

FLORICULTURA

Cenizas del volcán Puyehue como sustrato para plantas

L.A. Barbaro¹; A. Mazzoni²; M.A. Karlanian¹; M.N. Fernandez¹ y D.E. Morisigue¹

¹Instituto de Floricultura, CIRN-INTA. ²INTA EEA Bariloche. De los Reseros y Las Cabañas s/n (1686) Hurlingham, Buenos Aires, Argentina. barbaro.lorena@inta.gob.ar

Recibido: 10/9/13

Aceptado: 26/6/14

Resumen

Barbaro, L.A.; Mazzoni, A.; Karlanian, M.A.; Fernandez, M.N. y Morisigue, D.E. 2014. Cenizas del volcán Puyehue como sustrato para plantas. *Horticultura Argentina* 33(81): 44-53.

En junio de 2011, la erupción del complejo volcánico Puyehue expulsó a la atmósfera grandes cantidades de cenizas que actualmente están siendo evaluadas para su uso. El objetivo de este trabajo fue corroborar la viabilidad del uso de estas cenizas como componente de sustrato. Para ello, se analizó física y químicamente muestras recolectadas en la zona afectada y sustratos formulados con turba *Sphagnum* y ceniza en proporciones de 20 y 50 %. Los sustratos formulados también fueron evaluados mediante el desarrollo de plantas de coral (*Salvia splendens*). En las muestras de cenizas el pH osciló entre 5,7 y 7,2; los valores de conductividad eléctrica y concentración de calcio, magnesio, po-

tasio y sodio fueron bajos. Físicamente, la densidad aparente fue inversa al tamaño de partículas, además, a mayor tamaño de partículas fue mayor la porosidad de aireación y a menor tamaño fue mayor la capacidad de retención de agua. Los sustratos formulados tuvieron adecuadas propiedades químicas y físicas. En consecuencia, todas las plantas de coral fueron de calidad, pero las plantas de los sustratos con 20 % de ceniza fina y 50 % de ceniza mezcla tuvieron la mayor masa fresca y seca. En conclusión, la ceniza volcánica es un material viable para su uso como sustrato, pero se debe equilibrar la relación de aire y agua según su tamaño de partículas.

Palabras clave adicionales: Cultivo sin suelo, propiedades físicas y químicas de sustratos, *Salvia splendens*, Fizz Strawberry.

Abstract

Barbaro, L.A.; Mazzoni, A.; Karlanian, M.A.; Fernandez, M.N. and Morisigue, D.E. 2014. Ash of Puyehue volcano as substrate for plants. *Horticultura Argentina* 33(81): 44-53.

In June 2011, the eruption of the volcanic complex Puyehue expelled large quantities of ash into the atmosphere that are currently being evaluated for use. The aim of this work was to evaluate the feasibility of using these ashes as substrate component. Physical and chemical analyses were carried out on samples collected from the affected area sand substrates made with *Sphagnum* peat and ash proportions of 20 and 50 %. Formulated substrates were also evaluated by developing of coral plant (*Salvia splendens*). The ash samples ranged from pH 5.7 to 7.2; the values of electrical conductivity and concentration of calcium, magnesium, potassium

and sodium were low. Physics results showed that bulk density was inverse to the size of particles. Also, to larger particle size was greater the aeration porosity and to smaller sizes was greater the water holding capacity. The substrates formulated were suitable chemical and physical properties. Consequently, the totality of coral plants were quality, but plants of the substrates with 20 % fine ash and 50 % ash mixture, obtained the highest fresh and dry mass. In conclusion, the volcanic ash is a viable material for use as a substrate, but air and water ratio must be balanced according to its particle size.

Additional keywords: Soilless culture, physical and chemical properties of growing media, *Salvia splendens*, Fizz Strawberry.

1. Introducción

En junio de 2011, la erupción del complejo volcánico Puyehue-Cordón Caulle expulsó a la atmósfera grandes cantidades de materiales piroclásticos que cubrieron amplias extensiones de Argentina. Río Negro y Neuquén fueron las provincias más afectadas por la acumulación de estos materiales, cubriendo en total 5.658 ha de la superficie del suelo, el 45 % de esta superficie con un espesor de 0,2 a 1,5 cm y el 55 % con un espesor mayor a 1,5 cm (Gaitán *et al.*, 2011).

La granulometría de los materiales piroclásticos es

función directa de la energía liberada durante la erupción, y es el producto de la fragmentación y trituración del magma y de la roca encajonante durante erupciones de carácter explosivo (Colombo & Martí, 1992; Mazzoni, 1986). Estos materiales reciben diferentes nombres según su tamaño, cuando son mayores a 32 mm se denominan bloque o bomba según sea la forma irregular o aerodinámica, cuando miden entre 32 y 2 mm se llaman lapillo, los que miden entre 2 y 0,063 mm se utiliza el término triza y los menores a 0,063 mm se utiliza el vocablo pulvícula (Villarosa, 2011).

Los depósitos de los materiales piroclásticos pue-

den tener distintos grados de consolidación, se le asigna el termino tefra al depósito no consolidado y piroclastita a la roca piroclástica consolidada (Villarosa, 2011). En las zonas próximas al volcán Puyehue-Cordón Caulle (ej. Villa La Angostura, San Martín de los Andes, San Carlos de Bariloche, Collón Cura, Pilcaniyeu, Comallo e Ing. Jacobacci) se formaron tefras llamadas lapilli o ceniza (ceniza gruesa) según estén formadas por lapillos o trizas respectivamente, y en zonas más alejadas se formaron tefras llamadas ceniza o polvo volcánico (ceniza fina) formadas por triza o pulvículas respectivamente (Villarosa, 2011). Es decir, que los materiales piroclásticos de mayor tamaño se depositaron más cerca del lugar de emisión, mientras que los más finos alcanzaron a viajar una distancia mayor, dependiendo de la altura de la columna eruptiva y de la dirección de los vientos predominantes.

