

PUMICITAS DE PALO BLANCO, CATAMARCA: DETERMINACIONES PETROGRÁFICAS Y SU CARACTERIZACIÓN COMO SUSTRATO PARA PLANTAS

SANTIAGO SCHALAMUK^{1*}; LILIA BEATRIZ VENCE²; ANDREA PAOLA SEOANE²; OSVALDO RUBÉN VALENZUELA³; JUAN IGNACIO OTERO⁴ & HÉCTOR ALEJANDRO SVARTZ²

Recibido: 07-10-15

Recibido con revisiones: 21-04-16

Aceptado: 25-04-16

RESUMEN

En la actualidad se requiere conocer nuevos materiales inorgánicos de bajo costo y aptos para cultivos en contenedor. Algunos materiales piroclásticos tales como las pumicitas podrían cumplir estas necesidades. El objetivo general de este trabajo es caracterizar un material piroclástico perteneciente a un depósito sedimentario cercano a Palo Blanco, Catamarca, para su uso en sustratos. Los objetivos particulares fueron: 1) Caracterizar petrográficamente las partículas piroclásticas; 2) Determinar los principales parámetros físicos y químicos específicos para sustratos y 3) Relacionar los parámetros petrográficos con la densidad, porosidad y relación agua-aire en el material original y tres fracciones granulométricas de las pumicitas. Se realizaron análisis petrográficos, mineralógicos y químicos de las pumicitas, así como determinaciones de los parámetros específicos para sustratos. La fracción de 2-1 mm registró 79,5% de vitroclastos mientras que las fracciones de 1-0,5 y 0,5-0,25 mm presentaron 47,6% y 27,6%, respectivamente, predominando los cristaloclastos. La fracción más gruesa registró la menor densidad de sustrato seca ($DSs = 618 \text{ kg m}^{-3}$) y los mayores valores de porosidad total ($PT = 0,76 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) y capacidad de aireación ($CA = 0,40 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) (valores de referencia: $DSs: 60-250 \text{ kg m}^{-3}$; $PT: 0,85-0,95 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ y $CA: 0,15-0,30 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$). En el material original y en la fracción 2-1 mm se obtuvo una porosidad ocluida de 7% y 11%, respectivamente. Se realizó una correlación entre el porcentaje de vitroclastos de las submuestras y las variables DSs , PT , CA y CRA (capacidad de retención de agua) obteniéndose los coeficientes de correlación $r = -0,98; 0,98; 0,99$ y $-0,88$, respectivamente. La porosidad interna de los vitroclastos presentó efectos sobre las propiedades físicas de estos materiales. La capacidad de aireación de la fracción 2-1 mm y su baja actividad química pueden ser aprovechadas en formulaciones de sustratos. Estos materiales deberán ser valorados con plantas en futuros experimentos.

Palabras clave. Material piroclástico, Porosidad, Curva de retención de agua, Cultivo sin suelo.

PUMICES FROM PALO BLANCO, CATAMARCA: PETROGRAPHIC DETERMINATIONS AND ITS CHARACTERIZATION AS PLANT SUBSTRATE

ABSTRACT

There is a need of knowing new inexpensive and suitable inorganic materials for container cropping systems. Some pyroclastic materials such as pumices could fulfill these needs. The general objective of this work was to characterize a pyroclastic material from the sedimentary deposit near Palo Blanco, Catamarca, for its use in substrates. The specific objectives were: 1) Characterize petrographically the pyroclastic particles; 2) Determine the main physical and chemical specific parameters for substrates and 3) Relate the petrographic parameters with the bulk density, porosity and water-air ratio in the original material and three pumice size fractions. Petrographic, mineralogical and chemical analysis and specific parameters determinations for substrates were performed. 2-1 mm fraction presented 79.5% of vitroclasts while 1-0.5 and 0.5-0.25 showed 47.6% and 27.6% respectively, predominating crystal clasts. The coarser fraction had the lowest bulk density ($DSs = 618 \text{ kg m}^{-3}$) and the highest values of total porosity ($PT = 0.76 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) and air-filled porosity ($CA = 0.40 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) (reference values: $DSs: 60-250 \text{ kg m}^{-3}$; $PT: 0.85-0.95 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ and $CA: 0.15-0.30 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$). In the original material and the fraction 2-1 mm the occluded porosity was 7% and 11% respectively. A correlation was made between the percentage of vitroclasts of the sub-samples and the variables DSs , PT , CA and CRA (water holding capacity) for obtaining the correlation coefficients $r = -0.98; 0.98; 0.99$ and -0.88 respectively. The internal porosity of vitroclasts has effects on the physical properties of these materials. The air-filled capacity of the 2-1 mm fraction and its low chemical activity could be used in substrate formulations. These materials should be evaluated with plants in future experiments.

Key words. Pyroclastic material, Porosity, Water release curves, Soilless culture.

1 CONICET-CEQUINOR-UNLP, La Plata.

2 Facultad de Agronomía-subsede Devoto.

3 EEA INTA San Pedro.

4 CIC-INREMI-UNLP.

* Autor de contacto: sschala@yahoo.com.ar

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se requieren conocer nuevos materiales inorgánicos de bajo costo y aptos para el cultivo en contenedor que reemplacen a los más frecuentemente empleados. En nuestro país se utilizan como sustratos inorgánicos la arena, la perlita y las arcillas expandidas, entre otros (Valenzuela *et al.*, 2008; Vence, 2008). La arena no presenta una adecuada porosidad total (Valenzuela *et al.*, 2003) mientras que la perlita y las arcillas expandidas tienen alto costo de elaboración con un gran consumo de energía ya que su expansión se realiza a temperaturas entre 700-1100 °C (Burés, 1997; Papadopoulos *et al.*, 2008; Bodnárová *et al.*, 2014;). La estabilidad de la estructura física de estos materiales es un factor importante para varios sistemas de cultivo como por ejemplo techos verdes, jardines verticales y huertas urbanas en terrazas (Vence & Svartz, 2013; Rosatto *et al.*, 2013). Algunos materiales piroclásticos tales como las pumicitas, podrían cumplir estas necesidades y a su vez constituir insumos de bajo costo al no requerir expansión ni manufactura previa (Gunnlaugsson & Adalsteinsson, 1995; Lenzi *et al.*, 2001; Altland *et al.*, 2011 Schalamuk *et al.*, 2014a).

