

Evaluación física y química de tezontle y su uso en la producción de tulipán*

Physical and chemical evaluation of volcanic rocks and its use for tulip production

Libia Iris Trejo-Téllez^{1§}, Maribel Ramírez-Martínez¹, Fernando Carlos Gómez-Merino², J. Cruz García-Albarado², Gustavo Adolfo Baca-Castillo¹ y Olga Tejeda-Sartorius³

¹Colegio de Postgraduados *Campus* Montecillo. Carretera México-Texcoco km. 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230. México. (tlibia@colpos.mx; mariela@colpos.mx; bacag@colpos.mx). ²Colegio de Postgraduados *Campus* Córdoba. Carretera Córdoba-Veracruz km. 348, Congr. Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz. C. P. 94946. México. (fernandg@colpos.mx). ³Colegio de Postgraduados, *Campus* San Luis Potosí. Iturbide No. 73. Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí. C. P. 78600. México. (olgats@colpos.mx). §Autora para correspondencia: tlibia@colpos.mx.

Resumen

Se evaluaron las características físicas y químicas del tezontle de dos granulometrías (3 y 5 mm) y su uso en la producción de tulipán (*Tulipa gesneriana*) cv. Ille de France, tomando como referencia el sustrato comercial ProMix[®]. El espacio poroso total (67 y 67.9%), el agua fácilmente disponible (2.9 y 2.3%) y la de reserva (1.9 y 1.1%) en el tezontle (3 y 5 mm, respectivamente) resultaron inadecuados para el cultivo de tulipán. El pH fue alcalino en tezontle y ácido en ProMix[®]; la conductividad eléctrica fue superior en éste último (1.46 dS m⁻¹), pero aún dentro del límite establecido para sustratos. El contenido de N fue bajo en ambos materiales (en tezontles 0.61% y 0.82% en ProMix[®]); Ca y Mg fueron mayores en el tezontle en 60 y 24.7%, respectivamente; por el contrario, en ProMix[®], el K fue cerca de tres veces superior que en tezontles. No se encontró presencia de Na en los tezontles. En plantas crecidas en tezontle de 5 mm se registraron las menores concentraciones foliares de K, Ca y Mg (11.08, 0.8 y 1.55 g kg⁻¹, respectivamente). Las concentraciones foliares de N y P no fueron diferentes entre tratamientos. Por otro lado, las concentraciones foliares de K y Ca en plantas creciendo en tezontle de 3 mm resultaron suficientes; mientras en las establecidas en ProMix[®] fueron excesivas, y en tezontle de 5 mm fueron deficientes. La concentración

Abstract

Physical and chemical characteristics of volcanic rocks were evaluated, using two particle sizes (3 and 5 mm) and its use in the production of tulip (*Tulipa gesneriana*) cv. Ille de France, taking as reference the commercial substrate ProMix[®]. The total porous space (67 and 67.9%), the easily water available (2.9 and 2.3%) and reserved water (1.9 and 1.1%) in the volcanic rocks (3 and 5 mm, respectively) were unsuitable for growing tulips. The pH was alkaline in the volcanic rocks and acid in ProMix[®], in the latter the electrical conductivity was higher (1.46 dS m⁻¹), but still within the limit set for substrates. N content was low in both materials (0.61% in volcanic rocks and 0.82% in ProMix[®]); Ca and Mg were higher in the volcanic rocks at 60 and 24.7%, respectively, on the contrary, in ProMix[®], K was near three times higher than in the volcanic rocks. We found no Na in the volcanic rocks at all. In plants grown in 5 mm volcanic rocks the lowest foliar concentrations of K, Ca and Mg were found (11.08, 0.8 and 1.55 g kg⁻¹, respectively). Foliar concentrations of N and P were not different between treatments. On the other hand, foliar concentrations of K and Ca in plants growing in 3 mm volcanic rocks were quite enough; while in the established ProMix[®] were excessive; and in 5 mm volcanic rocks were

* Recibido: octubre de 2012
Aceptado: marzo de 2013

foliar de Mg fue baja en plantas establecidas en tezontle. Se concluye que el empleo de tezontle de 3 mm puede ser una alternativa para la producción de tulipán, siempre y cuando la frecuencia de riego se disminuya.

Palabras clave: *Tulipa gesneriana* L., concentración nutrimental foliar, especies ornamentales, sustrato.

Introducción

El tulipán (*Tulipa gesneriana* L.) es el cultivo ornamental de bulbo más importante en el mundo, ya que sobresale por su elegancia, belleza y por sus múltiples posibilidades de uso (los extractos son usados en la industria cosmética y medicinal o para elaborar bioinsecticidas y bioplásticos) (Ramírez *et al.*, 2010; Zondag, 2012). Es un cultivo asociado comúnmente a zonas frías y templado-frías y representa una alternativa de negocio para los agricultores de México, especialmente los del Estado de México, ya que los precios del mercado nacional superan a los del mercado internacional; en éste último con precios promedio por tallo floral en 2006 y 2007 de 0.14 euros (Plasmeijer y Yanai, 2007).

El tulipán se cultiva en dos modalidades de producción: flor de corte y en maceta. En el primero se utilizan camas con suelo del invernadero, mientras que para maceta se utiliza la "tierra de monte" como materia prima principal para la elaboración de sustratos, la cual es una mezcla de diferentes suelos forestales (Tapia-Tapia y Reyes-Chilpa, 2008). Aunque ésta es adecuada, el uso irracional de este recurso provoca serios problemas al ecosistema como es la erosión y la pérdida de productividad de suelos forestales (García *et al.*, 2001), por lo que es necesario buscar sustratos alternativos que contribuyan a disminuir y evitar el agotamiento de los recursos no renovables.

La calidad de las plantas ornamentales depende principalmente del sustrato que se utilice para su cultivo, y un sustrato ideal es aquel que permite una adecuada penetración de las raíces y que retengan agua y aire en cantidades suficientes para un óptimo desarrollo. Además, debe tener una influencia directa sobre el suministro de nutrimentos necesarios para las especies que se desarrollen en él (Bunt, 1988). Las plantas cultivadas en macetas tienen un crecimiento limitado de las raíces, aunque la demanda de agua, aire y nutrimentos es elevada.

rather poor. Foliar concentration of Mg was low in plants established in volcanic rocks. We concluded that, the use of 3 mm volcanic rocks may be an alternative for the production of tulips, as long as the frequency of irrigation is reduced.

Key words: *Tulipa gesneriana* L., foliar nutrient concentration, ornamental species, substrate.

Introduction

Tulip (*Tulipa gesneriana* L.) is the most important ornamental bulb growing in the world as it stands out for its elegance, beauty and its multiple possibilities of use (the extracts are used in cosmetics and medical industry or to develop bio-insecticides and bioplastics) (Ramírez *et al.*, 2010; Zondag, 2012). The crop is commonly associated with cold and temperate zones and represents an alternative business for farmers in Mexico, especially in the State of Mexico as the market prices exceed those of the international market; in the latter with average prices of flower stalk in 2006 and 2007 of 0.14 euros (Plasmeijer and Yanai, 2007).

The tulip is grown in two modes of production: cut flower and potted. In the first one we use soil beds in the greenhouse while in potted flowers we use the "land of mountains" as main raw material for the production of substrates, which is a mixture of different forest soils (Tapia-Tapia and Reyes-Chilpa 2008). While this is adequate, the irrational use of this resource causes serious problems to the ecosystem as erosion and loss of forest soil productivity (García *et al.*, 2001), so it is necessary to seek alternative substrates to help reducing and avoid the depletion of nonrenewable resources.