Estas cenizas volcánicas han sido estudiadas por diferentes instituciones y según Robles (2011) en los análisis realizados por el Centro Atómico Bariloche, INVAP e Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INTA) revelaron que estarían compuestas por 65 a 73 % de SiO₂, 14 a 18 % Al₂O₃, 0 a 1 % TiO₂, 1 a 8 % Fe₂O₃, 0 a 4 % MgO, 1 a 4 % CaO, 3 a 8 % Na₂O y 1-4 % K₂O mostrando composiciones similares a los productos de los eventos volcánicos anteriores del mismo complejo. También en el Centro Atómico Bariloche se determinó que las muestras tomadas en diferentes puntos de la región afectada resultaron ser muy uniformes, con presencia de abundante vidrio volcánico, escaso aluminosilicatos y otros minerales como óxidos de Fe-Ti y cuarzo (Cremona *et al.*, 2011).

Considerando el enorme volumen de ceniza disponible y sobre la base de los resultados encontrados hasta el momento se están evaluando alternativas para su uso. Entre estas alternativas, actualmente en el marco del Programa de Emergencia Volcánica (Proevo) un equipo de investigadores desarrollaron un ladrillo

especial que permite construir estructuras resistentes, otro grupo realiza ensayos para sustituir el cemento por ceniza volcánica fina en la mezcla de construcción (datos no publicados) y otro analiza la posibilidad de que las cenizas volcánicas puedan actuar como un insecticida natural sobre diversas especies de insectos presentes en el norte de la Patagonia Argentina (Buteler *et al.*, 2011).

Otra alternativa de uso que se evalúa es la utilización como sustrato para la producción de plantas. En este sentido, las cenizas volcánicas han sido evaluadas en diferentes regiones del mundo con resultados positivos. Gunnlaugsson y Adalsteinsson (1995) luego de evaluar la ceniza volcánica de Islandia como componente de sustrato concluyeron que es una alternativa ecológica y de bajo costo con respecto a otros materiales inertes como la lana roca y la perlita. Asimismo, Martín-Closas y Recasens (2001) en España, evaluaron el uso de la ceniza volcánica vs. perlita en el cultivo de Rosa híbrida obteniendo resultados similares en cuanto al suministro de agua y evapotranspiración. En ensayos con plantas de *Solanum melongena* L. cultivadas en una mezcla de ceniza volcánica, turba y compost de champiñones (1:1:1) durante dos años se logró obtener un rendimiento (12,8 kg·m⁻²) superior al de las plantas cultivadas sobre el suelo (6,6 kg·m⁻²) (Çelikel, 1999). Raviv y colaboradores (1999) en Israel, cultivaron plantas de *Rosa indica* L. en cenizas volcánicas de Israel, de Italia y de Grecia, obteniendo un mayor rendimiento con la ceniza volcánica de Israel, seguida por la de Italia. Lo que demostró que las cenizas volcánicas presentan diferentes propiedades, las cuales condicionan el óptimo desarrollo del cultivo que se va a producir.

En la producción de plantas ornamentales, entre los materiales más usados como sustrato se encuentran el suelo, las turbas, diferentes compost, lana de roca, perlita, arenas, entre otros (Burés, 1997; Raviv & Lieth,

Tabla 1. Valores de referencia del laboratorio de sustratos y aguas del Instituto de Floricultura del INTA (Lab SyA (IF)) para sustratos para plantas.

	Muy bajo	Bajo	Aceptable	Alta	Muy alta
Nitrato (mg·L ⁻¹)	< 300	300 - 900	900 - 1300	1300 - 1500	> 1500
Calcio (mg·L ⁻¹)	< 250	250 - 750	750 - 1200	1200 - 1500	> 1500
Magnesio (mg·L ⁻¹)	< 100	100 - 250	250 - 400	400 - 800	> 800
Potasio (mg·L ⁻¹)	< 500	500 - 750	750 - 1300	1300 - 1500	> 1500
Sodio (mg·L ⁻¹)	< 100	100 - 500	500 - 800	800 - 1000	> 1000
CE (dS·m ⁻¹)	< 0,2	0,2 - 0,5	0,5 - 1	1 - 2,5	> 2,5
	Moderadamente ácido	Levemente ácido	Aceptable	Levemente alcalino	Moderadamente alcalino
pH	< 5,2	5,2 - 5,5	5,5 - 6,5	6,5 - 7,0	> 7,0

CE: Conductividad eléctrica.

2008). Si bien todos hoy están disponibles, algunos de ellos están siendo cuestionados por ser recursos no renovables a corto plazo o tener altos costos, por lo que continuamente se buscan materiales nuevos. Por lo tanto, la ceniza volcánica disponible podría ser un material a evaluar para su uso como sustrato. Esta sería una aplicación que permitirá ayudar a disminuir las tefras de la zona afectada y poder obtener un beneficio económico, ya sea por la comercialización de la ceniza como sustrato, o por el uso por parte de los productores como material sustituto.

Para lograr desarrollar un nuevo material o un sustrato adecuado se deben conocer sus propiedades, en el primer caso, para identificar que aportaría como componente al sustrato y en el segundo, para evaluar si son las apropiadas de acuerdo a las condiciones de cultivo y especie a producir. En general, deben tener una buena distribución del tamaño de partículas para mantener una elevada capacidad de retención de agua fácilmente disponible y suministro de aire, baja densidad aparente, elevada porosidad, estructura estable, baja salinidad, pH ligeramente ácido y mínima velocidad de descomposición (Abad *et al.*, 2004).

Para evaluar estas características se debe realizar un previo análisis físico y químico al material o sustrato formulado para luego corregir los valores que se desvían de los rangos estándares. La información aportada por los análisis nos permite decidir si el material puede ser utilizado solo o con otros que lo complementen para finalmente obtener un sustrato adecuado. En el caso de un sustrato ya formulado, si cumple con las características apropiadas se recomienda pasar a ensayos de evolución biológica, por ejemplo, de crecimiento vegetal. Una vez cumplido este procedimiento y si los resultados fueron favorables, se puede considerar que el sustrato está en condiciones de ser utilizado (Abad *et al.*, 1993).