La Argentina dispone de amplios recursos de materiales piroclásticos como consecuencia de las frecuentes y sucesivas erupciones volcánicas andinas, de carácter explosivo, que afectaron al territorio nacional durante el Terciario y Cuaternario. Las características de los materiales ígneos dependen de distintos procesos vinculados con la composición de los magmas y los estilos eruptivos, que siguen leyes de la física e involucran a la dinámica de fluidos y sólidos, la transmisión del calor y otros procesos relacionados con la producción y liberación de energía, propiedades térmicas y reológicas (Llambías, 2008). Consecuentemente, las características petrográficas de estos materiales están relacionadas con su origen, proceso de formación, depositación y/o redepositación, entre otros factores geológicos. Los procesos de vesiculación y fragmentación del magma juegan un rol importante durante la erupción. Entre los productos que se generan en los procesos eruptivos a partir de magmas viscosos cargados de gases se destacan las pumicitas (también denominadas pumitas), que desde el punto de vista geológico se las incluye también como cenizas o lapilios no consolidados de tamaño mediano-fino (arena). Las pumicitas consisten en partículas vítreas de color claro de composición ácida o riolítica-dacítica (*i.e.* rica en sílice). Estas están formadas principalmente por vitroclastos, que son partículas porosas de baja densidad, y también suelen presentar otros tipos de partí-

culas, tales como cristaloclastos (cristales de minerales o sus fragmentos) y litoclastos (trozos de rocas), de escasa o nula porosidad y mayor densidad (Llambías, 2008).

Diversos materiales piroclásticos son utilizados en distintos países como componentes de sustratos. Burés (1997) menciona a las puzolanas como materiales volcánicos utilizados en España como sustrato hortícola, las cuales son también denominadas gredas volcánicas en Cataluña (Martín Closas & Recasens, 2001) y picones en las Islas Canarias (Santos *et al.*, 2007). En México, la roca volcánica conocida como tezontle es ampliamente utilizada como sustrato para la producción de hortalizas y flores en cultivos sin suelo (Vargas Tapia *et al.*, 2008). En Israel el material denominado "tuff" (toba) es utilizado desde hace décadas en producción de rosas y claveles (Wallach *et al.*, 1992; Silber & Raviv, 1996; da Silva *et al.*, 1998; Silber *et al.*, 1999).

En la Argentina, los estudios vinculados a la utilización de materiales volcánicos como sustrato son recientes y escasos. En ese sentido, se han realizado aportes relacionados con la utilización de partículas procedentes de la última erupción del complejo volcánico Puyehue-Cordon Caulle, que afectó a una amplia región de la Patagonia Argentina, en mezcla con otros materiales, con resultados promisorios (Barbaro *et al.*, 2014; Schalamuk *et al.*, 2014b; Seoane *et al.*, 2014).

El material correspondiente a los depósitos sedimentarios localizados en las proximidades de Palo Blanco, provincia de Catamarca, fue originado a partir de las erupciones del Complejo Volcánico Cerro Blanco (CVCB), ubicado en la puna catamarqueña, Andes Centrales del Sur (26°45'S - 67°45'O) (Arnosio *et al.*, 2008; Montero López *et al.*, 2009, 2010). El citado complejo está conformado por una serie de depósitos piroclásticos y domos asociados con estructuras de calderas. Se consigna que Cerro Blanco constituye la caldera más joven para este sector de los Andes (0,5-0,15 millones de años) (Seggiaro *et al.*, 2000). Las pumicitas de Palo Blanco están casi enteramente constituidas por materiales piroclásticos primarios que fueron removilizados o redepositados por acción del viento, por flujos gravitacionales o por corrientes ácuas. Se trata de depósitos secundarios constituidos mayormente por vitroclastos (pumicitas) de coloración blanco-grisácea y tamaño arena o piropsamita (Teruggi *et al.*, 1978). Las partículas pumíceas registran textura vesicular alta a muy alta y presentan abundantes cavidades con escasas conexiones entre sí. Las vesículas registran morfologías elongadas,

subcirculares o irregulares y amplio rango de tamaños (Schalamuk *et al.*, 2014a).

Es importante señalar que existen otros depósitos similares en la zona, por lo que el recurso puede incrementarse ampliamente, si se realizan estudios exploratorios en el denominado Bolsón de Fiambalá, que constituye una extensa depresión tectónica, bien definida, localizada en el sector oeste del departamento de Tinogasta. Para el depósito Palo Blanco y manifestaciones aledañas se estimaron recursos del orden de 2 millones de m³ de pumicitas (Schalamuk & Marchionni, 2013).

A pesar de encontrarse amplia bibliografía internacional respecto a la utilización de materiales volcánicos para cultivos, así como trabajos que relacionan los tamaños de partículas con las propiedades físicas y características hídricas, no se han estudiado las relaciones entre dichas propiedades y las características petrográficas de los materiales.

El objetivo general de este trabajo es caracterizar a las pumicitas de Palo Blanco en relación a su uso como sustratos. Los objetivos particulares son: 1) Caracterizar petrográficamente las partículas piroclásticas; 2) Determinar los

principales parámetros físicos y químicos específicos para sustratos y 3) Relacionar los parámetros petrográficos con la densidad, porosidad y relación agua-aire en el material original y tres fracciones granulométricas de las pumicitas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Extracción y muestreo del material

En la Figura 1 se indica la ubicación del depósito pumíceo Palo Blanco, provincia de Catamarca, Argentina. En la Figura 2 se observa el frente de extracción de las muestras. El muestreo se llevó a cabo en forma sistemática a los efectos de obtener una muestra representativa de uno de los frentes del depósito. Se procedió a la extracción de 10 muestras mediante canaletas verticales, de 20 cm de ancho por 10 cm de profundidad, con una equidistancia de 2 metros entre muestras. El volumen del total de cada canaleta fue cuarteada hasta obtener aproximadamente 20 kg de material por muestra. La sumatoria de cada una de ellas permitió obtener una muestra de 200 kg, que constituye un común representativo del frente muestreado. La Figura 3 muestra el aspecto general de las partículas de pumicitas estudiadas.