The quality of ornamental plants mainly depends on the substrate used for cultivation, and an ideal substrate is one that allows adequate penetration of the roots and retains water and air in quantities enough for optimal development. Besides, it's necessary to have a direct influence on the supply of nutrients needed for the species to develop in it (Bunt, 1988). Plants grown in pots have limited growth of the roots, but the demand for water, air and nutrients is high.

For this reason, it is important to look for substrates that are able to maintain a lot of roots in a small space with enough water and air available, combined with a comprehensive

Por este motivo, es importante buscar sustratos que sean capaces de mantener una gran cantidad de raíces en un reducido espacio con suficiente agua y aire disponible, combinados con un programa integral de manejo y fertilización, que permitan un adecuado crecimiento de las plantas (Cabrera, 1995). Cabrera (1997) menciona que para obtener plantas de alta calidad es necesario comprender el micro-ambiente que se genera en el contenedor y cómo éste es afectado por las propiedades físicas y químicas de los sustratos utilizados. De acuerdo a Cabrera (1999), la porosidad del sustrato es la característica física más importantes para el crecimiento y desarrollo de los cultivos, y el valor óptimo de ésta debe ser mayor a 70%.

A diferencia de las propiedades físicas, las propiedades químicas pueden ser modificadas durante el ciclo productivo (Cabrera, 1999). El pH, la conductividad eléctrica (CE), la capacidad de amortiguamiento y la capacidad de intercambio catiónico (CIC), concentración de nutrientes disponibles así como de metales pesados y elementos tóxicos son las propiedades químicas más importantes de un sustrato. Ansorena (1994) indica como intervalos óptimos los valores de pH y CE de 5.2 a 6.3 y de 0.75 a 3.49 $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ respectivamente, y un contenido de materia orgánica superior a 80%. En las especies forestales *Gmelina arborea* L. Roxb (melina), *Tectona grandis* L.f. (teca) y *Swietenia macrophylla* King (caoba) se reportó que la concentración nutrimental foliar se relacionó con el pH, la saturación intercambiable de acidez y el nivel de K del sustrato (Calvo-Alvarado *et al.*, 2008).

El tezontle es un material considerado inerte, con valores de pH cercanos a la neutralidad, baja CIC, buena aireación, y con capacidad de retención de humedad que es dependiente del diámetro de la partícula; adicionalmente no contiene sustancias tóxicas y tiene estabilidad física (Bastida, 1999). Vargas *et al.* (2008) reportan que las densidades aparente y real en tezontle aumentaron conforme disminuyó el tamaño de la partícula; mientras que el espacio poroso total se incrementó con el aumento en el tamaño de partícula. En lo que a propiedades químicas respecta, Cruz *et al.* (2012) reportaron valores de pH, CE, CIC y contenido de materia orgánica para tezontle de 7.1, 0.08 $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$, 2.7 $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ y 0%, respectivamente. Asimismo, el tezontle ha sido evaluado como sustrato en distintas especies como nochebuena (Pineda *et al.*, 2008; Callejas *et al.*, 2009) y tomate (San Martín *et al.*, 2012). En ésta última investigación, se concluyó que el tamaño de partícula de tezontle tuvo efecto sobre algunas propiedades de calidad de fruto como pH, porcentaje de jugo y firmeza.

program management and fertilization, to permit adequate plant growth (Cabrera, 1995). Cabrera (1997) mentioned that in order to obtain high quality plants is necessary to understand the micro-environment that is generated in the container and how it is affected by the physical and chemical properties of the substrates used. According to Cabrera (1999), the porosity of the substrate is the most important physical trait for the growth and development of the crop, and the optimal value of this should be higher than 70%.

Unlike the physical properties, chemical properties may be changed during the production cycle (Cabrera, 1999). PH, electrical conductivity (EC), the damping capacity and the cationic exchange capacity (CEC), available nutrient concentration as well as heavy metals and toxic elements are the most important chemical properties of a substrate. Ansorena (1994) as indicating the optimum ranges of pH and EC of 5.2 to 6.3 and from 0.75 to 3.49 $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ respectively, and an organic matter content above 80%. In forest species *Gmelina arborea* L. Roxb (Melina), *Tectona grandis* L. F. (Teak) and *Swietenia macrophylla* King (mahogany) reported that foliar nutrient concentration was related to the pH, acidity saturation and exchangeable K level of the substrate (Calvo-Alvarado *et al.*, 2008).

Volcanic rocks are considered inert material with pH values near neutrality, low CEC, good aeration and moisture holding capacity that is dependent on the particle diameter and additionally contains of none toxic chemicals and has physical stability (Bastida, 1999). Vargas *et al.* (2008) reported that, the apparent and actual density increased by decreased the particle size, while the total porous space is increased with the increase in particle size. As far as regards chemical properties, Cruz *et al.* (2012) reported values of pH, EC, CEC and organic matter content of 7.1, 0.08 $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$, 2.7 $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ and 0%, respectively. Also, volcanic rock has been evaluated as a substrate in different species such as poinsettia (Pineda *et al.*, 2008; Callejas *et al.*, 2009) and tomato (San Martín *et al.*, 2012). The latter investigation concluded that, the particle size had some effect on fruit quality properties such as pH, percent juice and firmness.

In poinsettia, foliar concentrations of macro-and micro-nutrients were higher in plants grown in volcanic rocks in comparison with those that were developed in a mixture of volcanic rocks plus organic substrates (Pineda *et al.*, 2008). Similar results were reported by Callejas *et al.* (2009), who

En nochebuena la concentración foliar de macro y micro-nutrientes fue más alta en plantas crecidas en tezontle en comparación con aquellas que se desarrollaron en una mezcla de tezontle más sustratos orgánicos (Pineda *et al.*, 2008). Resultados similares reportan Callejas *et al.* (2009), quienes encontraron una mayor concentración de N, P, Fe, y B en plantas desarrolladas sólo tezontle. En contraste, en petunia se observó una mayor acumulación de N, P, K, Ca y Mg en plantas que crecieron en una mezcla de sustrato orgánico (composta) y suelo (Gómez *et al.*, 2011).

Si bien para tulipán se ha evaluado el efecto de distintos sustratos en el crecimiento (Krause *et al.* 1980; Laskowska y Sprzaczk, 2006), a la fecha no se han desarrollado estudios que permitan identificar un sustrato equilibrado que mejore la extracción nutricional, y los sustratos que se han probado han sido seleccionados de manera empírica, sin observar efectos significativos en el cultivo. Ejemplos de éstos estudios son los realizados por Rodríguez-Mendoza *et al.* (2011), quienes evaluaron una mezcla de perlita, tezontle y turba de pantano (relación 1:1:0.83); Medrano y Portas (2005) probaron mezclas de tierra de monte y mantillo (proporción 3:1); y Francescangeli y Zagabria (2007) usaron Grow Mix® para evaluar su efecto sobre características comerciales de *Tulipa gesneriana* cv. Leen van der Mark en maceta.

En el contexto anterior, el objetivo de esta investigación fue determinar algunas propiedades físicas, químicas y agronómicas del tezontle de dos granulometrías, y su efecto en el inicio de brotación, altura de planta y concentración de macronutrientes en hoja de tulipán (*Tulipa gesneriana* L.) cv. Ille de France.

Materiales y métodos

Ubicación del experimento. La investigación se realizó en el Colegio de Postgraduados, *Campus* Montecillo (19° 28' 4.26" latitud norte, 98° 53' 42.18" longitud oeste y una altitud de 2 250 m) Texcoco, Estado de México, bajo condiciones de invernadero tipo cenital de estructura metálica cubierto con plástico blanco lechoso (calibre 720). Durante el desarrollo del experimento se cubrió con una malla sombra de polipropileno de 70%.