Con base en lo mencionado, el objetivo de este trabajo fue analizar diferentes muestras de cenizas volcánicas del Volcán Puyehue y corroborar la viabilidad de su uso como componente de sustrato en la producción en maceta de plantas de coral (*Salvia splendens*).

2. Materiales y métodos

2.1 Muestreo de cenizas volcánicas

La muestra tomada en cada sitio se compone de varias submuestras tomadas al azar, siendo el volumen final de 50 litros.

Las muestras de Río Negro fueron tomadas en la costa del lago Nahuel Huapi (41° 07' 07" S; 71° 23' 12" O) (Muestra 1), en ciudad de San Carlos de Bari-

loche (41° 07' 44" S; 71° 21' 32" O) (Muestra 2) y en Puerto Pañuelos (41° 03' 16" S; 71° 31' 49" O) (Muestra 3, 4 y 5).

Las muestras de Neuquén fueron tomadas en la ciudad de Villa la Angostura (40° 46' 50" S; 71° 39' 36" O) (Muestra 6 y 7), en Bahía Huemul (40° 58' 04" S; 71° 20' 56" O) (Muestra 8 y 9) y zona de Estancia Collón Cura (40° 08' 46" S; 70° 42' 11" O) (Muestra 10).

2.2 Análisis físicos y químicos

Se analizaron las muestras de cenizas recolectadas en Río Negro y Neuquén, los sustratos formulados, el sustrato comercial, la turba *Sphagnum* y la mezcla de cenizas de la siguiente manera: Se pasó todo el material a través de un tamiz con una malla de 20 mm x 20 mm. Luego se mezcló y se trazaron dos líneas oblicuas a cada lote tomando 2 litros de dos cuartos opuestos, conformando una submuestra de 8 litros.

En cada submuestra se ajustó el porcentaje de humedad (% peso) a un 50 % (± 2) y se analizaron los siguientes parámetros por triplicado en el laboratorio de sustratos y aguas del Instituto de Floricultura (Lab SyA (IF)): Densidad aparente, con el método Hofmann (Fermino, 2003); espacio poroso total, capacidad de retención de agua y poros con aire, con el método de De Boodt mediante los lechos de arena (De Boodt *et al.*, 1974); granulometría, con una tamizadora con tamices de 5,56; 4,75; 3,35; 2,0; 1,4; 1 y 0,5

Tabla 2. Propiedades físicas y químicas de la turba *Sphagnum* y mezcla de cenizas utilizadas en los ensayos con plantas.

Propiedades	Turba <i>Sphagnum</i>	Mezcla de cenizas
pH	3,43	5,18
CE (dS·m ⁻¹)	0,49	0,01
Calcio (mg·L ⁻¹)	114	5
Magnesio (mg·L ⁻¹)	103	3
Potasio (mg·L ⁻¹)	240	9
Sodio (mg·L ⁻¹)	322	90
Dap. (kg·m ⁻³)	74	474
PA (%)	33	44
CRA (%)	62	39
EPT (%)	95	83
Partículas > 3,35 mm (%)	17	0
Partículas 3,35-1 mm (%)	46	38
Partículas < 1 mm (%)	37	62

CE: Conductividad eléctrica; Dap.: densidad aparente; PA: poros con aire; CRA: capacidad de retención de agua; EPT: espacio poroso total.

mm (Ansorena Miner, 1994); pH y conductividad eléctrica (CE) en una relación 1 + 5 vol/vol de sustrato/agua (Barbaro *et al.*, 2011a). La concentración de calcio, magnesio, potasio y sodio en $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ o $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ de sustrato, fueron analizados en el filtrado de la solución 1 + 5 vol/vol con un espectrofotómetro de absorción atómica (Varian modelo 220 A). En la Tabla 1 se presentan los valores de referencia del Lab SyA (IF) de los cationes analizados, pH y CE.

2.3 Sustratos formulados y sustrato comercial (Testigo)

Para formular los sustratos se utilizó una turba *Sphagnum* nacional, las cenizas de la muestra 3 y 4, y una mezcla de ambas en una relación 1:1 (v/v). Se eligieron estas muestras de cenizas volcánicas porque son de una misma zona, con diferentes tamaños de partículas y con amplia disponibilidad para su uso.

Las formulaciones se realizaron en volumen, incorporando 20 % o 50 % de los tres tipos de ceniza en la mezcla, en el primer caso se consideró a la ceniza como un complemento y en el segundo, como un material básico (Normann Kämpf *et al.*, 2006).

Las propiedades de la turba y la mezcla de cenizas se encuentran en la Tabla 2. El testigo fue un sustrato comercial con turba *Sphagnum* nacional como material básico y perlita, corteza de pino compostada y pinocha como complemento.

Los sustratos formulados para producir plantas de coral fueron los siguientes:

- 1) 20 % de ceniza fina (Muestra 3) + 80 % de turba *Sphagnum*.
- 2) 50 % de ceniza fina (Muestra 3) + 50 % de turba *Sphagnum*.
- 3) 20 % de ceniza gruesa (Muestra 4) + 80 % de turba *Sphagnum*.

4) 50 % de ceniza gruesa (Muestra 4) + 50 % de turba *Sphagnum*.

5) 20 % de ceniza mezcla + 80 % de turba *Sphagnum*.

6) 50 % de ceniza mezcla + 50 % de turba *Sphagnum*.

7) Sustrato profesional 1190.

Se elaboraron 50 litros de cada sustrato formulado y se guardó en una bolsa de polietileno negra. Los sustratos formulados tenían valores de pH entre 3,5 y 4. Consecuentemente, se debió corregir con la incorporación de 2 g de dolomita por litro, mezclando una vez por semana durante un mes, momento en que se estabilizó y llegó a los valores adecuados (5,5 a 6,3).