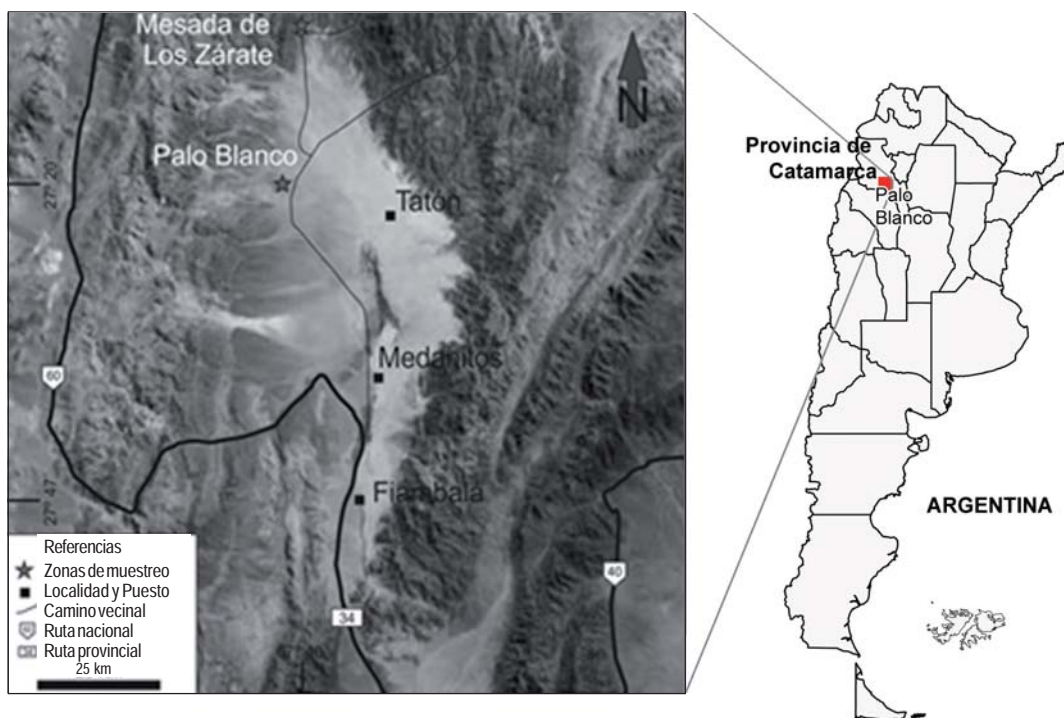


Figura 1. Imagen Satelital del Bolsón de Fiambalá, Catamarca. Argentina. Ubicación del depósito de Palo Blanco.

Figure 1. Satellite image of Fiambala basin, Catamarca. Argentina. Location of Palo Blanco deposit.



Figura 2.
Depósito Palo Blanco: frente de extracción de muestras.
Figure 2.
Palo Blanco deposit: extraction front.



2mm

Figura 3.
Fotografía de las pumicitas estudiadas.
Figure 3.
Photograph of the studied pumices.

Análisis petrográficos, mineralógicos y químicos de las pumicitas

La composición petrográfica y mineralógica de las partículas volcánicas fue examinada en el Instituto de Recursos Minerales (INREMI-Universidad Nacional de La Plata-Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires), mediante microscopía de luz transmitida y reflejada (microscopio petrográfico) y difracción de rayos X (Goniómetro Philips 3020 y controlador PW 3710, con radiación Cu-K α y filtro de Ni). En la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata se fotomicrografiaron algunas partículas mediante microscopía electrónica de barrido (SEM FEI Quanta 200). Las determinaciones petrográficas se realizaron mediante el estudio de láminas delgadas. En ellas se identificaron y cuantificaron las distintas partículas que componen dichos materiales pumíceos (vitroclastos, cristaloclastos y litoclastos). Se efectuaron análisis químicos cuantitativos mediante ICP-AES

(espectroscopia de emisión atómica de plasma acoplado por inducción, ALS Chemex Lab, Canadá), determinándose los elementos mayoritarios y minoritarios expresados en óxidos, sobre tres submuestras representativas y se llevaron a cabo análisis químicos de elementos mayoritarios por EDS (energía dispersiva) mediante un equipo EDAX Detector Apollo 40, sobre sectores vítreos de individuos de pumicita.

Parámetros físicos y químicos para su uso como sustrato

Las determinaciones analíticas químicas se llevaron a cabo en el Laboratorio de Suelos y Sustratos de la EEA-INTA San Pedro. El pH, la conductividad eléctrica y los cationes intercambiables (K, Ca, Mg y Na, expresados en meq 100 g $^{-1}$) se determinaron por el método de extracto de saturación (Warncke, 1990). La materia orgánica se determinó por el método de incineración (Martínez Farré, 1992). Las determinaciones analí-

ticas físicas se realizaron en el Laboratorio de Sustratos de la Cátedra de Jardinería de la Facultad de Agronomía de la UBA. Se realizó un análisis granulométrico con el fin de determinar la cantidad de material retenido (porcentaje en peso) en seis fracciones granulométricas: >4 mm, 4-2 mm; 2-1 mm; 1-0,5 mm; 0,5-0,25 mm; <0,25 mm, según el método de tamizado propuesto por Martínez Farré (1992). Se seleccionaron las siguientes submuestras:

P₁: Material pumíceo original, conteniendo todas las fracciones granulométricas.

P₂: Material pumíceo original sometido a saturación en agua durante 1 semana.

P₃: Fracción granulométrica entre 2-1 mm de diámetro.

P₄: Fracción granulométrica entre 1-0,5 mm de diámetro.

P₅: Fracción granulométrica entre 0,5-0,25 mm de diámetro.

Sobre estas submuestras se determinaron los siguientes parámetros físicos: densidad de sustrato seco (DSs), densidad de partícula (DP), porosidad total (PT), capacidad de retención de agua (CRA), capacidad de aireación (CA), agua fácilmente disponible (AFD), agua de reserva (AR), agua difícilmente disponible (ADD) y curvas de retención de agua según Vence *et al.*, (2013), siguiendo la norma europea CEN-EN-13041 (2007). La submuestra P₂ se sumergió previamente en agua por una semana para verificar si la saturación aplicada en la metodología era adecuada para este tipo de material. Se realizó una prueba t entre las medias de las variables físicas P₁ y P₂.

Para el cálculo de la PT se utilizó la siguiente fórmula:

$$PT = 1 - \frac{DSs}{DP} \quad (1)$$

$$\text{y la } DP = \frac{1}{\frac{MO}{100 \times 1550 \text{ kg m}^{-3}} + \frac{CZ}{100 \times 2650 \text{ kg m}^{-3}}}$$

donde MO se refiere al porcentaje de materia orgánica total y CZ representa el correspondiente a las cenizas, considerando los coeficientes 1550 y 2650 kg m⁻³ que constituyen la DP

de materiales puramente orgánicos y minerales, respectivamente.

Para comprobar la predicción que los materiales pumíceos contendrían poros internos de difícil acceso para el agua, la PT se calculó además por la fórmula (1), pero con la DP determinada por picnometría con el método Rowell (1994), con muestra con partículas enteras y con muestra molida (Vence *et al.*, 2010), obteniéndose la porosidad efectiva (PE) y la porosidad ocluida (PO). Las submuestras fueron también analizadas mediante microscopio petrográfico, en INREMI, con el objeto de identificar y cuantificar la distribución de vitroclastos, cristaloclastos y litoclastos.