Manejo del experimento. Se utilizaron bulbos de tulipán (*Tulipa gesneriana*) cv. Ille de France de 12 cm de diámetro, a los cuales antes de la plantación se les eliminó la túnica y

found a higher concentration of N, P, Fe, and B in plants grown only with volcanic rocks. In contrast, in petunia the accumulation of N, P, K, Ca and Mg was a higher in plants grown in a mixture of organic substrate (compost) and soil (Gómez *et al.*, 2011).

While tulip has been evaluated for the effect of different substrates on growth (Krause *et al.* 1980; Laskowska and Sprzaczk, 2006), up to this date no studies have been conducted to identify a substrate to improve the extraction balanced nutritional, and substrates that have been tested have been selected empirically, without observing significant effects on the crop. Examples of these studies are those performed by Rodríguez-Mendoza *et al.* (2011), who evaluated a mixture of perlite, peat swamp and volcanic rocks (ratio 1:1:0.83); Medrano and Portas (2005) tested mixtures of forest soil and compost (3:1 ratio) and Francescangeli and Zagreb (2007) used Grow Mix® to evaluate its effect on commercial properties on *Tulipa gesneriana* cv. Leen van der Mark in pot.

In this context, the objective of this research was to determine some physical, chemical and agronomic properties of two different grain-sizes of volcanic rocks and their effect on the initiation of germination, plant height and leaf macronutrient concentration of tulip (*Tulipa gesneriana* L.) cv. Ille de France.

Materials and methods

Location of the experiment. The research was conducted at the Postgraduate College, Campus Montecillo (19° 28' 4.26" N, 98° 53' 42.18" west longitude and an elevation of 2 250 m), Texcoco, State of Mexico, under zenith-type greenhouse conditions of metal structure covered with milky-white plastic (caliber 720). During the course of the experiment is covered with a shade cloth 70% of polypropylene.

Experiment management. Were used tulip bulbs (*Tulipa gesneriana*) cv. Ille de France, 12 cm in diameter, which were removed from their coats and were also disinfected for 15 min in a fungicide solution with 3 and 2 g L⁻¹, of Ridomil® (Metalaxyl-m) and Captan® (N trichloromethylthio-4-cyclohexene-1, 2-dicarboximide), respectively. Planting was done in pots of 4.3 L capacity containing substrates in assessment: 1) 3 mm (3T) and 2) 5 mm volcanic rocks

se desinfectaron durante 15 min en una solución fungicida con 3 y 2 g L⁻¹, de Ridomil® (Metalaxyl-m) y Captan® (N triclorometiltio-4-ciclohexeno-1,2-dicarboximida), respectivamente. La plantación se realizó en macetas de 4.3 L de capacidad que contenían los sustratos en evaluación: 1) tezontle 3 mm (3T) y 2) tezontle 5 mm (5T) de diámetro de partícula. Como sustrato de referencia se utilizó ProMix®, el cual es una combinación de turba de *Sphagnum*, perlita y vermiculita (Ramírez *et al.*, 2010).

El riego se realizó cada tercer día con 100 mL de solución nutritiva universal de Steiner (Steiner, 1984) al 50% preparada con reactivos grado analítico y complementada con una mezcla de micronutrientes (1.6 mg L⁻¹ de Mn, 0.11 mg L⁻¹ de Cu, 0.23 mg L⁻¹ de Zn y 5 mg L⁻¹ Fe-EDTA) (Steiner y van Winden, 1970). El pH de la solución se ajustó a 5.5 con HCl 1N. Se empleó un diseño experimental completamente al azar con ocho repeticiones. Las unidades experimentales fueron macetas (antes descritas) que contenían una planta cada una de ellas.

Caracterización física y química de los sustratos.

Las caracterizaciones físico-químicas de los sustratos se hicieron de acuerdo con Ansorena (1994) y Richards (1973). Los parámetros físicos medidos en los sustratos fueron agua difícilmente disponible (ADD), agua retenida (AR), agua fácilmente disponible (AFD), capacidad de aireación (CA), espacio poroso total (EPT) y material sólido (MS). Las propiedades químicas determinadas fueron pH, conductividad eléctrica (CE) y concentraciones de N, P, K, Ca, Mg y Na. Los parámetros físicos y químicos fueron determinados por triplicado en cada sustrato.

Variables medidas en planta

Inicio de brotación. Se evaluó en días, a partir de la fecha de siembra hasta que inició la emergencia del brote.

Altura de planta. Este dato se obtuvo utilizando cinta métrica, midiendo a partir de la base del sustrato hasta la altura máxima alcanzada por el tallo al momento del corte, 59 días después de la plantación de los bulbos.

Concentración de nutrientes en hoja. Las muestras de hoja se tomaron a los 60 días después del trasplante y se secaron en una estufa de aire forzado a 72 °C por 48 h. Una vez secas se molieron en molino de acero inoxidable marca Wiley Modelo 4 con tamiz de 40 mallas (425 µm). Se determinó la concentración de N empleando el método

(5T) particle diameter. As reference substrate, ProMix® was used, which is a combination of sphagnum peat, perlite and vermiculite (Ramírez *et al.*, 2010).

Irrigation was performed every third day with 100 mL of universal Steiner nutrient solution (Steiner, 1984) at 50% prepared with analytical grade reagents and supplemented with a mixture of micronutrients (1.6 mg L⁻¹ of Mn, 0.11 mg L⁻¹ Cu, 0.23 mg L⁻¹ Zn and 5 mg L⁻¹ Fe-EDTA) (Steiner and van Winden, 1970). The pH of the solution was adjusted to 5.5 with 1N HCl. We used a completely randomized design with eight replications. The experimental units were pots (described above) containing a plant each.

Physical and chemical characterization of the substrates.

Physico-chemical characterizations of the substrates were made according to Ansorena (1994) and Richards (1973). Physical parameters measured water substrates were hardly available (ADD), water retained (AR), easily available water (AFD), aeration capacity (CA), total porous space (EFA) and solid matter (MS). The chemical properties determined were pH, electrical conductivity (EC) and N, P, K, Ca, Mg and Na concentrations. Physical and chemical parameters were determined in triplicate on each substrate.

Variables measured in the plants

Sprouting start. Evaluated in days from planting date until the emergence of the outbreak began.

Plant height. This data were obtained using a tape, measuring from the base of the substrate to the maximum height reached by the stem at the time of cutting, 59 days after planting the bulbs.

Leaf nutrient concentration. Leaf samples were taken at 60 days after transplantation and were dried in a forced air oven at 72 °C for 48 h. Once dried, they were shattered in a stainless steel mill Wiley trademark, Model 4 with 40 nettings sieve (425 microns). The concentration was determined using the Semmicro N-Kjeldahl method (Bremner, 1965). P, K, Ca and Mg were determined by digestion of the dried material with a mixture of nitric and perchloric acids (Alcántar and Sandoval, 1999). The reading of the extracts obtained after digestion and filtration were determined with the inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy ICP-AES Liberty VARIAN™ model II.

Semmicro-Kjeldahl (Bremner, 1965). El P, K, Ca y Mg fueron determinados por digestión húmeda del material seco con una mezcla de ácidos perclórico y nítrico (Alcántar y Sandoval, 1999). La lectura de los extractos obtenidos después de la digestión y filtrado se determinaron en el equipo de espectroscopia de emisión atómica de inducción por plasma acoplado ICP-AES VARIAN™ modelo Liberty II.

Análisis estadístico. Los datos obtenidos fueron analizados mediante el análisis de varianza y comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$) con el software Statistical Analysis System (SAS, 2011).

Resultados

Propiedades físicas de los sustratos. En el Cuadro 1 se muestran los valores obtenidos de la caracterización física de los sustratos. Se observa que el sustrato ProMix® tiene un mayor porcentaje de agua retenida en los microporos; es decir, el agua difícilmente disponible (ADD) es superior en más de cuatro veces a la de los tezontles de ambas granulometrías. Esta tendencia fue observada para las propiedades agua retenida (AR), agua fácilmente disponible (AFD) y espacio poroso total (EPT). Por el contrario, el material sólido (MS) y la capacidad de aireación (CA) fueron mayores en los tezontles que en el sustrato orgánico.