2.4 Ensayo con plantas

El ensayo se realizó en las instalaciones del Instituto de Floricultura del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) de Hurlingham, provincia de Buenos Aires, República Argentina (34° 36' S; 58° 40' O).

El ensayo consistió en siete tratamientos y diez repeticiones por tratamiento, los cuales comprendieron seis sustratos formulados y un testigo (sustrato comercial). La unidad experimental fue una maceta (termoformada bicolor de 10 cm de diámetro, 377 cm^3), en la que se llenó con el sustrato correspondiente, se trasplantó un plantín de coral (*Salvia splendens* "Fizz Strawberry") y se colocó sobre una mesada de 1 m de altura en un invernáculo. El diseño experimental fue completamente aleatorizado.

Se fertilizó dos veces por semana colocando 100 mL por maceta de la solución madre. Las dosis para preparar la solución madre fueron de 100 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de NPK en la primera semana, 150 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de NPK en la segunda y tercera semana, y 200 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de NPK en las restantes semanas hasta finalizar el ensayo con el fertilizante 18-18-18 (Hakaphos). El riego se realizó con

Tabla 3. Propiedades químicas de las cenizas volcánicas recolectadas en la zona afectada por el volcán Puyehue.

Lugar de recolección	N° de muestra	pH	CE ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)	Calcio ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Magnesio ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Potasio ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Sodio ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)
Costa del Lago Nahuel Huapi	1	6,10	0,02	4	4	12	54
San Carlos de Bariloche	2	5,70	0,13	74	29	114	165
Puerto Pañuelos	3	6,16	0,02	22	7	14	77
Puerto Pañuelos	4	6,31	0,01	53	4	4	52
Puerto Pañuelos	5	6,62	0,03	61	16	5	61
Villa La Angostura	6	5,86	0,05	11	11	51	154
Villa La Angostura	7	6,54	0,01	0	0	21	81
Bahía Huemul	8	6,72	0,01	2	0	8	53
Bahía Huemul	9	7,21	0,05	13	3	7	73
Estancia Collón Cura	10	5,99	0,06	13	8	104	119

CE: Conductividad eléctrica.

Tabla 4. Propiedades físicas de las cenizas volcánicas recolectadas en la zona afectada por el volcán Puyehue.

Lugar de recolección	N° de muestra	Dap. (kg·m ⁻³)	Partículas			PA (%)	CRA (%)	EPT (%)
			> 3,35 mm (%)	3,35-1 mm (%)	< 1 mm (%)			
Costa del Lago Nahuel Huapi	1	279	94	1	5	67	22	89
San Carlos de Bariloche	2	615	0	6	94	35	43	77
Puerto Pañuelos	3	649	0	15	85	33	43	75
Puerto Pañuelos	4	253	1	96	3	53	37	90
Puerto Pañuelos	5	298	70	26	4	63	25	87
Villa La Angostura	6	681	4	26	70	34	39	74
Villa La Angostura	7	677	2	16	82	22	49	72
Bahía Huemul	8	317	6	73	21	54	34	88
Bahía Huemul	9	294	94	3	3	69	18	87
Estancia Collón Cura	10	751	2	2	96	6	57	63

Dap.: densidad aparente; PA: poros con aire; CRA: capacidad de retención de agua; EPT: espacio poroso total.

agua de pozo con un pH de 7,7 y conductividad eléctrica de 0,75 dS·m⁻¹.

El ensayo finalizó cuando más del 50 % de las plantas abrieron su primera flor, es decir, a los 40 días. En ese momento, se midió la masa seca y fresca de la parte aérea y radical de las plantas de coral de las 10 repeticiones por tratamiento.

2.5 Análisis estadísticos

Con los datos obtenidos de los análisis físicos y químicos realizados a los sustratos y del ensayo con plantas de coral, se realizó un análisis de varianza y Test de Tukey ($P < 0,05$) para comparación de medias. El software estadístico utilizado fue el programa InfoStat versión 2009 (Di Rienzo *et al.*, 2009).

3. Resultados y discusión

3.1 Análisis físico y químico de las muestras de cenizas volcánicas recolectadas

El pH (Tabla 3) de las muestras recolectadas osciló entre 5,7 a 7,2, por lo cual, teniendo en cuenta que la mayoría de las especies cultivadas en sustratos se desarrollan en rangos de pH entre 5,5 a 6,3 (Handreck & Black, 2002), las muestras tuvieron valores dentro o cerca del rango, excepto la muestra 7. En el caso de que el valor de pH sea inferior al rango, se recomienda corregir el material con cal, caliza, dolomita o mezclando con otros materiales ácidos, y en el caso de superar el rango, mediante la adición de azufre, sulfato ferroso, sulfato de aluminio u otros compuestos azufrados (Abad *et al.*, 1993; Barbaro *et al.*, 2010).

La conductividad eléctrica (CE) (Tabla 3) de todas las muestras fue muy baja (0,01 a 0,13 dS·m⁻¹), esto permite que se puedan manejar las concentraciones de nutrientes minerales según los requerimientos del cultivo solo mediante la fertilización (Landis *et al.*, 2000). La concentración de todos los elementos analizados (Tabla 3) fue baja según los rangos de referencia del Lab SyA (IF), por lo tanto, la fertilización del cultivo será necesaria en el caso de que se utilice como sus-

Tabla 5. Propiedades químicas del sustrato comercial y los sustratos elaborados con ceniza volcánica.