Análisis estadístico

Las submuestras de laboratorio de cada fracción fueron sometidas a los métodos de medición de variables con un tamaño muestral de 3 repeticiones independientes. Los resultados fueron sometidos a análisis de la varianza verificándose que se cumplan los supuestos de independencia de datos, distribución normal de las poblaciones y homocedasticidad de sus varianzas. Se realizaron pruebas de correlación (Pearson), prueba t, test de comparaciones múltiples de medias según test de Tukey con el software estadístico InfoStat 1.1 de la Cátedra de Estadística y Biometría y de Diseño de Experimentos de la Universidad Nacional de Córdoba (Infostat, 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis químicos cuantitativos de las pumicitas (Tabla 1) indican que se trata de aluminosilicatos cuya composición mayoritaria es sílice y alúmina. Dichos valores se encuentran dentro de los rangos hallados por Robles (2011) en cenizas del volcán Puyehue y experimentadas con plantas en contenedores por Barbaro *et al.* (2014) con buenos resultados. La Figura 4 muestra el entramado vesicular típico de los vitroclastos y la composición química puntual del vidrio volcánico. Los análisis revelan que el material está principalmente compuesto por partículas vítreas provenientes de magmas de composición ácida. La Figura 5 muestra la distribución de tamaño de partícula de las

Tabla 1. Análisis ICP-AES expresado en porcentaje de óxidos de una muestra común de los materiales pumíceos de Palo Blanco. LOI: Pérdida por ignición. Los valores son medias de tres submuestras.

Table 1. ICP-AES Analyses expressed in percent oxide of a common sample of the Palo Blanco pumiceous materials. LOI: Loss on ignition. Values are means of three subsamples.

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	MnO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	BaO	SrO	SO ₃	LOI
.....%.....													
65	17,8	3,42	0,45	0,93	0,05	4,25	2,3	4,51	0,1	0,08	0,09	0,02	1,2

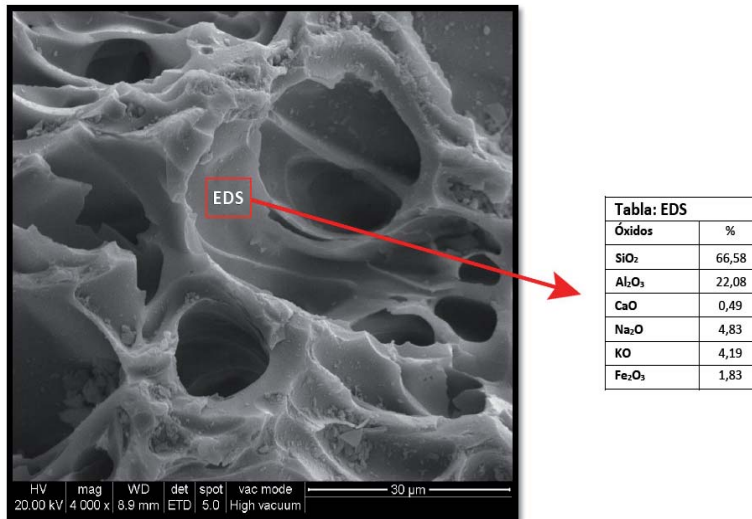


Figura 4. Microfotografía SEM de un individuo de pumicita. Detalle de textura vesicular y análisis químico puntual EDS de un sector de la partícula vítrea.

Figure 4. SEM micrographs of an individual pumicite fragment. Detail of the vesicular texture and EDS point chemical analysis from a section of a vitreous particle.

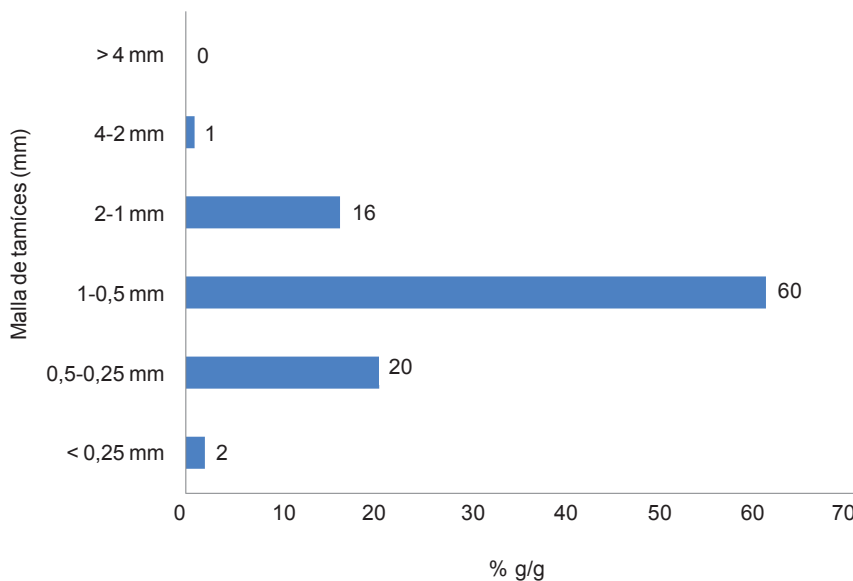


Figura 5. Distribución de tamaño de partícula de las pumicitas de Palo Blanco.

Figure 5. Particle size distribution of Palo Blanco pumices

pumicitas de Palo Blanco. Se observa que gran parte de las partículas se encuentran en el orden de 0,25-2 mm, predominando la fracción 1-0,5 mm, dentro de un rango menor al que presentan distintas fracciones de los materiales volcánicos de Puyehue (Seoane *et al.*, 2014; Barbaro *et al.*, 2014) debido que las partículas de Palo Blanco han sido

retrabajadas, eso es transportadas a lo largo del tiempo a través de agentes como el agua y el viento desde el lugar de origen de la depositación primaria. Estos procesos favorecieron la acumulación de granulometrías medianas a finas y la ausencia de pómez (Armosio *et al.*, 2008; Montero López *et al.*, 2009, 2010).

