**FÍSICA, QUÍMICA Y FÍSICO-QUÍMICA DE LOS SUELOS**

**Estimación de la capacidad de retención de agua de suelos volcánicos en función de variables de fácil determinación a campo**

**Walter holding capacity of volcanic soils estimated by easily measured variables**

Ludmila La Manna1-2\*, Manuela Tarabini1-2, Federico GOmez1-2-3, Pedro Agustín Noli1-2,

Braian Vogel1, Carlos Guillermo Buduba1-34

1 Centro de Estudios Ambientales Integrados, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.

2 CONICET

3 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)

\* Autor de contacto: ludmilalm@yahoo.com

Recibido: 25/10/2017

Recibido con revisiones: 19/02/2018

Aceptado: 04/03/2018

**Resumen**

Los suelos de la Región Andino Patagónica se desarrollan fundamentalmente a partir de cenizas y arenas volcánicas, lo que les

otorga propiedades distintivas. El objetivo del presente trabajo fue generar modelos que permitan estimar las constantes hídricas

[capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP)] en suelos volcánicos, en función de variables de fácil

determinación a campo: clase textural estimada al tacto y test de fluoruro de sodio (NaF), el cual permite estimar la presencia

de aluminosilicatos no cristalinos. Los datos fueron analizados mediante modelos de regresión cuadrática, considerando la clase

textural como variable ordinal independiente (*x*) y las constantes hídricas como variables dependientes.

Se obtuvieron los siguientes modelos cuadráticos de regresión:

Para suelos con reacción negativa al NaF (i.e., sin aluminosilicatos no cristalinos) (N = 132):

CC = 47,18 – 4,09 \* *x* + 0,13 \* *x*2 (R2 = 0,52)

PMP = 30,46 – 3,52 \* *x* + 0,13 \* *x*2 (R2 = 0,53)

Para suelos con reacción positiva al NaF (i.e., con aluminosilicatos no cristalinos) (N = 211):

CC = 35,50 + 1,26 \* *x* – 0,23 \* *x*2 (R2 = 0,25)

PMP = 21,53 + 0,29 \* *x* - 0,13 \* *x*2 (R2 = 0,37)

Siendo *x* el código ordinal de clase textural: 1 = arcilloso; 2 = arcillo limoso; 3 = franco arcillo limoso; 4 = arcillo arenoso; 5

= franco arcilloso; 6 = limoso; 7 = franco limoso; 8 = franco arcillo arenoso; 9 = franco; 10 = franco arenoso; 11 = areno

franco; 12 = arenoso.

Los modelos desarrollados presentaron un ajuste estadísticamente significativo, y tienen la practicidad de sólo necesitar datos

de campo, fácilmente obtenibles.

**Palabras clave:** Capacidad de campo, Punto de marchitez permanente, Textura, Andisol

**Abstract**

Soils in Patagonian Andean Region are developed mainly from volcanic ashes and they have distinct properties. We aimed

to develop models in order to estimate Field capacity (FC) and Permanent Wilting Point (PWP) in volcanic soils, using easily

measured variables: soil textural class and Fieldes test, which allows detecting non-crystalline aluminosilicates. Data were analyzed

with second order regression models, considering textural class as ordinal independent variable (*x*) and FC and PWP as

dependent variables. The following regression models were developed:

For soils with negative Fieldes test (i.e., without non-crystalline aluminosilicates) (N = 132):

FC = 47,18 – 4,09 \* *x* + 0,13 \* *x*2 (R2 = 0,52)

PWP = 30,46 – 3,52 \* *x* + 0,13 \* *x*2 (R2 = 0,53)

For soils with positive Fieldes test (i.e., with non-crystalline aluminosilicates) (N = 211):

FC = 35,50 + 1,26 \* *x* – 0,23 \* *x*2 (R2 = 0,25)

PWP = 21,53 + 0,29 \* *x* - 0,13 \* *x*2 (R2 = 0,37)

*x* = code for textural class: 1 = clay; 2 = silty clay; 3 = silty clay loam; 4 = sandy clay; 5 = clay loam; 6 = silt; 7 = silt loam;

8 = sandy clay loam; 9 = loam; 10 = sandy loam; 11 = loamy sand; 12 = sand.