Sustrato	pH	CE (dS·m ⁻¹)	Calcio (g·L ⁻¹)	Magnesio (g·L ⁻¹)	Potasio (g·L ⁻¹)	Sodio (g·L ⁻¹)
20 % CF + 80 % turba	5,6 bc	0,4 b	0,076 b	0,086 b	0,206 a	0,273 a
50 % CF + 50 % turba	5,7 a	0,2 c	0,060 b	0,061 c	0,167 c	0,280 a
20 % CG + 80 % turba	5,5 d	0,3 b	0,063 b	0,072 bc	0,198 ab	0,235 a
50 % CG + 50 % turba	5,7 ab	0,2 c	0,023 b	0,025 d	0,116 e	0,167 b
20 % CM + 80 % turba	5,5 d	0,4 b	0,067 b	0,076 bc	0,188 b	0,250 a
50 % CM + 50 % turba	5,7 a	0,2 c	0,040 b	0,041 d	0,140 d	0,241 a
Sustrato comercial	5,5 cd	1,3 a	1,025 a	0,569 a	0,043 f	0,090 c

CE: Conductividad eléctrica; CF: ceniza fina; CG: ceniza gruesa; CM: mezcla de ambas. Letras distintas entre filas de una misma columna indican diferencias significativas ($P \leq 0,05$) Test de Tukey.

trato a la ceniza volcánica en forma pura. Si es empleada como componente del sustrato, la dosis y momento de fertilización dependerá del aporte nutricional que tiene el o los materiales que conformen la mezcla.

Con respecto a las propiedades físicas, se recomienda que la densidad aparente sea menor a $400 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (Abad *et al.*, 2001), para facilitar el manejo. En este sentido, las muestra 1, 4, 5, 8 y 9 cumplen con este requisito (Tabla 4).

Las muestras mencionadas también tuvieron mayor tamaño de partículas, las muestras 1, 5 y 9 tuvieron los mayores porcentajes de partículas mayores a 3,35 mm, y las muestras 4 y 8 los mayores porcentajes de partículas de entre 3,35 y 1 mm. Las restantes muestras tenían mayor densidad y porcentaje de partículas menores a 1 mm (Tabla 4). Es decir que a mayor tamaño de partículas, menor fue la densidad aparente de las cenizas volcánicas recolectadas.

El rango óptimo de poros con aire debería variar entre 20 a 30 % y la capacidad de retención de agua entre 24 a 40 % (Abad *et al.*, 2001; Abad *et al.*, 2004). Consecuentemente, debido al tamaño de las partículas, las muestras con mayor tamaño (Muestra 1, 4, 5, 8 y 9) fueron las que superaron el rango óptimo de porosidad de aireación, y las de menor tamaño (Muestra 2, 3, 6 y 7) superaron el porcentaje de capacidad de retención de agua. Por lo tanto, al formular un sustrato con alguna de estas cenizas volcánicas hay que complementar con otro material que mejore la relación de poros con aire y agua, o en caso de utilizarlas en forma pura se debería realizar una mezcla de diferentes tamaños de partículas.

Desde el punto de vista composicional, las cenizas volcánicas pueden ser caracterizadas según el contenido de SiO_2 de los componentes en tres categorías: ácidas, cuando el contenido de SiO_2 es mayor del 62 %, intermedias, cuando el contenido de SiO_2 varía entre

54 a 62 % y, básicas, cuando el contenido de SiO_2 es menor del 54 % (Flórez, 2004). En este caso, según los resultados del Centro Atómico Bariloche las muestras de cenizas tenían entre 65 a 73 % de SiO_2 (Cremona *et al.*, 2011). Por consiguiente, están dentro de la primera categoría, ácidas. Del mismo modo hay una serie de términos descriptivos para diferenciar a los piroclastos según el grado de vesicularidad que posean (presencia de huecos o espacios vacíos), independientemente de su tamaño: pómez y escoria. La pómez es vidrio volcánico altamente vesiculado, de composición intermedia a ácida y con una densidad menor a $1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, mientras que la escoria presenta un grado menor de vesicularidad y composición básica (Martina, 2004). En este sentido, las cenizas evaluadas consisten en pómez, y la alta vesicularidad que poseían le confirió la propiedad de ser livianas y porosas, principalmente a las de mayor granulometría. La mayor vesicularidad de estas cenizas es debida a que los piroclastos llamados pómez provienen de magmas más viscosos, el cual en el proceso eruptivo a medida que asciende y se despresuriza, aparecen pequeñas burbujas por saturación de volátiles (CO_2 , H_2O y SO_2 principalmente) que no pueden alcanzar la superficie y por lo tanto se acumulan en el conducto de salida. Cuando el volumen ocupado por las burbujas supera el 75 %, la presión diferencial en la interface magma/atmósfera aumenta y origina una erupción explosiva, en la que el gas es emitido hacia la atmósfera a una velocidad elevada, arrastrando una gran cantidad de partículas sólidas vesiculadas (Martina, 2004).

En resumen, las cenizas volcánicas tuvieron propiedades químicas favorables para su uso como sustrato y se caracterizaron por presentar una relación inversa entre el tamaño de partículas y la densidad aparente como consecuencia de la porosidad interna que poseen debido a su origen.

Tabla 6. Propiedades físicas del sustrato comercial y los sustratos elaborados con ceniza volcánica.

Sustrato	Dap. ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	Partículas			PA (%)	CRA (%)	EPT (%)
		> 3,35 mm (%)	3,35-1 mm (%)	< 1 mm (%)			
20 % CF + 80 % turba	211 c	4 c	25 d	70 b	34 c	57 b	91 a
50 % CF + 50 % turba	319 a	3 c	20 e	77 a	36 bc	50 cde	86 a
20 % CG + 80 % turba	122 f	8 b	71 b	20 e	41 b	53 bcd	94 a
50 % CG + 50 % turba	179 d	5 bc	85 a	10 f	48 a	45 e	93 b
20 % CM + 80 % turba	159 e	6 bc	39 c	54 d	37 bc	55 bc	92 a
50 % CM + 50 % turba	293 b	2 c	41 c	56 d	41 b	48 de	89 a
Sustrato comercial	220 c	15 a	22 de	63 c	21 d	66 a	87 c

Dap.: densidad aparente; PA: poros con aire; CRA: capacidad de retención de agua; EPT: espacio poroso total. CF: ceniza fina; CG: ceniza gruesa; CM: mezcla de ambas. Letras distintas entre filas de una misma columna indican diferencias significativas ($P \leq 0,05$) Test de Tukey.

