino Brandão-Jr. O., Glaciela Kaschuk, Souza R. (2009). Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil-tillage and two crop-rotation systems. *Applied Soil Ecology*.42(3):288-296.
- Jastrow, J.D. (1996). Soil aggregate formation and the accrual of particulate and mineral associated organic matter. *Soil Biol. Biochem.* 28(4/5):665-676.
- Jastrow, J.D., Miller, R.M. Lussenhop. J. (1998). Contributions of interacting biological mechanisms to soil aggregate stabilization in restored prairie. *Soil Biol. Biochem.* 30(7): 905-916.
- Kemper, W. and Rosenau, R. (1986). Aggregate stability and size distribution. In Klute. A. (ed). *Methods of Soil Analysis. Part I. Agronomy Monographs*. 9. 425-442.
- Lal, R. (1997). Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO<sub>2</sub> – enrichment. *Soil Till. Res.* 43: 81-107.
- Maki Asano and Rota Wagai (2014). Evidence of aggregate hierarchy at micro- to submicron scales in an allophanic Andisol. *Geoderma*. 216: 62-74.  
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.10.005>.
- Matus, F., Ximena Amigo, X. and Søren, M. and Kristiansen, S. (2006). Aluminium stabilization controls organic carbon levels in Chilean volcanic soils. *Geoderma*.132 (1–2):158-168.
- Oades, J.M. (1984). Soil organic matter and structural stability. Mechanisms and implications for management. *Plant Soil* 76:319–337.
- Oades, J.M. and Waters, A.G. (1991). Aggregate hierarchy in soils. *Aust. J. Soil Res.* 29:815-828.
- Paradis, R. and Saint-Laurent, D. (2017). Spatial distribution of organic carbon and nitrogen in soils related to flood recurrence intervals and land use changes in Southern Québec, Canada. *Journal of Soil Science and Environmental Management*. 8(2): 25-36.
- Paz, F. y Etchevers J. (2016). Distribución a profundidad del carbono orgánico en los suelos de México. *Terra Latinoamericana*. 34: 339-355.
- Sadzawka, A., Carrasco. M., Grez, R., Mora. M., Flores, H., Neaman, A. (2006). *Métodos de Análisis Recomendados para los Suelos de Chile*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago. Chile. 164 p.
- Sijabat, L; M Nurudin M.; Notohadisuwarno, S. and Utami, S. (2018). Labile carbon fraction, humic acid, and fulvic acid on organic and conventional farming of rice field in Imogiri and Berbah. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 215 012005 doi: 10.1088/1755-1315/215/1/012005.
- Silva, L.F., Ahumada, C.M. y Cerda, C.J. (1999). Guía de condición para los pastizales de la ecorregión templada intermedia de Aysén. Proyecto FNDR-SAG XI Región de Aysén. “Levantamiento para el ordenamiento de los ecosistemas de Aysén”. Gobierno Regional de Aysén. Ministerio de Agricultura. Servicio Agrícola y Ganadero. Departamento de Recursos Naturales Renovables. 128 p.

Six, J., Elliott, E. and Paustian, K. (1999). Aggregate and Soil Organic Matter Dynamics under Conventional and No-Tillage Systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:1350-1358. doi:10.2136/sssaj1999.6351350x

Six, J., Paustian, K., Elliott, E.T. and Combrink, C. (2000). Soil structure and organic matter. I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. *Soc. Am. J.* 64: 681-689.

Sollins, Phillip & Homann, Peter & Caldwell, Bruce (1996). Stabilization and Destabilization of Soil Organic Matter: Mechanisms and Controls. *Geoderma.* 74: 65-105. 10.1016/S0016-7061(96)00036-5.

Tabatabai, MA. (1996). Soil organic matter testing: An overview. p. 1-10. In: F Magdoff et al. (eds). *Soil Organic Matter: Analysis and Interpretation*. SSSA Spec. Pub. 46. American Society of Agronomy. Madison. WI.

Tisdall, J.M. and Oades, J.M. (1982). Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science.* 33:141-163.