These models showed significant fit, and are a useful tool based on readily available field data.

**Key words:** Field capacity, Permanent Wilting Point, Texture, Andisol

**Introducción**

El material original preponderante de los suelos

de la Región Andino Patagónica son cenizas

y arenas volcánicas holocénicas (Apcarian &

Irisarri, 1993). El material volcánico sufre diferentes

procesos pedogenéticos en función de las

precipitaciones y la posición en el paisaje (Parfitt

*et al.,* 1984). Así, el gradiente de precipitación

característico de la región (Barros *et al.,* 1979)

se asocia con un gradiente edáfico. El sector de

mayores precipitaciones, hacia el oeste, se caracteriza

por la presencia de aluminosilicatos no

cristalinos (alófano e imogolita) y es dominado

por Andisoles. Hacia el este, en el sector húmedo-

subhúmedo, los suelos son menos lixiviados

y constituyen un área transicional de Andisoles a

Molisoles de régimen xérico (Etchevehere, 1972;

López, 1996). La formación de haloisita, arcilla

cristalina del tipo 1:1, se ve favorecida en estos

ambientes más secos (Shoji *et al.*, 1993; McDaniel

*et al.,* 2012).

Dado que las lluvias se concentran en el otoño-

invierno, fuera del período de crecimiento de

las plantas, la capacidad de los suelos volcánicos

para cargarse de agua durante la época de lluvia

(mayo - noviembre) y liberarla paulatinamente

durante el verano, es la que permite que se desarrolle

el bosque andino patagónico (Colmet Dâage

*et al.,* 1998) y, a su vez, favorece una alta aptitud

forestal para coníferas de rápido crecimiento

(Irisarri & Mendía, 1997). La capacidad de retención

de agua del suelo es considerada clave

en la estimación de la aptitud forestal, tanto de

acuerdo a estudios desarrollados en otras partes

del mundo (Fralish, 1994; McLeod & Running,

1988; Uzoh, 2001) como en la Región Andino

Patagónica (Broquen *et al.,* 1998; Loguercio *et*

*al.,* 2015). La retención de agua está influenciada

a su vez por distintas variables del suelo, entre

ellas, la textura (Ahuja *et al.,* 1985; Gijsman *et*

*al.,* 2002; Saxton & Rawls, 2006) y la presencia

de aluminosilicatos no cristalinos (Warkentin &

Maeda, 1980; Wada, 1985; Parfitt *et al.,* 1984).

Dado que no siempre se dispone del equipamiento

para determinar en laboratorio las constantes

hídricas, se han generado ecuaciones para

su estimación en función de otros parámetros del

suelo, como la textura. La mayoría de estos estudios

fueron realizados en suelos de otras partes

del mundo, principalmente en Estados Unidos

(Ahuja *et al.*, 1985; Gijsman *et al.*, 2002; Saxton

& Rawls, 2006). En la Región Andino Patagónica,

la textura al tacto fue utilizada como estimador de

la humedad retenida a 15 atm, según si era mayor

o menor a 15%, límite utilizado para clasificar

los Andisoles údicos a nivel de suborden (Frugoni,

2004). Para suelos de la región, también se

han obtenido ecuaciones que permiten estimar

las constantes hídricas a partir del contenido de

carbono orgánico y la densidad aparente (Gaitán

& López, 2007).

El presente trabajo tuvo por objetivo estimar

las constantes hídricas [capacidad de campo (CC)

y punto de marchitez permanente (PMP)] en suelos

volcánicos de la Región Andino Patagónica,

en función de variables de fácil determinación a

campo: clase textural estimada al tacto y test de

fluoruro de sodio (NaF).

