

## Contenido de agua en dos suelos de la cuenca del Baker

### *Water content in two soils of Baker basin*

Felipe Zúñiga, Ing. Agrónomo (1), José Dörner, Ing. Agrónomo (2), Consuelo Andrade, Psicóloga (3), Jorge Molina, Prof. Educación Física (3), Paulina Flores, Méd. Veterinario, (1), Cristian Restrepo, Méd. Veterinario (3)

(1) Departamento de Ciencias Naturales y Tecnología, Universidad de Aysén – felipe.zuniga@uaysen.cl; paulina.flores@uaysen.cl

(2) Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos, Universidad Austral de Chile – josedorner@uach.cl

(3) Equipo Descubriendo Aysén– descubriendo.contacto@gmail.com

**RESUMEN:** El suelo es un medio trifásico y poroso en donde se almacena agua y aire. El espacio poroso (EP) se organiza de acuerdo con el ordenamiento de los agregados. Éstos, pueden ser alterados por el cambio de uso del suelo, manejo agrícola o el pastoreo, provocando una redistribución del EP. Aquí destacamos la importancia del volumen poroso sobre el contenido de humedad en dos suelos bajo cobertura praterense.

En dos suelos (A y B) de la cuenca del Río Baker colectamos muestras de suelo disturbadas y no disturbadas (cilindros) para determinar el contenido gravimétrico ( $\theta_g$ ) y volumétrico ( $\theta_v$ ) de agua, la densidad aparente ( $D_a$ ) y el EP.

La  $D_a$  y el EP mostraron valores similares entre ambos suelos. Sin embargo, una diferencia de 7% entre los contenidos de agua ( $\theta_v > \theta_g$ ) para el suelo A, sugiere que el almacenamiento de agua no solo ocurre en los poros medios a finos, sino que también en poros gruesos ( $>0,05\text{mm}$ ) que se encuentran entre los agregados de suelo.

Se recomienda que el contenido de humedad del suelo se determine volumétricamente, en muestras inalteradas que conserven el espacio poroso, es decir, utilizando cilindros o un volumen de referencia.

**PALABRAS CLAVE:** Estructura; porosidad; análisis físicos; Cochrane.

**ABSTRACT.** Soil is a three-phase, porous medium in which water and air are stored. The pore space (EP) is organised according to the arrangement of the aggregates. This could be altered by land use change, agricultural practices, or grazing, leading to pore space redistribution. In this note we highlight the importance of pore volume on moisture content in two soils under grassland cover.

In two soils (A and B) of the Baker River basin, we collected disturbed and undisturbed soil samples (cylinders) to determine the gravimetric ( $\theta_g$ ) and volumetric ( $\theta_v$ ) water content, bulk density ( $D_a$ ) and soil pore space (EP).

$D_a$  and EP showed similar values between the two soils. However, 7% difference between water content ( $\theta_v > \theta_g$ ) for soil A, suggest that the water storage occurs not only in the medium to fine pores but also in larger pores between soil aggregates.

It is recommended that soil moisture content be determined volumetrically, in undisturbed samples, that conserve the pore space, i.e., using cylinders or a reference volume.

**KEYWORDS.** Structure, porosity, physical analyses, Cochrane.

## INTRODUCCIÓN

El suelo es un medio trifásico, compuesto por una fase sólida (partículas), líquida (agua) y gaseosa (aire). El ordenamiento de la fase sólida o estructura del suelo determinará la organización del espacio o volumen poroso (Hillel 1998). En este espacio poroso, ocurre el almacenamiento de agua que permite el crecimiento de las plantas y los microorganismos del suelo.

La estructura del suelo puede modificarse por el manejo ya sea a través de las operaciones de labranza o por el pisoteo generado por los animales en pastoreo, (Hartge y Ellies 1990; Kay y Angers 1999) o por el cambio de uso del suelo (Zúñiga *et al.* 2014).

En sus orígenes, la superficie de la región de Aysén estaba cubierta por bosque nativo (Gajardo 1994). Sin embargo, a principios del siglo XX, el gobierno de Chile, a través de la ley de colonización, fomentó que colonos, empresarios y trabajadores, realizaran prácticas de “limpias”, desmontando el bosque y quemando vastas extensiones de terreno, lo que afectó a 3 millones de hectáreas. Lo anterior, permitió el crecimiento de praderas naturalizadas y el establecimiento de sistemas ganaderos extensivos (Yarrow y Torres-Gómez 2008). Sin embargo, el manejo inadecuado del rebaño provocó sobrepastoreo y favoreció procesos erosivos y degradativos de los suelos de Cochrane y la región de Aysén.