Cuadro 1. Propiedades físicas de tres sustratos utilizados en el cultivo de tulipán (*Tulipa gesneriana* L.).
Table 1. Physical properties of three substrates used for cultivating tulips (*Tulipa gesneriana* L.)

Sustrato	ADD	AR	AFD	CA	EPT	MS
	(% del volumen)					
ProMix®	33.2	6.6	23.9	29.2	92.9	7.1
Tezontle 3 mm	7.8	1.9	2.9	44.4	67.0	33.0
Tezontle 5 mm	8.0	1.1	2.3	56.5	67.9	32.1

ADD= agua difícilmente disponible; AR= agua retenida; AFD= agua fácilmente disponible; CA= capacidad de aireación; EPT= espacio poroso total; MS= material sólido. Los resultados son el promedio de tres repeticiones.

Propiedades químicas de los sustratos. El Cuadro 2 muestra los resultados de la determinación de propiedades químicas de los sustratos. El pH del tezontle fue alcalino; mientras que el del ProMix® es clasificado como ácido. La conductividad eléctrica (CE), es el indicador de la concentración de sales totales en un sustrato y que según Ansorena (1994) no debe exceder los 3.5 dS m⁻¹. En este estudio los valores del tezontle (0.15 dS m⁻¹) y ProMix® (1.5 dS m⁻¹) se consideran como adecuados.

Statistical analysis. The data were analyzed by analysis of variance and Tukey ($\alpha=0.05$) with Statistical Analysis System Software (SAS, 2011).

Results

Physical properties of the substrates. The Table 1 shows the values obtained for the physical characterization of the substrates. The ProMix® substrate is observed to have a higher percentage of water retained in the micro-pores, that is, the water hardly available (ADD) is higher by more than four times that of both particle sizes. This trend was observed for water retention properties (AR), easily available water (AFD) and total porous space (EFA). In contrast, solid matter (MS) and aeration capacity (CA) were higher in the volcanic rocks than in the organic substrate.

Chemical properties of the substrates. The Table 2 shows the results of determination of chemical properties of the substrates. Volcanic rocks' pH was alkaline; while ProMix® is classified as acid. The electrical conductivity (EC) is the indicator of the total salt concentration in a substrate and according to Ansorena (1994) it should not exceed 3.5 dS m⁻¹. In this study, the values for the volcanic rocks (0.15 dS m⁻¹) and ProMix® (1.5 dS m⁻¹) are considered suitable.

N content was low in both materials, while the P concentration was 0.31 and 5.4 mg kg⁻¹ for volcanic rocks and ProMix®, respectively. Ca and Mg were higher in the volcanic rocks observed with 22 and 10 mol m⁻³. Na was not detected in the volcanic rock, while in ProMix® this element in soluble form does not lead to increased EC to a value higher than 2 dS m⁻¹, a critical value for most crop species.

El contenido de N fue bajo en ambos materiales, mientras que la concentración de P fue de 0.31 y 5.4 mg kg⁻¹, para Tezontle y ProMix[®], respectivamente. El Ca y Mg más alto se observó en el tezontle con 22 y 10 mol m⁻³. El elemento Na no fue detectado en el tezontle, mientras que en ProMix[®] este elemento en forma soluble no conduce al incremento de la CE a un valor mayor a 2 dS m⁻¹, valor crítico para la mayoría de especies cultivadas.

Inicio de brotación y altura de planta. El tiempo de emergencia del primer brote fue significativamente mayor en el sustrato consistente en tezontle con 5 mm de diámetro, con valores promedio de casi 21 días. Por el contrario, en el tezontle de 3 mm y en el ProMix[®] fue de alrededor de 16 días (Figura 1A). La altura de la planta al momento del corte de tallos florales fue diferente estadísticamente entre tratamientos. Las plantas más altas se registraron en el sustrato ProMix[®], con valores promedio de 35 cm. En el tezontle de 5 mm, además de que se retrasó la emergencia, se redujo significativamente el crecimiento, con una altura promedio que representa 30.3% de la altura registrada con en el sustrato ProMix[®]. Asimismo, en plantas que crecieron en tezontle de 5 mm no existió formación de botón floral (Figura 1B).

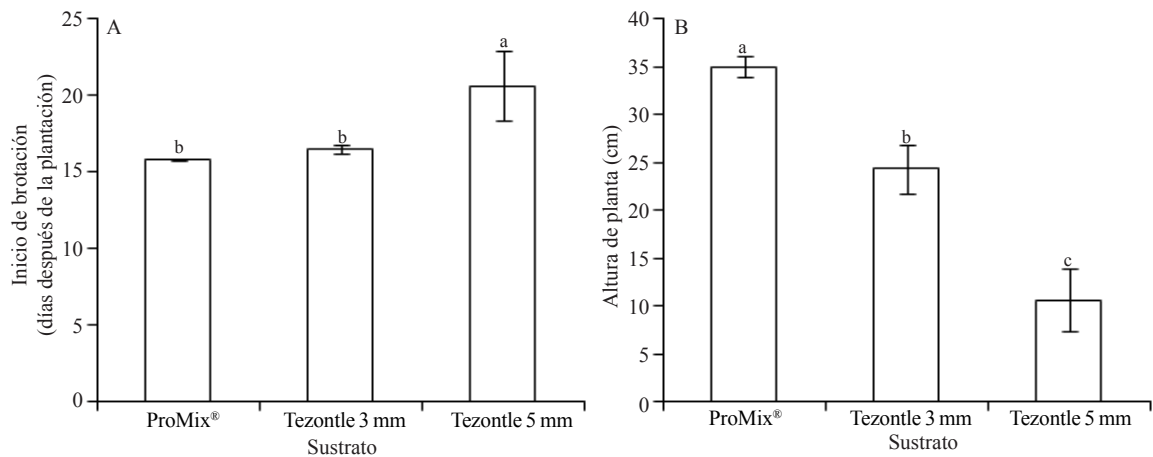


Figura 1. Inicio de brotación (A) y altura de planta al corte (59 días después de la plantación) (B) en tulipán (*Tulipa gesneriana*) cv. Ille de France establecido en diferentes sustratos. Medias ± DE con letras distintas en cada subfigura indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$) entre tratamientos.

Figure 1. Sprouting start (A) and plant height at cut (59 days after planting) (B) in tulip (*Tulipa gesneriana*) cv. Ille de France set to different substrates. Mean ± SD with different letters in each subfigure indicate statistically significant differences (Tukey, $p \leq 0.05$) between treatments.

En la Figura 2 se muestra el aspecto de partea aérea y de los bulbos, previo al corte de tallos florales. Se destaca la diferencia en la formación de raíces en los bulbos.

Cuadro 2. Propiedades químicas de tres sustratos utilizados en el cultivo de tulipán (*Tulipa gesneriana* L.).

Table 2. Chemical properties of three substrates used in cultivating tulip (*Tulipa gesneriana* L.).

Parámetro	Tezontle	ProMix [®]
pH	7.35	4.71
CE (dS m ⁻¹)	0.15	1.46
N (%)	0.61	0.82
P (mg kg ⁻¹)	0.31	5.36
K (mg kg ⁻¹)	2.74	8.2
Ca (mol m ⁻³)	22.0	13.47
Mg (mol m ⁻³)	10.09	8.09
Na (mg L ⁻¹)	Nd	14.82

CE= conductividad eléctrica; N= nitrógeno; P= fósforo; K= potasio; Ca= calcio; Mg= magnesio y Na= sodio, nd= no detectado. Los resultados son el promedio de tres repeticiones.