**Materiales y Métodos**

El área de estudio se centró en la Región Andino

Patagónica, desde la provincia de Neuquén

a la provincia de Chubut, abarcando un rango latitudinal

de 38º46´S a 43º38´S, un rango longitudinal

de 70º46´ a 71º40´O, y un gradiente

de precipitación de 400 a 2000 mm anuales. Es

un área de suelos de origen volcánico, correspondientes

a los órdenes Andisoles y Molisoles.

Se analizaron 343 muestras de suelo superficiales

y subsuperficiales, incluyendo un abanico

de profundidades y horizontes. Así, las muestras

superficiales incluyeron muestras tomadas de

0-20cm y muestras de horizontes A, mientras que

las muestras subsuperficiales incluyeron muestras

tomadas a profundidades de 20-40cm y 60-

80cm, y muestras de horizontes AC, Bw y C.

En el campo se estimó la presencia o no de

aluminosilicatos no cristalinos (alófano e imogolita)

mediante el test de Fieldes o test de fluoruro

de sodio (NaF) (Fieldes & Perrot, 1966). Este test

consiste en colocar una porción de suelo sobre un

papel de filtro embebido en fenolftaleína y agregar

una solución acuosa de NaF 1N. Los aluminosilicatos

no cristalinos son fácilmente disueltos por el NaF, y por combinación del flúor y de la alúmina

se liberan bases que colorean de violeta el papel.

La textura al tacto fue determinada siguiendo

un procedimiento similar al detallado en la **Figura**

**1**. Cuando las muestras presentaron alto contenido

de fracción gruesa, fueron tamizadas por malla

de 2 mm a fin de que la fracción gruesa no enmascare

la textura de la fracción tierra fina.

Todas las muestras fueron llevadas al laboratorio,

secadas al aire y tamizadas por malla de 2

mm. La capacidad de campo (CC, agua retenida

a 0,3 atm) y el punto de marchitez permanente

(PMP, agua retenida a 15 atm) fueron determinados

por olla y membrana de presión (Richards,

1956). Las muestras, tamizadas y saturadas

de agua, fueron colocadas en las ollas a presión

constante y, una vez alcanzado el equilibrio,

cuando cesó la eliminación de agua, se determinó

su contenido de humedad. Este proceso demoró

hasta siete días, según las características de las

muestras.

Los datos se analizaron separadamente de

acuerdo a la respuesta positiva o negativa al test

de Fieldes, es decir, a la presencia o no de aluminosilicatos

no cristalinos. Se ajustaron modelos de regresión,

considerando la clase textural como variable

ordinal independiente y las constantes hídricas

como variables dependientes. Para el ordenamiento

de la clase textural se consideraron los valores

medios de CC para cada clase textural, de acuerdo

al modelo propuesto por Saxton & Rawls (2006).

El análisis de los datos fue realizado mediante el

programa Infostat (Di Rienzo *et al.,* 2013).

Fig1

**Figura 1.** Clave para determinar las clases texturales a campo. Modificado de Thien (1979).

**Figure 1.** Key for determining field textural classes. Modified from Thien (1979).

**Resultados y Discusión**

Once de las doce clases texturales estuvieron

representadas en las 343 muestras incluidas en este estudio. Sin embargo, el número de muestras

fue muy diferente para cada textura. La mayoría

de las muestras presentaron texturas francas a

arenosas (Franca, Franco limosa, Franco arenosa,

Areno franca, Arenosa), las cuales resultaron dominantes

en la región de estudio.

A partir de las texturas determinadas a campo

se pudieron ajustar modelos para la determinación

de capacidad de campo y punto de marchitez

permanente, para muestras de suelo con

reacción al NaF negativa (**Figura 2a**) y positiva

(**Figura 2b**). Los modelos que mejor ajustaron en

todos los casos fueron polinomios de segundo orden,

detallados en la **Tabla 1**. Estos modelos cuadráticos

presentaron un buen ajuste (test de bondad

de ajuste: p>0,05). En la Tabla 1 se detallan

los valores observados y los valores predichos de

CC y PMP para las distintas clases texturales y

reacción al NaF.