3.2 Ensayo con plantas

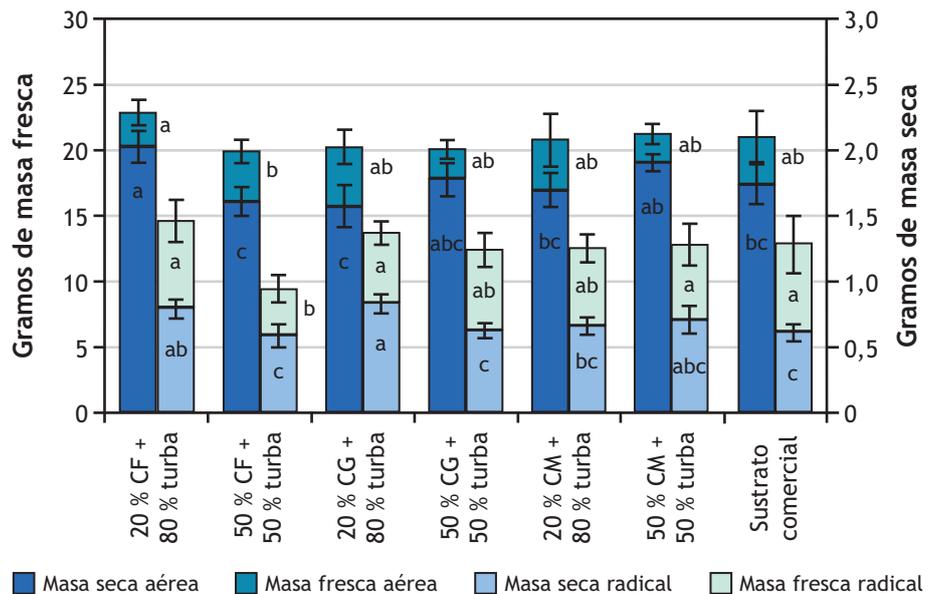
3.2.1 Análisis físicos y químicos de los sustratos evaluados

El pH (Tabla 5) de todos los sustratos evaluados se encontró dentro del rango óptimo para la mayoría de las especies cultivadas en sustratos (5,5 a 6,3) (Handreck & Black, 2002). Asimismo, se observa que la corrección realizada a los sustratos permitió aumentar los valores iniciales de cada uno (entre 3,5 y 4) a los valores recomendados. Si se utiliza un sustrato con pH menor a 5, es alta la probabilidad de que se presentarán deficiencias de nitrógeno, potasio, calcio, magnesio, etc. (Abad *et al.*, 2004); y el manganeso, boro y zinc podrían ser tóxicos (Handreck & Black, 2002).

La CE (Tabla 5) y concentración de calcio, magnesio, potasio y sodio (Tabla 4) fue baja para todos los sustratos formulados, es decir, que no se esperan problemas de intoxicación por sales pero será necesaria la fertilización del cultivo. En cuanto al sustrato comercial, si bien la CE fue mayor ($P < 0,0001$), no superó $1,5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$, valor límite a partir del cual podría haber problemas en el cultivo, según los valores de referencia del Lab SyA (IF). La concentración de calcio y magnesio del sustrato comercial fue aceptable y superó a los restantes sustratos ($P < 0,0001$), mientras que la de potasio y sodio fue baja según los valores de referencia y con respecto a los demás tratamientos ($P < 0,0001$).

En cuanto a las propiedades físicas, todos los sustratos presentaron una densidad (Tabla 6) adecuada ($< 400 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$), lo que facilitará su manejo. El sustrato con 50 % de ceniza fina tuvo la densidad más alta y se diferenció de los restantes tratamientos ($P < 0,0001$).

Las fracciones granulométricas son una de las propiedades físicas fundamentales, teniendo gran influencia sobre las demás propiedades, especialmente en la porosidad (Raviv & Lieth, 2008). Las partículas mayores a 1 mm dan lugar a poros grandes aportando aireación y menores a 1 mm conforman poros medianos a pequeños proporcionando retención de agua. Entre los sustratos formulados, aquellos que contenían ceniza gruesa fueron los que tuvieron mayor porcentaje de partículas entre 3,5 y 1 mm, resultando el sustrato



Letras distintas entre barras de un mismo color indican diferencias significativas ($P \leq 0,05$) Test de Tukey. Barras verticales en cada punto indican intervalo de confianza de 95 %. CF: ceniza fina; CG ceniza gruesa; CM: mezcla de ambas.

Figura 1. Masa fresca, seca, aérea y radical de las plantas de coral evaluadas en el sustrato comercial y en los sustratos elaborados con ceniza volcánica.

con 50 % de ceniza gruesa con mayor porcentaje, diferenciándose de los demás ($P < 0,0001$). En cambio, los sustratos con ceniza fina fueron los de mayor porcentaje de partículas menores a 1 mm, diferenciándose el sustrato con 50 % de ceniza fina del resto de los sustratos ($P < 0,0001$) (Tabla 6).

El espacio poroso total (Tabla 6) de todos los sustratos fue superior a 80 %, valores recomendables para un sustrato (Abad *et al.*, 2001). La porosidad total fue mayor en el sustrato que contenía 20 % de ceniza gruesa ($P < 0,0001$).