Sprouting start and plant height. Emergence time of the first sprout was significantly higher in the substrate consisting with 5 mm volcanic rocks, with average values of about 21 days. On the other hand, in 3 mm volcanic rocks and ProMix[®] was about 16 days (Figure 1A). The height of the plant at the time of flowering stems cut was statistically different between the treatments. The plants were highest in the ProMix[®] substrate, with average values of 35 cm. In 5 mm volcanic rocks, plus it was delayed emergence, growth was

significantly reduced, with an average height representing 30.3% of the registered height in ProMix[®] substrate. Also, in plants grown in 5 mm volcanic rocks did not exist flower's bud formation (Figure 1B).

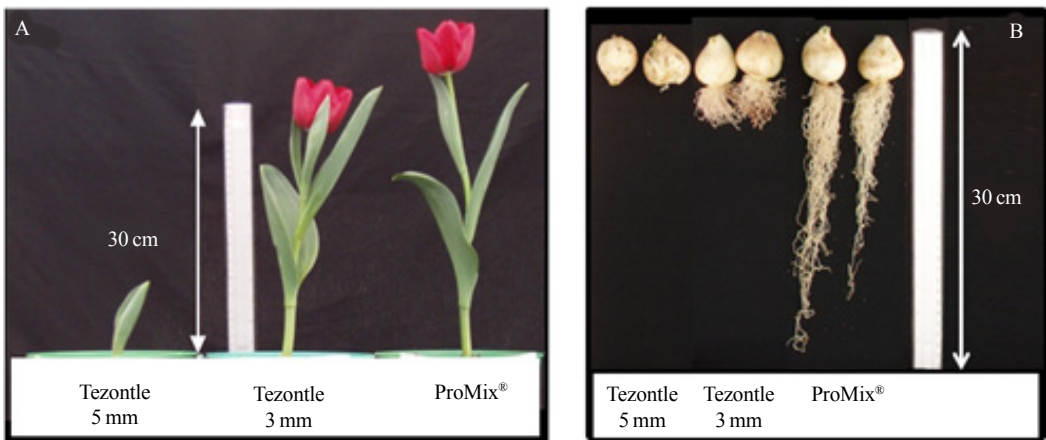


Figura 2. Parte aérea (A) y bulbos (B) al corte (59 días después de la plantación) en tulipán (*Tulipa gesneriana* L.) cv. Ille de France establecido en diferentes sustratos.
Figure 2. Aerial parts (A) and bulbs (B) at cutting (59 days after planting) in tulip (*Tulipa gesneriana* L.) cv. Ille de France set to different substrates.

Concentración de macronutrientes en hoja

La concentraciones foliares de N y P fueron estadísticamente similares entre tratamientos (Cuadro 3). Los valores de concentración de N oscilaron de 33.5 a 37.2 g kg⁻¹ de materia seca. Los valores de concentración foliar registrados de P variaron de 3.91 a 4.81 g kg⁻¹ de materia seca.

Cuadro 3. Concentración de N y P en hojas de plantas de tulipán (*Tulipa gesneriana*) cv. Ille de France establecidas en diferentes sustratos.

Table 3. N and P concentration in leaves of tulip (*Tulipa gesneriana*) cv. Ille de France established in different substrates.

Sustrato	N g kg ⁻¹ de materia seca	P
ProMix®	33.50 ± 1.13a	4.80 ± 0.08 a
Tezontle 3 mm	34.67 ± 1.85 a ^z	3.91 ± 0.07 a
Tezontle 5 mm	37.20 ± 1.86 a	4.81 ± 0.39 a
DMS	8.28	1.18

^zMedias ± DE con letras distintas en cada columna indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, *p* ≤ 0.05) entre tratamientos.

Las concentraciones foliares de K, Ca y Mg se presentan en la Figura 3. La mayor concentración de los tres macronutrientes fue registrada en hojas de plantas establecidas en ProMix®, valores diferentes estadísticamente a los resultados obtenidos en plantas desarrolladas en tezontle con ambos tamaños de partícula.

In the Figure 2 it is shown the appearance of the aerial part and the bulbs before the cutting of the flower stems. The difference in the formation of roots on the bulbs it's noteworthy.

Leaf macronutrient concentration

The foliar concentrations of N and P were statistically similar between treatments (Table 3). N concentration values ranged from 33.5 to 37.2 g kg⁻¹ of dry matter. Foliar concentration values recorded ranged from 3.91 P to 4.81 g kg⁻¹ of dry matter.

Foliar concentrations of K, Ca and Mg are shown in Figure 3. The highest concentration of all three macronutrients was recorded in leaves established with ProMix®, values statistically different results obtained with plants developed in volcanic rocks of both particle sizes.

Discussion

Physical properties of the substrates are considered even more important than the chemicals, that is, if the physical structure of the substrate is inadequate, it can hardly be improved once the crop is established (Ansorena 1994; Cabrera, 1999; Pastor 1999). The most important physical properties are those related to the pores, *i.e.*, the grain size, porosity and the distribution of solid and gaseous

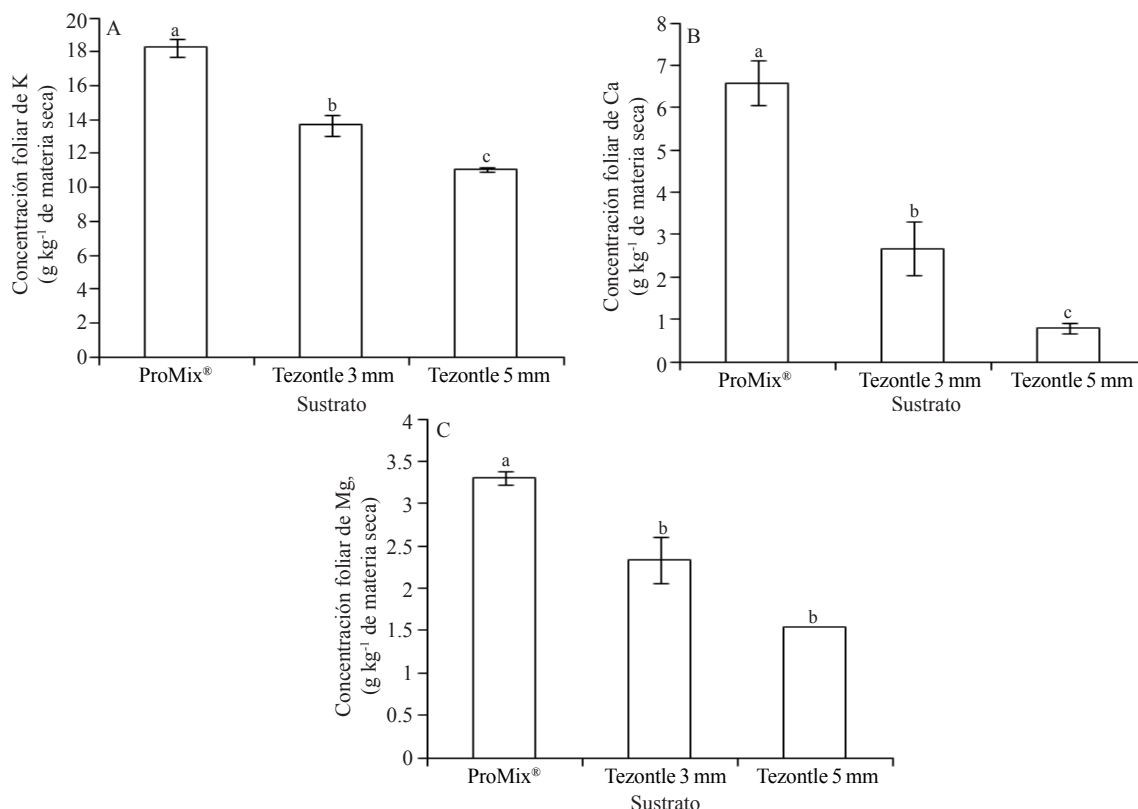


Figura 3. Concentración foliar de K (A), Ca (B) y Mg (C) en tulipán (*Tulipa gesneriana*) cv. Ille de France establecido en diferentes sustratos. Medias $\pm$ DE con letras distintas en cada subfigura indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$) entre tratamientos.