Este cambio de uso y manejo del suelo provocó una reducción del volumen total de poros que se puede detectar a partir de la evaluación de la densidad aparente ( $D_a$ ). Esta propiedad del suelo es una de las más utilizadas para comparar entre usos y manejos de suelo y relaciona el peso seco del suelo en un volumen conocido (USDA 2008). Los cambios en el volumen total de un suelo ( $V_t$ ) se presentan en la Figura 1.

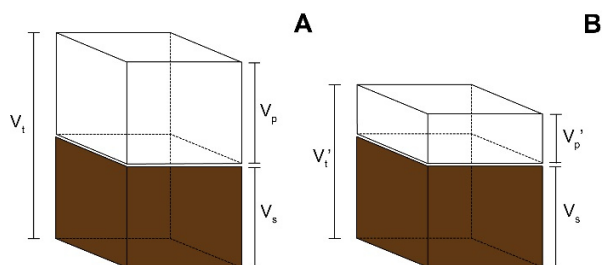


Figura 1. Volumen total inicial (A) y volumen total final (B) de un suelo, después de un evento de stress.

El  $V_t$  de un suelo es variable y se compone del volumen de sólidos ( $V_s$ ) y volumen poroso ( $V_p$ ) (Fig. 1A). Luego de sucesivos eventos de stress (e.g. pastoreo) el  $V_p$  se reducirá, generando un nuevo volumen poroso ( $V_p'$ ) y un nuevo volumen total ( $V_t'$ ) (Fig. 1B). El pastoreo podrá afectar la forma y el tamaño de las partículas de suelo, pero no alterará su composición, de este modo, el  $V_s$  permanece constante.

En este espacio poroso (EP) se almacena el agua del suelo ( $\theta$ ), que se determina gravimétrica o volumétricamente. La primera, relaciona la masa de agua y suelo, mientras que la segunda relaciona el volumen de agua y suelo, es decir, considera la porosidad. Esta nota resalta la importancia de considerar el volumen poroso en la cuantificación del contenido de humedad en el suelo en dos praderas naturalizadas de la cuenca del Río Baker.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### SITIOS Y MUESTREO

El muestreo se realizó en la comuna de Cochrane entre los días 16 y 17 de abril de 2021 (Sitio A: 47°6'12.31"LS, 72°46'28.65"LW, Sitio B: 47°15'23.40"LS, 72°35'21.29"LW). Esta comuna se ubica en la Cordillera Andina. Esta unidad geomorfológica, corresponde a una estructura granítica de topografía abrupta dominada por formas de erosión glacial. Esta sección cordillerana se encuentra disectada por numerosos valles de origen glacial y fluvial, destacando el valle del Río Baker, que se caracteriza por drenar una superficie de 17.159 km<sup>2</sup> y poseer un caudal de 1.500 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> (GORE Aysén *et al.* 2005). De acuerdo con la clasificación climática de Köppen-Geiger, esta zona se caracteriza por un clima templado intermedio (Cfb) con veranos secos y cálidos (Kottek *et al.* 2006). En el periodo 2015-2020, su temperatura media ha sido de 8,5 °C y ha alcanzado una precipitación promedio de 500 mm año<sup>-1</sup>. Esta condición climática ha permitido el desarrollo de ecosistemas de bosque caducifolio patagónico dominado por *Nothofagus pumilio* (Poepp. & Endl.) Krasser 1896 (Lenga) y de estepa dominada por *Festuca pallescens* (St.-Yves) Parodi o Coirón blanco (Silva, 2014), en donde históricamente se ha desarrollado un tipo de ganadería extensiva.

Los sitios de muestreo poseen una cobertura pratense naturalizada y son pastoreados de manera extensiva por el ganado ovino. Se realizaron prospecciones con barreno (Eijkelpkamp, 04.01.SB) para observar las variaciones en la profundidad efectiva del suelo, lo que permitió seleccionar las unidades de muestreo. En cada sitio, se colectaron muestras de suelo no disturbadas (n= 3), en cilindros de acero inoxidable de 100 cm<sup>3</sup> utilizando un kit de extracción (Eijkelpkamp, 07.53.SC, Figura 2). En paralelo, se colectaron muestras no disturbadas (n= 3) con una pala y bolsas de polietileno. Las muestras representan los primeros 20 cm del horizonte superficial de suelo.