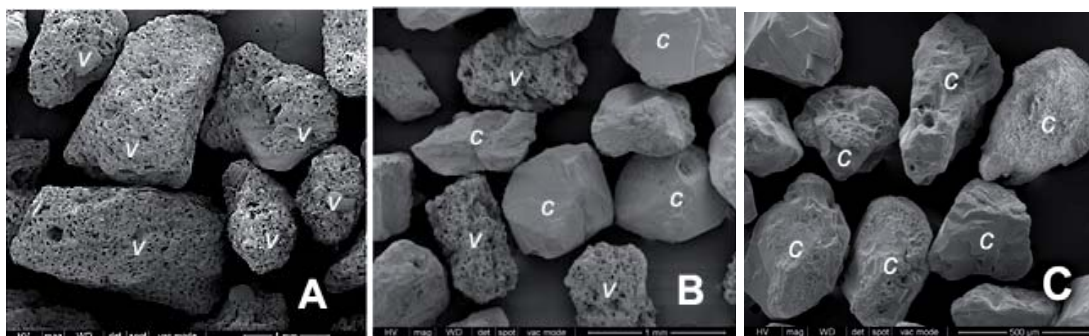


Figura 6. Fotomicrografía SEM correspondiente a: A) P_3 : Fracción >1 mm, donde se observan vitroclastos (v), B) P_4 : fracción de 0,5-1 mm, donde se observan vitroclastos (v) y cristaloclastos © y C) P_5 : fracción de 0,25-0,5 mm, con presencia de cristaloclastos.

Figure 6. SEM micrograph of A) P_3 : Particle size fraction >1 mm, where vitroclasts are observed (v), B) P_4 : Particle size fraction between 0.5-1 mm, where vitroclasts (v) and crystal clasts (c) are observed and C) P_5 : Particle size fraction between 0.25-0.5 mm, with crystal clasts.

Tabla 2. Proporciones de vitroclastos, cristaloclastos y litoclastos en distintas fracciones a través de exámenes bajo microscopio petrográfico. P_1 : material pumíceo original, P_3 : fracción entre 2-1 mm, P_4 : fracción entre 1-0,5 mm, P_5 : fracción entre 0,5-0,25 mm.

Table 2. Proportions of vitroclasts, crystal clasts and lithoclasts in different fractions by petrographic microscopy. P_1 : Original pumiceous material, P_3 : fraction between 2-1 mm, P_4 : fraction between 1-0.5 mm, P_5 : fraction between 0.5-0.25 mm.

Fracción	Vitroclastos (%)	Cristaloclastos (%)	Litoclastos (%)	Población (Nº de partículas)
P_1 (muestra original)	42,33	57,47	0,2	331
P_3 (2-1 mm)	79,48	18,87	1,65	305
P_4 (1-0,5 mm)	47,66	52,34	0	343
P_5 (0,5-0,25 mm)	27,57	72,43	0	292

En las fotomicrografías de las partículas las distintas fracciones (Fig. 6) se observa que la mayor proporción de vitroclastos se concentra en las porciones más gruesas, mientras que a medida que disminuye la granulometría se incrementan los cristaloclastos y litoclastos, los cuales presentan escasa o nula vesiculación. En la Tabla 2 se observan las proporciones de vitroclastos, cristaloclastos y litoclastos, cuantificados en las distintas fracciones granulométricas bajo microscopio petrográfico. Se destaca la alta predominancia de vitroclastos en la submuestra de fracción más gruesa P_3 (2-1 mm), con valores cercanos al 80%, mientras que los

cristaloclastos se incrementan en las fracciones más finas. Los análisis de difracción de rayos X y los estudios microscópicos determinaron que los cristaloclastos están representados por individuos de plagioclasas ácidas (albita-oligoclasa), sanidina, biotita y magnetita, que están presentes en las depositaciones primarias (Arnosio *et al.*, 2008; Montero López *et al.*, 2009, 2010).

En la Tabla 3 se presentan los datos analíticos de los parámetros químicos referidos a su posible uso como sustratos para plantas, interpretándose que se trata de un material con baja actividad química y con un pH levemente

Tabla 3. Valores medios del pH, conductividad eléctrica (CE) y cationes intercambiables determinados por el método de extracto de saturación y % de materia orgánica (MO) por método de incineración.

Table 3. Media of pH, electrical conductivity and exchangeable cations of a saturated paste extract and organic material with incineration method.

pH	CE	K	Ca	Mg	Na	MO
	dS m ⁻¹	meq 100g ⁻¹	meq 100g ⁻¹	meq 100g ⁻¹	meq 100g ⁻¹	%
7,14	0,05	0,43	1,88	0,14	2,34	1,26

elevado para la mayoría de los cultivos en contenedores (Peterson, 1982). Estos resultados son coincidentes con los obtenidos por Gizas *et al.*, (2001) en materiales pumíceos de Grecia, que presentaron muy baja actividad química en distintas granulometrías.

En la Tabla 4 se muestran valores medios de las variables físicas de P_1 y P_2 , donde no se encontraron diferencias significativas en ninguna de las variables, por lo tanto se consideró que la saturación adicional previa de una semana no afectó los resultados y que el proceso de saturación en la metodología aplicada (CEN-EN-13041, 2007) fue adecuada a este material. En la Tabla 5 se muestran valores medios de las variables físicas del material original P_1 y las fracciones P_3 , P_4 y P_5 , los que presentaron diferencias significativas. Las fracciones más gruesas P_4 y P_5 registraron las menores DSs y las mayores PT, siendo estos valores apropiados para ser utilizados en contenedores altos (>30 cm) (Kämpf, 2005). Según Kipp *et al.*, (2000) para la mayoría de los cultivos florícolas con riego por aspersión en contenedores entre 5-50 cm de altura, el rango recomendado según el método EN-13041 para la CA es 0,15-0,30 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ (siendo muy bajos <0,10 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$). Si bien P_1 presentó valores bajos, P_4 y P_5 valores muy bajos, P_3 registró valores ligeramente superiores a los recomendados. El rango recomendado para la PT es 0,85-0,95 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ (Kipp *et al.*, 2000) por lo tanto todos los materiales presentaron valores por debajo de los óptimos para esa variable. En la Tabla 6 se presentan los resultados de los distintos métodos de medición de la porosidad. En P_1 y P_3 se obtuvo una porosidad ocluida de 7% y 11% respectivamente, debido a la presencia de poros ocluidos o inaccesibles al agua pero que

sin embargo influyen en la densidad del material. Para una mejor evaluación agronómica y de manejo del riego es recomendable utilizar los valores de la PE que representa los poros donde realmente se efectúa el intercambio agua-aire para las raíces de las plantas durante los riegos. Por lo tanto, los valores de PT de la Tabla 5 se consideran sobrevaluados a los efectos de la planificación de la irrigación. Teniendo en cuenta estas consideraciones, el cálculo de la CA de P_3 disminuiría de 0,40 a 0,26 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, valor considerado dentro del rango óptimo.