Fig2

**Figura 2.** Modelos de regresión para

la estimación de capacidad de campo

(círculos) y punto de marchitez

permanente (triángulos) en función

de la clase textural (x) para suelos con

reacción al NaF negativa (**Figura a**)

y positiva (**Figura b**). Los símbolos

y curvas negras corresponden al

modelo ajustado. Los símbolos

grises corresponden al valor medio

observado ± 1 error estándar.

**Figure 2.** Regression models for

estimating field capacity (circles) and

permanent wilting point (triangles) in

volcanic soils by the textural class (x),

for soils with negative reaction to NaF

(**Figure a**) and positive reaction to NaF

(**Figure b**). Black symbols and curves

correspond to the adjusted models.

Gray symbols correspond to mean

observed value ± 1 standard error.

En coincidencia con otros estudios, las texturas

más finas se asociaron con valores más altos

de las constantes hídricas (**Figura 2**).

En la **Tabla 1** se muestran también los intervalos

de confianza y de predicción. El intervalo

de confianza indica los valores esperados de las

constantes hídricas (*y*) para un valor dado de clase

textural (*x*), con una probabilidad del 95%. El

intervalo de predicción, en tanto, indica el rango

de valores posibles que se pueden obtener en una

determinación futura de *y*, dado un valor de *x*.

Los amplios intervalos de predicción registrados

en todos los casos, evidencian que el poder predictivo

de estos modelos es bajo. Otras variables,

diferentes a la textura, pueden estar fuertemente

asociadas a la capacidad de retención de agua.

Gaitán & López (2007), en suelos volcánicos de

la región andino patagónica, hallaron modelos de

regresión que permiten estimar la CC y el PMP a partir de la densidad aparente y el contenido de

carbono orgánico, con buenos ajustes y valores de

R2 entre 0,45 y 0,77.

tabla 1

**Tabla 1.** Modelos de regresión para estimar capacidad de campo y punto de marchitez permanente en suelos volcánicos, en función

de la clase textural y el test de NaF. Se indican el número de muestras (N), los valores observados y predichos y los Intervalos de

Confianza y Predicción.

**Table 1.** Regression models for estimating field capacity and permanent wilting point in volcanic soils, by the textural class and NaF

test. Number of samples (N), observed and predicted values, confidence and prediction intervals are shown.

Los modelos desarrollados presentaron un mejor

ajuste, con mayores valores de R2, para aquellas

muestras cuya reacción al NaF fue negativa,

es decir, sin presencia de aluminosilicatos no

cristalinos (**Tabla 1**). Este resultado puede estar

relacionado con la dificultad para determinar la

verdadera textura del suelo ante la presencia de

arcillas no cristalinas. En estos suelos se forman

microagregados, como consecuencia de la fuerte

cementación entre la materia orgánica y la fracción

mineral (Warkentin & Maeda, 1980; Wada,

1985; McDaniel *et al.,* 2012). Estos microagregados

se comportan como una partícula más

gruesa que enmascara la granulometría verdadera

del suelo, y dificulta la determinación de la clase

textural. En este sentido, la subjetividad del evaluador

en la determinación de la textura al tacto

a campo constituye una posible fuente de error,

y explica en parte la alta dispersión de los datos

(**Figura 2**).

Los suelos volcánicos tienen características

distintivas, una de las cuales es la gran capacidad

de almacenar agua (McDaniel *et al.,* 2012). Así,

los valores esperados de agua útil (i.e., diferencia

entre CC y PMP) resultaron mayores en los modelos

basados en datos del área de estudio que los

desarrollados para suelos en general por Saxton &

Rawls (2006), para la mayoría de las clases texturales

(**Figura 3**). La mayor diferencia se observa en las texturas más gruesas. Las características

particulares de los suelos de la Región Andino Patagónica

ameritan el ajuste de este tipo de variables

con modelos específicos para la zona.