Figura 2. Toma de muestras inalteradas de suelos en superficie (0-20 cm). La cobertura, corresponde a una pradera naturalizada pastoreada por ovinos, en la localidad de Cochrane (Sitio B).

### ANÁLISIS DE LABORATORIO

Se registró el peso de una cantidad de suelo disturbado entre 50 y 200 g utilizando una balanza de precisión (Sartorius ENTRIS II BCE2202-1S, ±0.01). Posteriormente, las muestras fueron secadas en una estufa de convección por aire forzado a 105° C por 24 h. (Sadzawka *et al.* 2006) para determinar el contenido gravimétrico de agua ( $\theta_g$ ) se utilizó la ecuación (1):

$$\theta_g = [w_h - w_s / w_s]$$

Donde:

$\theta_g$ : Contenido gravimétrico de agua (g)

$w_h$ : Peso suelo de terreno (g)

$w_s$ : Peso suelo seco (105 °C) (g)

Utilizando el mismo procedimiento anterior, se pesó cada cilindro de suelo y se determinó su contenido gravimétrico de agua (1) y su densidad aparente utilizando la ecuación (2):

$$Da = [w_c / v_c]$$

Donde:

$Da$ : Densidad aparente (g cm<sup>-3</sup>)

$w_c$ : Peso suelo al interior del cilindro post-secado 105 °C (g)

$v_s$ : Volumen del cilindro (cm<sup>3</sup>)

A partir de ambos parámetros se determinó el contenido volumétrico de agua en cada cilindro utilizando la ecuación 3:

$$\theta_v = \theta_g \times Da$$

Donde:

$\theta_v$ : Contenido volumétrico de agua (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>)

$\theta_g$ : Contenido gravimétrico de agua (g g<sup>-1</sup>)

$Da$ : Densidad aparente (g cm<sup>-3</sup>)

<sup>1</sup> Información obtenida desde la [Red Meteorológica de INIA](https://red.meteorologica.inia.gub.uy/).

## ANÁLISIS DE DATOS

Se utilizó estadística descriptiva para analizar los datos, a través de el promedio, la desviación y el error estándar y el coeficiente de variación. Este análisis se realizó con el software GraphPad Prism 6.

## RESULTADOS

La densidad aparente ( $D_a$ ) de los suelos evaluados varió entre  $1,08 \pm 0,05$  a  $1,12 \pm 0,02 \text{ g cm}^{-3}$ , lo que sugiere que el espacio poroso total de los suelos A y B es similar (Fig. 3).

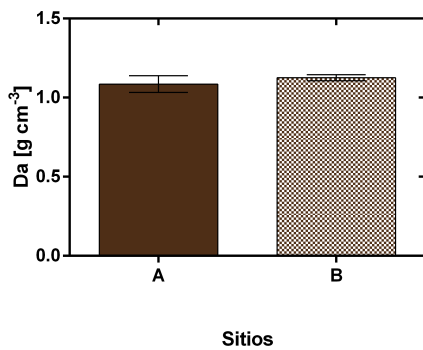


Figura 3. Densidad aparente para los sitios A y B. Se presentan valores promedios y el error estándar.

El contenido gravimétrico de agua para las muestras disturbadas y no disturbadas se presenta en el eje y-izquierdo de la Figura 4, mientras que el contenido volumétrico de agua para las muestras no disturbadas se presenta en el eje y-derecho.

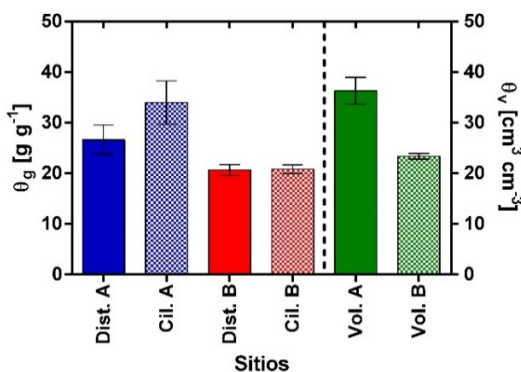


Figura 4. Contenido gravimétrico y volumétrico de agua para muestras disturbadas y no disturbadas para los sitios A y B. Se presentan valores promedios y el error estándar.