Los resultados obtenidos en la Tabla 2 a través de los estudios mineralógicos muestran que las distintas fracciones presentan variaciones composicionales que se visualizan en la Figura 6. Las diferencias en los valores de las densidades, porosidades y la relación agua-aire de la Tabla 5 entre las submuestras están vinculadas a dichos cambios composicionales, particularmente en cuanto a las proporciones de vitroclastos y cristaloclastos en las fracciones analizadas. Se realizaron correlaciones entre el porcentaje de vitroclastos de las submuestras y las variables DSs, PT, CA y la CRA obteniéndose los siguientes coeficientes de correlación (Pearson) $r = -0,98; 0,98; 0,99$ y $-0,88$, respectivamente. En ese sentido, la porosidad interna de los vitroclastos presenta efectos sobre las propiedades físicas evaluadas en las pumicitas de Palo Blanco, inversos en la DSs y CRA y directos en la PT y CA.

Según Kipp *et al.* (2000) el rango recomendado para la CRA es 0,70-0,80 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ (siendo muy bajos <0,50 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ y muy altos > 0,85 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) mientras que el rango para AFD es 0,30-0,40 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$. Todas las submuestras

Tabla 4. Caracterización física del material piroclástico de Palo Blanco según método EN13041. DSs: densidad de sustrato seca, PT: porosidad total, CRA: capacidad de retención de agua, CA: capacidad de aireación, AFD: agua fácilmente disponible, AR: agua de reserva y ADD: agua difícilmente disponible. P_1 : material original de Palo Blanco, P_2 : material original de Palo Blanco previamente sumergido una semana en agua.

Table 4. Physical characterization of Palo Blanco pyroclastic material using EN13041 method. DSs: bulk density; PT: total porosity; CRA: water holding capacity; CA: air-filled porosity; AFD: easy available water; AR: water buffering capacity and ADD: non-available water. P_1 : Original material from Palo Blanco, P_2 : Original material previously immersed one week in water.

Material	DSs kg m^{-3}	PT	CRA	CA	AFD	AR	ADD
		$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$					
P_1	1066	0,60	0,49	0,11	0,11	0,02	0,13
P_2	1053	0,60	0,48	0,12	0,11	0,02	0,13
prueba t	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ns: no significativa.

ns: not significant.

Tabla 5. Caracterización física del material piroclástico de Palo Blanco según método EN13041. DSs: densidad de sustrato seca, PT: porosidad total, CRA: capacidad de retención de agua, CA: capacidad de aireación, AFD: agua fácilmente disponible, AR: agua de reserva y ADD: agua difícilmente disponible. P₁: material original de Palo Blanco, P₃: fracción entre 2-1 mm, P₄: fracción entre 1-0,5 mm, P₅: fracción entre 0,5-0,25 mm.

Table 5. Physical characterization of Palo Blanco pyroclastic material using EN13041 method. DSs: bulk density; PT: total porosity; CRA: water holding capacity; CA: air-filled porosity; AFD: easy available water; AR: water buffering capacity and ADD: non-available water. P₁: Original material from Palo Blanco, P₃: 2-1 mm size fraction, P₄: 1-0.5 mm size fraction, P₅: 0.5-0.25 mm size fraction.

Material	DSs	PT	CRA	CA	AFD	AR	ADD
	kg m ⁻³	cm ⁻³ cm ⁻³					
P ₁	1066 b	0,60 b	0,49 a	0,11 b	0,11 a	0,02 b	0,13 b
P ₃	618 c	0,76 a	0,36 b	0,40 a	0,11 b	0,02 b	0,23 a
P ₄	1105 b	0,58 b	0,48 a	0,10 b	0,11 a	0,02 b	0,11 b
P ₅	1415 a	0,46 c	0,47 a	0,00 c	0,11 a	0,02 a	0,13 c
	***	***	**	***	***	*	***

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0,05$) con test de Tukey; ***,**, *, $p < 0,0001$; $p < 0,01$ y $p < 0,1$ respectivamente;

Means with the same letter are not significantly different ($p < 0.05$ - Tukey test), ***,**, *, $p < 0.0001$; $p < 0.01$ and $p < 0.1$ respectively;

Tabla 6. Valores medios de la densidad de partícula: Dp (m) con muestra molida y Dp (e) con muestra entera, según método Rowell (1994); PT(m): porosidad total por fórmula con Dp(m); PE: porosidad efectiva por fórmula con Dp(e); PO: porosidad ocluida en P₁: muestra de PALO BLANCO, P₃: fracción entre 2-1 mm, P₄: fracción entre 1-0,5 mm

Table 6. Means values of particle density: Dp(m) ground sample and Dp(e) original sample, following Rowell (1994); PT(m): total porosity by formula using Dp(m); PE: effective porosity by formula using Dp(e); PO: occluded porosity in P₁: original sample from PALO BLANCO, P₃: 2-1 mm size fraction, P₄: 1-0.5 mm size fraction.

Material	Dp(m)	Dp(e)	PT(m)	PE	PO	
	kg m ⁻³		cm ⁻³ cm ⁻³			
P ₁	2.440	2.125	0,56	a A 0,49	b B 0,07	***
P ₃	2.190	1.645	0,74	b A 0,62	a B 0,11	***
P ₄	2.390	2.190	0,54	a A 0,55	c A	ns
P ₅	2.560	2.520	0,56	a A 0,56	a A	ns
			***	**		

Medias con una letra minúscula común no son significativamente diferentes ($p < 0,05$) con test de Tukey; ***,** $p < 0,0001$; $p < 0,001$, respectivamente. Las letras mayúsculas por fila corresponden a comparación entre medias por t de student, ns : no significativo.

Means with the same lowercase letter are not significantly different ($p < 0.05$ -Tukey test) ***,** $p < 0.0001$; $p < 0.001$ respectively. Capital letters within each row compares means with Student's T test. ns: not significant

presentaron valores muy bajos de CRA y de AFD lo que se ve reflejado en las curvas de retención de agua (Fig. 7) con una brusca caída en el contenido hídrico volumétrico en la zona cercana a 10 hPa de tensión. Sin embargo P₁, P₄ y P₅ presentan una meseta a bajas tensiones que indica la presencia de material fino (Vence *et al.*, 2013). Se visualiza que el achatamiento (asintótico con eje x) de las curvas ocurre aún a bajas tensiones lo que indica baja retención de agua y que el valor del ADD tiende a ser mayor en las fracciones más gruesas. Gizas & Savvas (2007) obtuvieron resultados similares en las curvas para materia-

les pumíceos de la región de Grecia y experimentaron buenos resultados en el cultivo de rosa, pepino y gypsophila con distintas granulometrías y dos tipos de contenedores.