Figure 3. Foliar K (A), Ca (B) and Mg (C) concentration on tulips (*Tulipa gesneriana*) cv. Ille de France set in different substrates. Mean $\pm$ SD with different letters in each subfigure indicate statistically significant differences (Tukey, $p \leq 0.05$) between treatments.

Discusión

Las propiedades físicas de los sustratos son consideradas de mayor importancia que las químicas; esto es, si la estructura física del sustrato es inadecuada, difícilmente podrá mejorarse una vez que se ha establecido el cultivo (Ansorena, 1994; Cabrera, 1999; Pastor, 1999). Las propiedades físicas más importantes son aquellas relacionadas con los poros; es decir, la granulometría, la porosidad y el reparto de las fases sólida y gaseosa (Peñuelas y Ocaño, 2000). El espacio poroso total (EPT) en los sustratos conteniendo tezontle en esta investigación son considerados inadecuados (Cuadro 1). Cabrera (1999), menciona que un sustrato debe tener por lo menos una porosidad total 70%, y que valores inferiores pueden generar problemas como asfixia de raíces por la deficiente disponibilidad de aire o por el exceso de agua dentro del sustrato. El sustrato ProMix® es adecuado desde el punto de vista de porosidad total (Cuadro 1).

phases (Peñuelas and Ocaño, 2000). The total porous space (EFA) containing substrates in this investigation are considered inadequate (Table 1). Cabrera (1999) mentions that a substrate must be of at least 70% total porosity and lower values may cause problems as root asphyxia by poor availability of air or excess water into the substrate. The ProMix® substrate is suitable from the point of view of total porosity (Table 1).

With respect to water easily available (AFD) it's shown that only ProMix® had optimum values (20-30%) according to Zapata *et al.* (2005). In contrast, in both particle sizes, AFD was less than 3%. This low water holding capacity is due to the high content of coarse fraction. A substrate with AFD percentage less than 15% must be watered more frequently (De Boodt *et al.*, 1974), otherwise water shortage might occur. The reserve water values (AR) were also lower in the volcanic rock of both particle sizes, indicating the existence of water stress risk if you run out AFD and therefore the risks should be more frequent.

Con respecto al agua fácilmente disponible (AFD) se puede observar que solo ProMix® presentó valores óptimos (20-30%) de acuerdo con Zapata *et al.* (2005). En contraste, en el tezontle de ambas granulometrías el AFD fue menor al 3%. Esta baja capacidad de retención de agua se debe al alto contenido de fracción gruesa. Un sustrato con porcentaje de AFD inferior a 15% debe regarse con más frecuencia (De Boodt *et al.*, 1974), de lo contrario pudiera producirse déficit hídrico en las plantas. Los valores de agua de reserva (AR) más baja se registraron también en el tezontle de ambas granulometrías, lo cual indica la existencia de riesgo de estrés hídrico si se agota el AFD y por lo tanto los riegos deben ser más frecuentes.

El retraso de cinco días en el inicio de brotación en el sustrato tezontle de 5 mm (Figura 1A), en comparación con los otros dos sustratos evaluados, se relaciona de manera directa con la altura de planta (Figuras 1B y 2A) y con la formación de raíces en los bulbos previo al corte (Figura 2B). A pesar de que las propiedades físicas y químicas en los sustratos consistentes en tezontle fueron muy similares, la respuesta agronómica del tulipán fue contrastante entre ellos. Probablemente, el tezontle con 5 mm fue el sustrato que ocasionó mayor déficit hídrico en la planta, lo que pudo haber inhibido la formación de raíces y con ello la absorción de nutrimentos que permitiera un sano crecimiento y desarrollo de las plantas. Esto no se observó con el tezontle de menor diámetro de partícula evaluado (3 mm), a pesar de que también presentó bajos porcentajes de AFD.

El tulipán tiene raíces adventicias no ramificadas que se desarrollan a partir de una placa basal de bulbo y por lo general carecen de pelos radiculares, lo que resulta en un centenar de raíces fibrosas que se desarrollan con diámetros uniformes (Komiyama *et al.*, 2003). El sistema de raíces descrito se observó sólo en los sustratos tezontle de 3 mm y ProMix®, diferenciándose en la longitud de las raíces fibrosas que se desarrollaron, mismas que fueron más largas como se observa en la Figura 2B, en casi cuatro veces en éste último. Ésta respuesta de crecimiento radical positiva en el ProMix® puede ser atribuida al EPT que presenta, superior a 70%.

Dado los resultados obtenidos en esta investigación en las variables espacio poroso total (EPT), agua fácilmente disponible (AFD) y agua de reserva (AR) que se presentan en el Cuadro 1, el tezontle debe combinarse con otro sustrato para incrementar los porcentajes de las variables referidas. Es decir, el tezontle podría ser combinado con un sustrato orgánico para incrementar su capacidad de retención de humedad.

Five-day delay in the onset of sprouting in the substrate of 5 mm volcanic rocks (Figure 1A) compared to the other two substrates tested, is related directly to the plant height (Figures 1B and 2A) and the root formation in pre-cut bulbs (Figure 2B). Although the physical and chemical properties on substrates consisting of volcanic rocks were rather similar, tulip agronomic response was contrasting between them. Probably the 5 mm volcanic rocks caused an increased water deficit in the plant, which may have inhibited root formation and thus the absorption of nutrients to allow healthy growth and development of plants. This was not observed with smaller particle diameter (3 mm) evaluated, although they also showed lower percentages of AFD.

The tulip has unbranched adventitious roots that develop from a basal plate bulb and usually lack root hairs, resulting in hundreds of fibrous roots that develop with uniform diameters (Komiyama *et al.*, 2003). The root system described was observed only in substrates of 3 mm volcanic rocks and ProMix®, differing in the length of the fibrous roots developed, which were longer as shown in Figure 2B, in nearly four times. This radical positive growth response in ProMix® EPT can be attributed to having, higher than 70%.

Given the results of this research in the total porous space variables (EFA), easily available water (AFD) and water reserved (AR) is presented in Table 1, the volcanic rocks are combined with other substrate in order to increase the percentage of related variables. I.e. volcanic rocks could be combined with an organic substrate to increase its water holding capacity.

The chemical properties of the substrates characterized the transfer of materials between the soil and the soil solution, and usually if they are not suitable it can be corrected during the crop's growth. The pH value of the substrates with volcanic rocks can be considered suitable for the cultivation of tulip, considering that De Hertogh *et al.* (1983) it should be between 6 and 7 for this species to grow (Table 2).

The substrates ProMix® and volcanic rocks had an electrical conductivity (EC) deemed optimal for a substrate (0.7 to 3.5 dS m⁻¹) and the development of tulips (1 to 1.5 dS m⁻¹) (De Hertogh *et al.*, Ansorena 1983 and 1994). Higher values of CE in some species may lead to "physiological drought", which occurs when high concentrations of soluble salts in the medium inhibit the absorption of water by the roots (Dole and Wilkins, 1999). Similarly, the level of soluble Na in ProMix® is not a problem for the development of tulips.