Al comparar el contenido gravimétrico de agua ( $\theta_g$ ) entre muestras disturbadas (Dist.) y no disturbadas (Cil.), ocurrió un incremento de 7,4 puntos porcentuales desde 26,6% a 34,0% en el suelo A, mientras que el  $\theta_g$  en el suelo B se mantuvo en 20,7% y 20,8% respectivamente (sección izquierda en Fig. 4).

El contenido volumétrico de agua ( $\theta_v$ ) (sección derecha en Fig. 4), incrementó en 2,3% y 2,5% para los suelos A y B al compararse con el contenido gravimétrico de agua.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

El suelo es un componente esencial de la biósfera que provee de servicios ecosistémicos básicos como la provisión de alimentos y fibra, regulación y filtración de agua, soporte para las actividades humanas etc. (Blum *et al.* 2018; Lal 2013). La mirada agrícola convencional se ha focalizado en la corrección de los niveles de fertilidad de nutrientes -principalmente N, P y K- y de pH, sin embargo, esto resulta exitoso, sólo cuando el balance hídrico es positivo para la planta, es decir cuando el agua se encuentra disponible (Hartge y Ellies 1999).

El agua en el suelo se almacena en el espacio poroso (EP), el que se puede determinar a partir de la relación entre la densidad aparente ( $D_a$ , Fig. 2) la densidad de partículas<sup>2</sup> ( $D_p$ ) tal como se indica en la ecuación 4.

$$EP = \left[ 1 - \frac{D_a}{D_p} \right] \times 100$$

Un espacio poroso de 59,2% para el suelo A y de 57,7% para el suelo B, sugiere que ambos suelos poseerían una capacidad de almacenar agua similar. Krümmelbein *et al.* (2008) reportaron niveles de porosidad total de 58% en sitios con exclusión de pastoreo y de 50% en sitios con pastoreo intensivo en un suelo Chernozem en China. Sin embargo, no sólo depende de la capacidad total de almacenamiento o porosidad total que un suelo posee, sino también de la distribución del sistema poroso, en la que se distinguen tres tipos de poros según su diámetro: gruesos (> 0,05mm); medios (0,05-0,002mm) y finos (< 0,002mm) (Horn y Kutilek 2009; Sandoval *et al.* 2012).

Tanto el volumen total de poros como su distribución son susceptibles al cambio ya sea por variaciones estacionales o por efectos del manejo y/o cambio de uso del suelo (Ellies *et al.* 1993) lo que se refleja en el contenido de humedad del suelo ( $\theta$ ). Contenidos de humedad de 37% en verano y 61% en invierno, bajo un cultivo de trigo (*Triticum aestivum*) fueron reportados por Dörner *et al.* (2012), mientras que Zúñiga *et al.* (2015) registraron valores de poros medios de 39% en praderas labradas, mientras que en praderas sin labranza este valor no superó el 33%, lo que sugiere que la inversión de suelo generó una redistribución del sistema poroso.

<sup>2</sup> Se utiliza una densidad de partículas de referencia de  $2,65 \text{ g cm}^{-3}$  (Blake 2008).

El análisis gravimétrico (Fig. 4) subestima el contenido de humedad en el suelo A, lo que sugiere que el agua en este suelo no solo se almacena en la porosidad media, sino también en poros de mayor diámetro que se encuentran entre los agregados de suelo. Esta diferencia no se apreció en el suelo B, es decir el agua se almacenaría en poros de diámetro medio a fino.

La organización de las partículas de suelo no solo determina su porosidad, sino que también los flujos de agua y aire en el suelo, que varían según el grado de alteración (Tuli *et al.* 2005). Es posible que el sistema poroso del suelo A sea más intrincado y complejo, lo que puede estar asociado al contenido de materia orgánica que históricamente ese suelo ha recibido por las excretas de los animales en pastoreo y que explicaría los mayores valores de  $\theta$  y eventualmente, poseería un sistema poroso más apto para la conducción de agua y aire.

Lo anterior, sugiere que la selección de la metodología para determinar el contenido de agua en el suelo no es trivial, y siempre cuando sea posible, es recomendable coleccionar muestras sin disturbar para analizar volumétricamente el contenido de humedad del suelo.

## AGRADECIMIENTOS

La elaboración de esta nota no habría sido posible sin la buena disposición del Sr. Rodolfo Catalán (Suelo A) y la Sra. Cecilia Parada (Suelo B), quienes facilitaron el acceso a sus predios para coleccionar las muestras de suelo.