Fig3

**Figura 3.** Valores estimados de agua útil en función de la clase textural, según distintos modelos estadísticos:

modelos generados con datos de la Región Andino Patagónica para suelos con reacción al NaF negativa y

positiva y según el modelo general desarrollado por Saxton & Rawls (2006), considerando un contenido de

materia orgánica de 5% .

**Figure 3.** Estimated values of useful water according to the textural class, according to different statistical

models: models generated with data from the Patagonian Andean Region for soils with negative reaction to NaF

and positive and according to the general model developed by Saxton & Rawls (2006), considering an organic

matter content of 5% .

En la **Figura 3** se evidencia también que la

diferencia en la capacidad de retención de agua

entre suelos con y sin aluminosilicatos no cristalinos

(barras negras y grises) es mayor para texturas

medias y gruesas, y mínima en las clases

texturales ricas en arcilla.

Los modelos desarrollados tienen la practicidad

de sólo necesitar datos de campo, fácilmente

obtenibles, cumpliendo así el objetivo propuesto

en este estudio. Futuros trabajos deberían precisar

estos modelos con variables analíticas determinadas

en laboratorio, que pueden afectar la

capacidad de retención de agua, por ejemplo, la

discriminación de las distintas fracciones granulométricas

(i.e., porcentaje de arcilla, limo y arena)

y el contenido de materia orgánica (Saxton *et*

*al.,* 1986; Rawls *et al.,* 2003; Gaitán & López

2007).

**Agradecimientos**

Agradecemos a Jorge Irisarri por su guía en

los estudios de campo que fueron la base para

generar este trabajo.

**Bibliografía**

Ahuja, LR; JW Naney & RD Williams. 1985. Estimating soil

water characteristics from simpler properties or limited

data. Soil Sci. Soc. Am. J. 49:1100–1105.

Apcarian, A & J Irisarri. 1993. Caracterización mineralógica

de suelos desarrollados sobre cenizas volcánicas en las

provincias de Neuquén y Río Negro (R.A.). Actas II Jornadas

de Vulcanología, Medio ambiente y Defensa Civil.

Zapala, Neuquén. 23 p.

Barros, V; B Scian & H Mattio. 1979. Campos de precipitación

de la Provincia de Chubut (período 1931 - 1960).

Geoacta 10: 175 – 192.

Broquen, P; JL Girardin; G Falbo & O Alvarez. 1998. Modelos

predictores de índice de sitio en *Pinus ponderosa*

Dougl. en base a características del suelo andinopatagónico

oriental, 37°-41° S, República Argentina. BOSQUE

19(1): 71-79.

Colmet Daage, F; A Marcolin; C López; M Lanciotti; J Ayesa;

D Bran; E Andenmatten; P Broquen; J Girardin; G Cortés;

J Irisarri; E Besoain; A Sadzawka; G Sepúlveda; S

Massaro; G Millot & P Bouleau. 1988. Características

de los suelos derivados de cenizas volcánicas de la cordillera

y precordillera del norte de la Patagonia. Convenio

INTA – ORSTOM. S. C. de Bariloche, Río Negro.

Di Rienzo, JA; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M

Tablada & CW Robledo. 2013 InfoStat versión 2013.

Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba,

Argentina.http://www.infostat.com.ar.

Etchevehere, P. 1972. Los suelos de la Región Andino-Patagónica.

En: Dimitri, M. (Ed.). La Región de los bosques

Andino-Patagónicos, Sinopsis general. Colección Científica

del INTA, Buenos Aires. p. 83-95.

Fieldes, MP & KW Perrot. 1966. The nature of allophane in

soils. III. Rapid field and laboratory test for allophane. N

Z J Sci 9:623–629.