Los valores óptimos de porcentaje de poros con aire se considera entre 20 a 30 % (Bunt, 1988; Abad *et al.*, 2004), los sustratos evaluados superaron entre 4 a 18 % el límite de poros con aire, teniendo el sustrato con 50 % de ceniza gruesa el mayor porcentaje ($P < 0,0001$). Con respecto a la capacidad de retención de agua, los valores óptimos oscilan entre 24 a 40 % (Bunt, 1988; Abad *et al.*, 2004), los sustratos formulados con cenizas superaron entre 5 y 17 % el valor superior límite y el sustrato comercial superó un 26 % diferenciándose de los demás sustratos ($P < 0,0001$) (Tabla 6). No obstante, la bibliografía muestra que a rangos superiores a los de referencia se logra una buena respuesta agronómica de las plantas, manteniendo una buena relación de poros de aire y agua (Breedlove *et al.*, 1999; Vendrame *et al.*, 2005; Yahya *et al.*, 2009; Yahya *et al.*, 2010; Barbaro, 2011).

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, todos los sustratos tuvieron adecuadas propiedades

químicas y físicas para ser utilizados en la producción con plantas en maceta. Para evaluar cual sería el que permitiría el mejor desarrollo de plantas se debería pasar a una evaluación biológica con las plantas que se desea producir.

3.2.2 Evaluación de los parámetros de crecimiento de las plantas de coral (*Salvia splendens*)

La masa fresca aérea y radical de las plantas de coral no tuvo diferencias significativas entre los tratamientos, excepto para las plantas desarrolladas en el sustrato con 50 % de ceniza fina que lograron los valores más bajos ($P < 0,0001$).

Los valores de la masa seca aérea de las plantas de coral desarrolladas en los sustratos con 20 % de ceniza fina, 50 % de ceniza gruesa y ceniza mezcla fueron los mayores, sin diferencias entre estos ($P < 0,0001$). En los sustratos con 50 % de ceniza fina y 20 % de ceniza gruesa las plantas de coral tuvieron los menores valores de masa seca aérea y se diferenciaron de las desarrolladas en los sustratos con 20 % de ceniza fina y 50 % de ceniza mezcla ($P < 0,0001$). La masa seca radical de las plantas desarrolladas en los sustratos con 20 % de ceniza fina, gruesa y con 50 % de ceniza mezcla lograron los mayores valores. Las plantas del sustrato con 20 % de ceniza gruesa superaron a las plantas desarrolladas en los restantes sustratos ($P < 0,0001$).

En síntesis, las plantas desarrolladas en los sustratos con 20 % de ceniza fina y 50 % de ceniza mezcla lograron los mayores valores en todas las variables medidas. Pero teniendo en cuenta que en ensayos realizados con la misma especie (*Salvia splendens*) y finalizados bajo las mismas condiciones, los mejores resultados fueron con los sustratos que lograron plantas con más de 14 g de masa fresca aérea, 1,4 g de masa seca aérea, 9 g de masa fresca radical y 0,6 g de masa seca radical (Barbaro *et al.*, 2009; Barbaro *et al.*, 2011b; Pérez *et al.*, 2011), se podría concluir que todos los sustratos formulados con cenizas y el sustrato comercial lograron buen desarrollo de plantas, ya que todas las plantas superaron los valores de masa mencionados.

4. Conclusiones

Las cenizas volcánicas tuvieron propiedades químicas favorables para su uso como sustrato, principalmente por su bajo contenido de sales. En cuanto a las propiedades físicas, las cenizas volcánicas de mayor tamaño de partículas fueron menos densas y con mayor porosidad de aireación. En cambio, las de menor tamaño de partículas fueron más densas y con mayor

capacidad de retención de agua. Por esta razón, los sustratos que se formulen con cenizas volcánicas deben ser complementados con otros materiales que mejoren la relación de poros con aire y agua.

En sustratos formulados con 20 o 50 % de ceniza volcánica (fina, gruesa o una mezcla de ambas) y turba *Sphagnum* se logró obtener plantas de coral de igual calidad que las desarrolladas en un sustrato comercial, resultando los sustratos con 20 % de ceniza fina y 50 % de ceniza mezcla los más aptos, considerando la mayor masa fresca y seca aérea y radical que presentaron las plantas evaluadas. Por lo tanto, la ceniza volcánica es un material viable para ser usado como sustrato para plantas en maceta, siempre y cuando, se caractericen antes de su uso para definir cómo preparar el sustrato según sus propiedades y el sistema de cultivo.

5. Bibliografía

- Abad, M.; Martínez, P.F.; Martínez, M.D. & Martínez, J. 1993. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Actas de Horticultura* 11: 141-154.
- Abad, M.; Noguera, P. & Burés, S. 2001. National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain. *Bioresource Technology* 77: 197-200.
- Abad, M.; Noguera, P. & Carrion, C. 2004. Los sustratos en los cultivos sin suelo. In: *Tratado de cultivo sin suelo*. 3ª ed. Ed. Mundi prensa. España. p. 113-158 (Urrestarazu Gavilan M. ed.).
- Ansorena Miner, J. 1994. *Sustratos propiedades y caracterización*. 1ª ed. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 172 p.
- Barbaro, L.A.; Karlanian, M.A.; Imhoff, S. & Morisigue, D.E. 2011a. Caracterización de la turba subtropical del departamento Islas del Ibicuy (Entre Ríos, Argentina). *Agriscientia* 28: 137-145.
- Barbaro, L.A. 2011. *Desarrollo de sustratos sin suelo para cultivo en macetas de plantas florales*. Tesis (M.Sc.). Universidad del Litoral. Facultad de Ciencias Agrarias. 127p.
- Barbaro, L.A.; Karlanian, M.A.; Morisigue, D.E.; Rizzo, P.; Riera, N.; Della Torre, V. & Crespo, D. 2011b. Compost de ave de corral como componente de sustratos. *Ciencias del Suelo* 29: 83-90.
- Barbaro, L.A.; Karlanian, M.A. & Morisigue, D.E. 2010. Utilización de azufre micronizado en la corrección del pH de compost de residuos de poda. *Agriscientia* 27: 125-130.
- Barbaro, L.A.; Morisigue, D.E.; Karlanian, M.A. & Bu-