Las propiedades químicas de los sustratos caracterizan la transferencia de materiales entre el sustrato y la solución del suelo, y generalmente si no son las adecuadas pueden corregirse durante el crecimiento del cultivo. El valor de pH de los sustratos con tezontle puede considerarse como adecuado para el crecimiento del tulipán, ya que según De Hertogh *et al.* (1983) éste debe oscilar entre 6 y 7 para esta especie (Cuadro 2).

Los sustratos tezontle y ProMix® presentaron una conductividad eléctrica (CE) considerada como óptima para un sustrato (de 0.7 a 3.5 dS m⁻¹) y para el desarrollo de tulipán (entre 1 y 1.5 dS m⁻¹) (De Hertogh *et al.*, 1983 y Ansorena, 1994). Valores superiores de CE pueden conducir en algunas especies a la “sequía fisiológica”, que ocurre cuando altas concentraciones de sales solubles en el medio inhiben la absorción de agua por las raíces debido a la ósmosis competitiva (Dole y Wilkins, 1999). Asimismo, el nivel de Na soluble en ProMix® no representa un problema para el desarrollo del tulipán.

Si bien el tezontle, es considerado un material inerte desde el punto de vista químico (Bastida, 1999); éste tuvo una mayor concentración de Ca y Mg que el ProMix®; mientras que la concentración de N fue superior en éste último. El sodio soluble fue alto en ProMix®, como se reporta para sustratos con componentes orgánicos (Heiskanen, 1995); no obstante no afectó el crecimiento de tulipán. La altura y desarrollo de raíces (Figura 2) fueron mayores cuando las concentraciones de N, P y K fueron mayores en el sustrato (Cuadro 2).

García *et al.* (2001), menciona que los sustratos químicamente activos además de servir de soporte a la planta, actúan como depósito de nutrimentos adicionados mediante la fertilización, almacenándolos o cediéndolos según las exigencias de la planta. A pesar de lo anterior, las concentraciones foliares de N y P no fueron estadísticamente diferentes (Cuadro 3).

Aunque en la literatura no se encuentran reportes de rangos de suficiencia nutrimental para tulipán, existen algunos valores que pueden ser tomados como referencia. Por ejemplo, en el caso de concentración de N, Artacho-Vargas y Pinochet-Tejos (2008) reportan valores entre 30.8 y 35.1 g kg⁻¹ de materia seca en hojas de tulipán variedad Negrita en fase de floración (126 ddp) tratadas con dosis de 0 a 200 kg N ha⁻¹; sin que exista relación positiva entre la dosis de N y la concentración foliar de este elemento. Rodríguez-Mendoza *et al.* (2011) reportan valores de concentración

Even though volcanic rocks are considered inert from the chemical point of view (Bastida, 1999), this had a higher concentration of Ca and Mg than ProMi®, while the N concentration was higher in the latter one. The soluble sodium was high in ProMix®, as reported for substrates with organic components (Heiskanen, 1995); however, it did not affect the growth of tulips. Height and root development (Figure 2) were higher when the concentration of N, P and K were higher in the substrate (Table 2).

García *et al.* (2001) mentioned that, the addition of chemically active substrates provide support for the plant, they act as a reservoir of nutrients added through fertilization, loaning or storing them according to the requirements of the plant. Despite of this, foliar concentrations of N and P were not statistically different (Table 3).

Although in the literature no reports are found regarding the nutritional sufficiency ranges for tulips, there are some values that can be taken as reference. For example, in the case of concentration of N, Artacho-Vargas and Pinochet-Tejos (2008) reported values between 30.8 and 35.1 g kg⁻¹ of dry matter in Negrita tulip variety leaves of flowering stage (126 ddp) treated with doses of 0-200 kg N ha⁻¹, without any positive relationship between the dose of N and the foliar concentration of this element. Rodríguez-Mendoza *et al.* (2011) reported values of foliar concentration of 25.5 g kg⁻¹ dry matter in cv. Golden Apeldoorn, when tulip plants are irrigated with only water, 37 g kg⁻¹ of dry matter when irrigated with Steiner solution at 100%. The values of foliar N concentration in this research match those authors, varying in the range of 33.5 to 37.5 g kg⁻¹ of dry matter (Table 3).

For P, the foliar concentrations obtained in this study ranged between 3.91 and 4.80 g kg⁻¹ of dry matter, similar to those reported by Rodríguez-Mendoza *et al.* (2011) in tulip cv. Golden Apeldoorn: 3.15 and 3.99 g kg⁻¹ of dry matter to plants treated with water and Steiner nutrient solution at 100%, respectively.

Although the concentration of N and P in leaves of plants grown in volcanic rock of 5 mm was not statistically different from those recorded in the two remaining substrates, it is important to consider that in the 5 mm, there was no proper growth of the plant or flower bud formation, so that in these plants, foliar concentrations of N and P have an opposite phenomenon to the "dilution effect", called "concentration effect".

foliar de N de 25.5 g kg⁻¹ de materia seca, en el cv. Golden Apeldoorn, cuando las plantas de tulipán son irrigadas sólo con agua y de 37 g kg⁻¹ de materia seca cuando se irrigaron con solución Steiner al 100%. Los valores de concentración foliar de N en la investigación coinciden con los de éstos autores, oscilando dentro del intervalo de 33.5 a 37.5 g kg⁻¹ de materia seca (Cuadro 3).

En el caso de P, las concentraciones foliares obtenidas en esta investigación oscilaron entre 3.91 y 4.80 g kg⁻¹ de materia seca; similares a los reportados por Rodríguez-Mendoza *et al.* (2011) en tulipán cv. Golden Apeldoorn: 3.15 y 3.99 g kg⁻¹ de materia seca para plantas tratadas con agua y con solución nutritiva de Steiner al 100%, respectivamente.

Si bien, la concentración de N y P en hojas de plantas desarrolladas en tezontle de 5 mm no fue estadísticamente diferente a las registradas en los dos sustratos restantes, es importante considerar que en el tezontle de 5 mm no hubo crecimiento adecuado de la planta ni formación de botón floral; por lo que, en éstas plantas, las concentraciones foliares de N y P presentan un fenómeno contrario al “efecto dilución”, denominado “efecto de concentración”.

Nelson y Niedziela (1998a) reportan una concentración máxima de Ca en vástago de tulipán de 2.75, 3.55 y 2.27 g kg⁻¹ de materia seca en los cultivares Oscar, Paul Richter y Abra, respectivamente cuando éstos son tratados con 5 mM de Ca (NO₃)₂ y se desarrollan en un intervalo de temperatura entre 18 y 21 °C. La concentración de 5 mM de Ca (NO₃)₂ previene todos los síntomas de deficiencia de Ca en producción forzada de tulipán a temperaturas menores a 20 °C (Nelson y Niedziela, 1998b). Tomando como referencia los valores de concentración de Ca reportados por Nelson y Niedziela (1998a), es posible afirmar que en la presente investigación sólo las hojas de plantas establecidas en tezontle de 5 mm tuvieron una concentración deficiente de Ca en hoja (0.80 g kg⁻¹ de materia seca). Por el contrario, la concentración foliar de Ca registrada en plantas que crecieron en PeatMoss[®] resulta excesiva (6.59 g kg⁻¹ de materia seca). Asimismo, sólo las hojas de plantas establecidas en tezontle de 3 mm presentan un valor de concentración de Ca (2.68 g kg⁻¹ de materia seca) comparable a éstos (Figura 3B).