Desde el punto de vista tecnológico, en cuanto a la posibilidad de uso como sustrato para plantas de estas pumicitas, las diferencias entre las distintas fracciones granulométricas deben ser tenidas en cuenta. El material original P₁ y la fracción P₄ podrían ser componentes minoritarios en mezclas con otros materiales que mejoren su CRA (como las turbas) y ser evaluados en futuros ensayos (Abad *et al.*, 1993; Valenzuela, 2009). Los valores de los parámetros

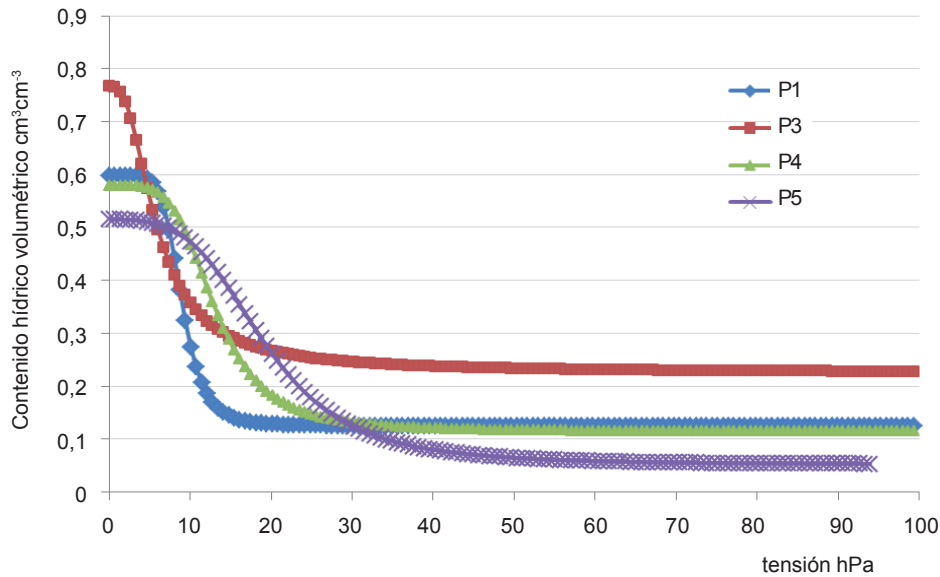


Figura 7. Curvas de retención de agua en el rango 0-100 hPa según el método europeo EN13041.

Figure 7. Water retention curves in the range 0-100 hPa following EN13041 method.

físicos de la fracción más fina P_5 se alejan mucho de los valores de referencia y no se recomienda su utilización como componente de sustratos. La capacidad de aireación de las partículas de la fracción más gruesa P_3 , que además presenta una baja actividad química, puede ser aprovechada como componente mayoritario en la formulación de sustratos o usado puro en hidroponía. Los resultados del trabajo permiten comprender la importancia de conocer las características petrográficas de los materiales volcánicos de Palo Blanco y su relación con las propiedades físicas y químicas requeridas para su uso como sustrato para plantas. Estos materiales puros o en mezclas deberán ser valorados con plantas en futuros experimentos.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se realizó en el marco del Proyecto PICT 2186 y el PDTS 373. Agradecemos la colaboración del Tec. Juan Esteban Gandolfo por los análisis según método Rowell para determinar la densidad de partícula y a investigadores del Instituto de Recursos Minerales (INREMI-UNLP-CIC) por la colaboración y análisis crítico del manuscrito.

BIBLIOGRAFÍA

Abad, M; MD Martínez-Herrero; PF Martínez-García & J Martínez-Corts. 1993. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Acta de Horticultura* 11: 141-154.

Altland, JE; JS Owen & MZ Gabriel. 2011. Influence of Pumice and Plant Roots on Substrate Physical Properties Over Time. *HortTechnology* 21: 554-557.

Arnosio, M; R Becchio; JG Viramonte; S de Silva & JM Viramonte. 2008. Geocronología e isotopía del Complejo Volcánico Cerro Blanco: un sistema de calderas cuaternario (73-12 ka) en los Andes Centrales del sur. 17° Congreso Geológico Argentino, Jujuy, Actas, 1, 177-178.

Barbaro LA; A Mazzoni; MA Karlanian; MN Fernandez & DE Morisigue. 2014. Cenizas del volcán Puyehue como sustrato para plantas. *Horticultura Argentina* 33: 44-53.

Bodnárová, L; R Hela; M Hubertová & I Nováková. 2014. Behaviour of Lightweight Expanded Clay Aggregate Concrete Exposed to High Temperatures. *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol.* 8: 1197-1200.

Burés, S. 1997. Sustratos. 1a ed. Ed. Agrotecnias. Madrid. 342 pp.

CEN-EN-13041. 2007. Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo. Determinación de las propiedades físicas: densidad aparente seca, volumen de aire, volumen de agua, valor de contracción y porosidad total. (Comité Europeo de Normalización) EN N° 13041. 9 pp.

da Silva FF; R Wallach; A Polak & Y Chen. 1998. Measuring water content of soil substitutes with time domain reflectometry (TDR). *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 123: 734-737.

Gizas, G; D Savvas & I Mitsios. 2001. Availability of macrocations in perlite and pumice as influenced by the application of nutrient solutions having different cation concentration ratios. *Acta Hort. (ISHS)* 548: 277-284

Gizas, G & D Savvas. 2007. Particle size and hydraulic properties of pumice affect growth and yield of greenhouse crops in soilless culture. *HortScience* 42: 1274-1280.