- yatti, M.A. 2009. Producción de plantas de coral (*Salvia splendens* L.) en sustratos realizados a base de compost de restos de poda y suelo con diferentes dosis de fertilización. FAVE - Sección Ciencias Agrarias 8: 27-38.
- Breedlove, D.; Ivy, L. & Bilderback, T. 1999. Comparing potting substrates for growing 'Hershey Red' azaleas. Southern Nursing Research Society 44:71-75.
- Bunt, A.C. 1988. Media and mixes for container-grown plants. 2a ed. Ed. Unwin Hyman. London. 309 p.
- Burés, S. 1997. Sustratos. 1ª ed. Ed. Agrotecnias. Madrid. 342 p.
- Buteler, M.; Stadler, T.; López García, G.P.; Lassa, M.S.; Trombotto Liaudat, D.; D'adamo, P. & Fernandez-Arhex, V. 2011. Propiedades insecticidas de la ceniza del complejo volcánico Puyehue-Cordón Caulle y su posible impacto ambiental. Revista de la Sociedad Entomológica Argentina 70: 149-156.
- Çelikel, G. 1999. Influence of re using substrates on the yield and earliness of eggplant in soilless culture. Acta Hort. (ISHS) 491: 357-362.
- Colombo, F. & Martí, J. 1992. Depósitos volcano sedimentarios. In: Sedimentología I. Ed. CSIC. p. 273-547. (Arche, A. ed.).
- Cremona, M.V.; Ferrari, J. & López, S. 2011. Las cenizas volcánicas y los suelos de la región. In: Presencia. N°57. Ed. INTA. EEA Bariloche. Publicaciones regionales. p. 8-11.
- De Boodt, M.; Verdonck, O. & Cappaert, J. 1974. Methods for measuring the water release curve of organic substrates. Acta Horticulturae 37: 2054-2062.
- Di Rienzo, J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; Gonzalez, L.; Tablada, M. & Robledo, C.W. 2009. InfoStat versión 2009. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. (Disponible en <http://www.infostat.com.ar>. Consultado el 10/06/2013).
- Fermino, M.H. 2003. Métodos de análisis para caracterización física de sustratos para plantas. Tesis (Dr.). Universidad Federal de Rio Grande Do Sul. Facultad de Agronomía. Puerto Alegre. 250 p.
- Flórez, M.M.T. 2004. Meteorización experimental de los fragmentos de matriz y los vidrios volcánicos. Tesis (Ph. Dr.) Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira. 300 p.
- Gaitán, J.; Raffo, F.; Ayesa, J.; Umaña, F. & Bran, D. 2011. Zonificación del área afectada por cenizas volcánicas en Río Negro y Neuquén. In: Presencia. N°57. Ed. INTA. EEA Bariloche. Publicaciones regionales. p. 4-7.
- Gunnlaugsson, B. & Adalsteinsson, S. 1995. Pumice as environment friendly substrate a comparison with rockwool. Acta Horticulturae 401:131-136.
- Handreck, K. & Black, N. 2002. Growing media for ornamental plants and turf. 3a ed. AUNSW Press book. Australia. 542 p.
- Landis, T.D.; Tinus, R.W.; McDonald, S.E. & Barnett, J.P. 2000. Manual de viveros para Producción de especies forestales en contenedor. Manual agrícola. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio Forestal. 674 p.
- Martín-Closas, L.L. & Recasens, X. 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.
- Martina, F. 2004. Anexo I Introducción a las rocas piroclásticas. 29 p. http://www.abmcordoba.com.ar/IMG/pdf/ROCAS_PIROCLASTICAS.pdf Consulta: 1/07/2013.
- Mazzoni, M. 1986. Procesos y depósitos piroclásticos. Asociación Geológica Argentina. Publicación Especial. Serie "B" N° 14. 115 p.
- Normann Kampf, A.; Jun Takane, R. & Vital de Siqueira, P.T. 2006. Floricultura, técnicas de preparo de sustratos. Tecnología fácil, 19. Ed. LK editora. Brasilia. 132 p.
- Pérez, V.; Barbaro, L.A.; Mata, D.A. & Karlanian, M.A. Caracterización y acondicionamiento de diferentes compost de restos de poda para su uso como componente de sustrato en la producción de especies florales. 2011. Revista de la Facultad de Agronomía y Ciencias Agroalimentarias 4: 35-64.
- Raviv, M. & Lieth, J.H. 2008. Soilless culture: theory and practice. 1ª ed. Ed. Elseiver. 587 pp.
- Raviv, M.; Wallach, R.; Silber, A.; Medina, S. & Krasnovsky, A. 1999. The Effect of Hydraulic Characteristics of Volcanic Materials on Yield of Roses Grown in Soilless Culture. Journal of the American Society for Horticultural Science 124: 205-209.
- Robles, C. 2011. Consecuencias de la erupción volcánica sobre la salud del ganado en la región patagónica. In: Presencia. N°57. Ed. INTA. EEA Bariloche. Publicaciones regionales. p. 20-25.
- Vendrame, W.; Manguirre, I. & Moore, K. 2005. Growth of selected bedding plants as affected by different compost percentages. Selected Proceedings of the Florida State Horticultural Society 118: 368-371.
- Villarosa, G. 2011. Cenizas, arenas y otras yerbas. Un poco de precisión en la nomenclatura para materiales de origen piroclástico. In: Presencia. N°57. Ed. INTA. EEA Bariloche. Publicaciones

regionales. p. 46.

Yahya, A.; Anieza, S.S.; Mohamad, R.B. & Ahmad, S. 2009. Chemical and physical characteristics of cocopeat-based media and their effects on the growth and development of *Celosia cristata*. American journal of Agricultural and Biological

Sciences 4: 63-71.

Yahya, A.; Anieza, S.S.; Mohamad, R.B. & Ahmad, S. 2010. Growth Dynamics of *Celosia cristata*. Grown in Cocopeat, Burnt Rice Hull and Kenaf Core Fiber mixtures. American journal of Agricultural and Biological Sciences 5: 70-76.