Fralish, JS. 1994. The Effect of Site Environment on Forest

Productivity in the Illinois Shawnee Hills. Ecological

Applications, 4: 134–143.

Frugoni, MC. 2004. Estimación del contenido de humedad

basada en las texturas descriptas a campo en Andisoles

bajo régimen údico (Norpatagonia, Argentina). Actas XIX

Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre

Ríos. Formato digital.

Gaitán, JJ & CR López. 2007. Análisis del gradiente edáfico

en la región andinopatagónica. Ciencia del Suelo 25(1):

53-63.

Gijsman, AJ; SS Jagtap & JW Jones. 2002. Wading through

a swamp of complete confusion: How to choose a

method for estimating soil water retention parameters for

crop models. Eur. J. Agron. 18:75–105.

Irisarri, J & J Mendía. 1997. Relaciones suelo-paisaje en la

evaluación de la potencialidad forestal de la región central

andino—patagónica, Argentina. Bosque 18:21–30.

Loguercio, G; L La Manna; H Gonda; D Mohr Bell; L Heitzmann

& C Frugoni. 2015. Herramientas para zonificar la

calidad de sitio de pino ponderosa y sitios especiales para

especies forestales de alto valor maderable en Neuquén.

En: Investigación Forestal 2011-2015. Los Proyectos de

Investigación Aplicada. Ministerio de Agricultura, Ganadería

y Pesca. Buenos Aires, Argentina. p. 42-45.

López, CR. 1996. La carta de suelos en apoyo a la evaluación

del potencial forestal de las tierras de la región

andina patagónica norte. En: Moscatelli, G; J Panigatti &

R Di Giacomo. (Eds.). Utilización de la cartografía para

el uso sustentable de las tierras. Instituto Nacional de

Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires. p. 78-91.

McDaniel, PA; DJ Lowe; O Arnalds & CL Ping. 2012. Andisols.

In: Huang PM, Li Y, Sumner ME (eds) Handbook of

soil sciences, vol 1, 2nd edn., Properties and processes

CRC Press (Taylor & Francis), Boca Raton, FL, pp 29–48.

McLeod, SD & SW Running. 1988. Comparing site quality

indices and productivity in ponderosa pine stands of

western Montana. Canadian Journal of Forest Research

18:346-352.

Parfitt, RL; M Saigusa & JD Cowie. 1984. Allophane and

halloysite formation in a volcanic ash bed under different

moisture conditions. Soil Science 138:360-364.

Rawls, WJ; YA Pachepsky; JC Ritchie; TM Sobecki & H

Bloodworth. 2003. Effect of Soil Organic Carbon on Soil

Water Retention. Geoderma 116:61–76.

Richards, L. 1956. Sample retainers for measuring water

retention by soil. Soil Sci Soc Am Proc 20: 301-303.

Saxton, KE & WJ Rawls. 2006. Soil Water Characteristic

Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic

Solutions. Soil Sci. Soc. Am. J. 70:1569–1578.

Saxton, KE; WJ Rawls; JS Romberger & RI Papendick.

1986. Estimating generalized soil water characteristics

from texture. Trans. ASAE 50:1031–1035.

Shoji, S; M Nanzyo & RA Dahlgren. 1993. Volcanic ash soils:

genesis, properties and utilization. Elsevier, Amsterdam.

Thien, S. 1979. A flow diagram for teaching texture-by-feel

analysis, J. Agron. Educ., 8, 54–55.

Uzoh, FCC. 2001. A height increment equation for young

ponderosa pine plantations using precipitation and soil

factors. Forest Ecology and Management 142: 193-203.

Wada, K. 1985. The distinctive properties of Andosols. Adv

Soil S 2:173–229.

Warkentin, BP & T Maeda. 1980. Physical and mechanical

characteristics of Andisols. In: Theng BK (ed) Soil with

variable charge. New Zealand Society of Soil Science, pp

281–301.