- Gunnlaugsson, B & S Adalsteinsson. 1995. Pumice as environment-friendly substrate-A comparison with rockwool. *Acta Hort.* 401: 131-136.
- INFOSTAT. 2004. Software Estadístico. Estadística y Biometría y Diseño de Experimentos. Fac.Ciencias Agropecuarias. U.N.Córdoba. (Argentina). ISBN: 987-9449-65-7.
- Kämpf, AN. 2005. Produção comercial de plantas ornamentais. Agrolivros. Guaíba, RS, Brasil. 254 pp.
- Kipp, JA; G Wever & C de Kreijl. 2000. International substrate manual. Elsevier International, The Netherlands, 94 pp.
- Lenzi, A; N Oggiano; M Maletta; A Bolaffi & R Tesi. 2001. Physical and chemical characteristics of substrates made of perlite, pumice and peat. *Italus Hortus* 8: 23-31.
- Llambías, E. 2008. Geología de cuerpos ígneos. Asociación Geológica Argentina, serie B, Didáctica y Complementaria N° 29 e Instituto Superior de Correlación Geológica, Serie Correlación Geológica N° 15. Buenos Aires. 223 pp.
- Martín Closas, LL & X Recasens. 2001. Effect of substrate type (perlite and tuff) in the water and nutrient balance of a soilless culture rose production system. *Acta Horticulturae* 559: 569-574.
- Martínez Farré, FX. 1992. Propuesta de metodología para la determinación de las propiedades físicas de los sustratos. 1° Jornadas de Sustratos de la Sociedad Española de Ciencias Hortícolas, Villaviciosa, Actas, 1: 55-66.
- Montero López, MC; FD Hongn; R Seggiaro; R Marrett & N Ratto. 2009. Relación entre el volcanismo y los registros arqueológicos en el bolsón de Fiambalá. *En: Entrelazando ciencias, sociedad y ambiente antes de la conquista española* (Ed. N. Ratto). Editorial Eudeba, Buenos Aires. 131-156.
- Montero López, MC; F Hongn; JA Brod; R Seggiaro; R Marrett & M Sudo. 2010. Magmatismo ácido del Mioceno Superior-Cuaternario en el área de Cerro Blanco-La Hoyada, Puna Sur. *Rev. Asc. Geol. Arg.* 67: 329-348.
- Papadopoulos, AP; A Bar-Tal; A Silber; UK Saha & M Raviv. 2008. Inorganic and synthetic organic components of soilless culture and potting mixes. *In: Raviv, M & J Leith (eds). Soilless culture: theory and practice.* Pp. 505-543. Elsevier.
- Peterson, JC. 1982. Effects of pH upon nutrient availability in a commercial soilless root medium utilized for floral crop production. *Ohio State University and Ohio Reseach and Develoment Center. Cir* 268: 16-19.
- Rosatto H; G Villalba; C Rocca; M Meyer; M Bargiela; P Hashimoto; D Laureda; L Pruzzo; D Kohan; L Cazorla; L Rodríguez Plaza; E Quaintenne; D Barrera ; N Mazzeo; P Gamboa & C Caso. 2013. Eficiencia en la retención del agua de lluvia de cubiertas vegetadas de tipo «extensivo» e «intensivo». *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias - ISSN: 0370-4661. Rev. FCA UNCuyo* 45(1): 213-219.
- Robles, C. 2011. Consecuencias de la erupción volcánica sobre la salud del ganado en la región patagónica. *Revista Presencia.* Ed. INTA. EEA Bariloche. *Publicaciones regionales.* 57: 20-25.
- Rowell, DL. 1994. *Soil Science: Methods and Applications.* New York, Longman. 350 pp.
- Santos, B; D Ríos D; P Noguera & M Abad. 2007. Relación entre el tamaño de partícula y las propiedades físicas de los picones de isla de Tenerife. *En: VIII Jornadas de Sustratos de la SECH, Tenerife. Actas de Horticultura* 47: 27-32.
- Schalamuk, S; O Valenzuela & JI Otero. 2014a. Pumicitas de Palo Blanco, Catamarca: posibilidades de uso como componente de sustrato en cultivos sin suelo. Resúmenes de la XIV Reunión Argentina de Sedimentología. Puerto Madryn. Pp 45.
- Schalamuk, IB & DS Marchionni. 2013. Depósitos piroclásticos retrabajados de Palo Blanco, departamento Tinogasta, Provincia de Catamarca. Informe inédito. Instituto de Recursos Minerales (INREMI). UNLP. 25 pp.
- Schalamuk, S; V Sy; J Gonzalez; O Valenzuela & M Cuellas. 2014b. Utilización de material piroclástico para la elaboración de sustratos alternativos en la producción de plantines florales. *Actas XXXVII Congreso Argentino de Horticultura.* 22 al 26 Sep. 2014. FCA, UNCuyo. Mendoza.
- Seggiaro R; F Hongn; A Folguera & J Clavero. 2000. Hoja Geológica 2769-II. Paso de San Francisco. Programa Nacional de Cartas Geológicas 1:250.000. SEGEMAR Buenos Aires. Boletín 294: 52 p.
- Seoane, AP; LB Vence; LA Barbaro & HA Svartz .2014. Evaluación de materiales volcánicos del Puyehue-Cordón Caulle como componente de sustratos a base de turba *Sphagnum*. *Actas XXXVII Congreso Argentino de Horticultura.* 22 al 26 Sep. 2014. FCA, UNCuyo. Mendoza.
- Silber A & M Raviv. 1996. Effects on chemical surface properties of tuff by growing rose plants. *Plant Soil* 186: 353-360.
- Silber A, B Bar-Yosef, B & Y Chen. 1999. pH dependent kinetics of tuff dissolution. *Geoderma* 93: 125-140.
- Teruggi, ME; MM Mazzoni; LA Spalletti & RR Andreis. 1978. Rocas piroclásticas. Interpretación y Sistemática. Asociación Geológica Argentina. Publicación especial, Serie «B» 5:1-45.
- Valenzuela, O; F Nicolau; M Rode; H Schund & C Gallardo. 2003. Respuesta de *Tagetes patula* a sustratos formulados con compost y perlita. *Revista Científica Agropecuaria* 7(1): 57-61.
- Valenzuela, O; C Gallardo & A Kämpf. 2008. Regional components used as growing media in Argentina. *Acta Hort.* 779: 643-648.
- Valenzuela, OR. 2009. Caracterización y evaluación agronómica de materiales regionales usados en la formulación de sustratos para plantas. Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Rosario. 153 pp.
- Vargas Tapia, P; CRJ Zaragoza; RJ de J Muñoz; GP Sánchez; CL Tijerina; RM López; SC Martínez & AJL Ojodeagua. 2008. Efecto del tamaño de partícula sobre algunas propiedades físicas del tezontle de Guanaajuato, México. *Agricultura Técnica en México.* 34(3): 323-331.
- Vence, LB & HA Svartz. 2013. Módulos para cubiertas vegetadas extensivas. *Rev. Investigación Agropecuaria (Morelos).* México. ISSN:2007-1353; 10 (1):20-43.
- Vence, LB; O Valenzuela; H Svartz & ME Conti. 2013. Elección del sustrato y manejo del riego utilizando como herramienta las curvas de retención hídricas. *Ciencia del Suelo (Arg.)* 31:153-164.
- Vence, LB. 2008. Disponibilidad de agua-aire en sustratos para plantas. *Ciencia del Suelo (Arg.)* 26: 105-114.
- Vence, LB; O Valenzuela; H Svartz & E Gandolfo. 2010. Densidad de partícula en sustratos para plantas: métodos y su incidencia en el cálculo de la porosidad total. *Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo,* ISBN: 978-987-24771-1-0, resumen expandido en versión electrónica ISBN 978-987-24771-3-4.
- Wallach R; FF da Silva & Y Chen. 1992. Hydraulic characteristics of tuff (scoria) used as a container medium. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 117: 415-421.
- Warncke DD. 1990. Testing artificial growth media and interpreting the results. *In: RL Westerman (ed.). Soil testing and plant analysis.* Pp 337-357. SSSA Book Series, 3, Madison, USA.