## REFERENCIAS

Blake, G.R. 2008. Particle density. In: Chesworth W. (Ed.), *Encyclopedia of Soil Science*. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Dordrecht.

Blum, W.E.H., P. Schad y S. Nortcliff. 2018. *Essentials of Soil Science. Soil formation, functions, use and classification* (World Reference Base, WRB). Schweizerbart Science Publishers. Stuttgart.

Dörner, J., D. Dec, E. Feest, N. Vásquez y M. Díaz. 2012. Dynamics of soil structure and pore functions of a volcanic ash soil under tillage. *Soil & Tillage Research* 125:52-60.

Ellies, A., C. Ramírez, R. Mac Donald y H. Figueroa. 1993. Modificaciones estacionales en la distribución del espacio poroso por tamaño en un suelo sometido a variado uso forestal. *Bosque* 14 (2):31-35.

Gajardo, R. 1994. *La vegetación natural de Chile. Clasificación y distribución geográfica*. Universitaria. Santiago.

Gobierno Regional de Aysén, Ministerio de Planificación y Cooperación SERPLAC XI Región y Cooperación Técnica Alemana. 2005. *Atlas Región de Aysén*. LOM Ediciones Ltda. Santiago.

Hartge, K., y A. Ellies. 1990. Gefügeänderung bei Andosolen Sudchiles als Folge der Nutzung seit der Rodung. *Z. F. Bodenkunde und Pflanzenernährund* 153:389-393.

Hartge, K., y A. Ellies. 1999. El Rol de la Física de Suelo en la Producción Agrícola. *Agro Sur* 27 (1):43-56.

Hillel, D. 1998. *Environmental Soil Physics*. Academic Press. San Diego.

Horn, R., y M. Kutilek. 2009. The intensity–capacity concept—How far is it possible to predict intensity values with capacity parameters. *Soil & Tillage Research* 103:1-3.

Kay, B. y D. Angers. 1999. Soil Structure. In: Sumner, M. (Ed.), *Handbook of Soil Science*. CRC press. Boca Raton.

Kottek, M., J. Grieser, C. Beck, B. Rudolf y F. Rubel. 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift* 15 (3):259-263.

Krümmelbein, J., S. Peth y R. Horn. 2008. Determination of pre-compression stress of a variously grazed steppe soil under static and cyclic loading. *Soil & Tillage Research* 99:139-148.

Lal, R. (2013). Soils and Ecosystem Services. In: Lal, R., K. Lorenz, R.F. Hüttl, B.U. Schneider y J. von Braun (Eds.), *Ecosystem Services and Carbon Sequestration in the Biosphere*. Springer. Dordrecht.

Sandoval, M., J. Dörner, O. Seguel, J. Cuevas y D. Rivera. 2012. *Métodos de Análisis Físicos de Suelos*. Departamento de Suelos y Recursos Naturales Universidad de Concepción. Publicación N° 5, Chillán.

Silva, F. 2008. Ecorregiones de Aysén. En: Hepp, C y N. Stolpe (Eds.), *Caracterización y propiedades de los suelos de la Patagonia Occidental (Aysén)*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA-Tamel Aike. Coyhaique.

Tuli, A., J. Hopmans, D. Rolston y P. Moldrup. 2005. Comparison of Air and Water Permeability between Disturbed and Undisturbed Soils. *Soil Science Society of American Journal* 69:1361-1371.

USDA Natural Resources Conservation Service. (2008). Soil Quality Indicators. [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs142p2\\_053256.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_053256.pdf) [15/05/2021].

Yarrow, M. y M. Torres-Gómez. 2008. The ecological and cultural landscape of the Aysén river basin. In: Neves, R., J.W. Barreta y M. Mateur (Eds.), *Perspectives on Integrated Coastal Zone Management in South America*. IST Press, Lisboa.

Zúñiga, F., D. Dec, D. S.R. Valle, J. Dörner y R. Mac Donald. 2014. Estabilidad estructural de un Andisol (Typic Durudand) bajo bosque nativo y pradera en el Sur de Chile. *Agro Sur* 42 (3):55-66.

Zúñiga, F., J. Ivelic-Sáez, I. López, D. Hyugens y J. Dörner. 2015. Temporal dynamics of the physical quality of an Andisol under a grazing system subjected to different pasture improvement strategies. *Soil & Tillage Research* 145:233-241.