La concentración foliar de Mg fue estadísticamente diferente entre los tratamientos con tezontle y ProMix[®]; siendo en éste último de 3.3 g kg⁻¹ de materia seca (Figura 3C); valores superiores a los reportados en el cv. Golden Apeldoorn de tulipán por Rodríguez-Mendoza *et al.* (2011) cuando las

Nelson and Niedziela (1998a) reported a maximum concentration of Ca in tulip stem 2.75, 3.55 and 2.27 g kg⁻¹ of dry matter in cultivars Oscar, Paul Richter and Abra, respectively, when they are treated with 5 mM Ca (NO₃)₂ and developed in a temperature range between 18 and 21 °C. The concentration of 5 mM Ca (NO₃)₂ prevents all symptoms of Ca deficiency in tulip forced production at temperatures below 20 °C (Nelson and Niedziela, 1998b). Taking as reference the Ca concentration values reported by Nelson and Niedziela (1998a), we can conclude that in the present research, only the leaves of plants established in 5 mm volcanic rocks had a rather poor concentration of Ca in the leaves (0.80 g kg⁻¹ dry matter). On the other hand, the concentration of Ca registered foliar plants grown in peatmoss[®] is excessive (6.59 g kg⁻¹ of dry matter). Also, only the leaves of plants established in 3 mm have a concentration value of Ca (2.68 g kg⁻¹ of dry matter) comparable to these (Figure 3B).

Foliar Mg concentration was statistically different between the treatments with volcanic rocks and ProMix[®]; being in the latter of 3.3 g kg⁻¹ dry matter (Figure 3C), with values higher than those reported in Tulip cv. Golden Apeldoorn by Rodríguez-Mendoza *et al.* (2011) when the plants were treated with nutrient solution Steiner at 100% (2.65 g kg⁻¹ dry matter). On the other hand, in substrates with volcanic rocks, the foliar concentration values registered for Mg (2.34 and 1.55 g kg⁻¹ of dry matter particle 3 and 5 mm, respectively) are equal and below respectively, the value reported by Rodríguez-Mendoza *et al.* (2011) in tulip plants cv. Golden Apeldoorn irrigated with tap water (2.33 g kg⁻¹ dry matter), so that we can classify the last two results as deficient, in the present research.

Conclusions

We concluded that, the particle diameter of the volcanic rocks influence the growth and nutrient concentrations in leaves. Specifically, the 5 mm particle size evaluated caused delay in sprouting and reduced plant height. The same substrate promotes lower concentrations of K, Ca and Mg in comparison to ProMix[®] and 3 mm. volcanic rocks. The main problem of the volcanic rock used in the production of tulip, were their physical properties, which lead them to water stress in plants. However, the results obtained allow concluding that, 3 mm volcanic

plantas fueron tratadas con solución nutritiva de Steiner al 100% (2.65 g kg⁻¹ de materia seca). Por el contrario, en los sustratos con tezontle los valores de concentración foliar de Mg registrados (2.34 y 1.55 g kg⁻¹ de materia seca con partícula de 3 y 5 mm, respectivamente), son iguales e inferiores respectivamente, al valor reportado por Rodríguez-Mendoza *et al.* (2011) en plantas de tulipán cv. Golden Apeldoorn regadas con agua corriente (2.33 g kg⁻¹ de materia seca); por lo que podemos clasificar los dos últimos resultados como deficientes, en la presente investigación.

Conclusiones

De esta investigación se concluye que el diámetro de la partícula de tezontle influyó las variables de crecimiento y las concentraciones de nutrimentos en hojas. En particular, el tamaño 5 mm de partícula evaluado ocasionó retraso en la brotación y menor altura de plantas. El mismo sustrato promueve las menores concentraciones de K, Ca y Mg en hoja en comparación con ProMix® y tezontle 3 mm. El principal problema del tezontle empleado en la producción de tulipán, fueron sus propiedades físicas, mismas que conducen a estrés hídrico en las plantas. Empero, los resultados obtenidos, permiten concluir que el tezontle de 3 mm es un sustrato viable en la producción de tulipán, si la frecuencia de riegos se incrementa y los volúmenes de riego son disminuidos; sin modificar las cantidades totales de agua y fertilizantes utilizados.

Agradecimiento

Los autores(as) agradecen a la Línea Prioritaria de Investigación 4 Agronegocios, Agroecoturismo y Arquitectura del Paisaje del Colegio de Postgraduados, por los apoyos y facilidades brindadas para la realización del presente estudio.

Literatura citada

Alcántar, G. G. y Sandoval, M. V. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación especial. Núm. 10. SMCS. Chapingo, Texcoco, Estado de México. 150 p.

rocks is a viable substrate in the production of tulip, if the frequency of watering is increased and irrigation volumes are decreased, without changing the total amounts of water and fertilizers used.

End of the English version



- Calvo-Alvarado, J.; Arias, A. D.; Jiménez, R. C. y Solano, J. C. 2008. Efecto de cinco sustratos en el contenido foliar de nutrientes y crecimiento inicial de tres especies forestales empleadas en Mesoamérica. Kurú: Revista Forestal 5(14):1-15.
- Ansorena, M. J. 1994. Sustratos propiedades y caracterización. Ediciones Mundiprensa. 172 p.
- Artacho-Vargas, P. y Pinochet-Tejos, D. 2008. Producción de materia seca y absorción de nitrógeno del cultivo de tulipán (*Tulipa gesneriana* L.). Agrociencia 42:37-45.
- Bastida, A. 1999. El medio de cultivo de las plantas. Sustratos para hidroponía y producción de plantas ornamentales. Serie de Publicaciones AGRIBOT Núm. 4 Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Preparatoria Agrícola. Chapingo, Texcoco, Estado de México. 72 p.
- Bremner, J. M. 1965. Total nitrogen. In: methods of soil analysis. Part 2. Agronomy 9. Black, C. A. (ed). Ame. Society Agron. Madison, Wisconsin, USA. 1149-1178 pp.
- Bunt, A. C. 1988. Media and mixes for container-grown plants. Unwin Hyman Ltd., Great Britain. 309 p.
- Cabrera, R. I. 1995. Fundamentals of container media management, Part. 1. Physical properties. Rutgers Cooperative Extension Factsheet No. 950. 4 p.
- Cabrera, R. I. 1997. Fundamentals of container media management. Part 2. Measuring physical properties. Rutgers Cooperative Extension Factsheet No. 881. 2 p.
- Cabrera, R. I. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. Revista Chapingo. Serie Horticultura 5(1):5-12.
- Callejas, R. B.; Castillo, G. A. M.; Colinas, L. M.; González, C. M.; Pineda, P. J. y Valdez, A. L. A. 2009. Sustratos y hongos micorrízicos arbusculares en la producción de nochebuena. Revista Chapingo Serie Horticultura 15(1):57-66.
- Cruz, C. E.; Sandoval, V. M.; Volke, H. V. H.; Can, Ch. A. y Sánchez, E. J. 2012. Efecto de mezclas de sustratos y concentración de la solución nutritiva en el crecimiento y rendimiento de tomate. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 3:1361-1373.
- De Boodt, M.; Verdonck, O. and Cappaert, J. 1974. Determination and study of the water availability of substrates of ornamental plant growing. Acta Hort. 35:89-94
- De Hertogh, A. A.; Aung, L. H. and Benschop, M. 1983. The tulip: botany, usage, growth, and development. Horticultural Reviews 5:45-125.
- Dole, J. M. and Wilkins, H. T. 1999. Floriculture principles and species. Prentice Hall, Upper Saddle River, N. J. 613 p.
- Franciscangeli, N. y Zagabria, A. 2007. Almacenamiento en frío de los bulbos y uso de paclobutrazol para producir tulipán en maceta. Agriscientia 24(1):37-44.

- García, C. O.; Alcántar, G. G.; Cabrera, R. I.; Gavi, R. F. y Volke, H. V. 2001. Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. *Terra* 19:249-258.
- Gómez, M. F. C.; Trejo, T. L. I.; Velásquez H. M.; García, A. J. C. y Ruiz, B. A. 2011. Macronutrientes en petunias crecidas con distintas proporciones de composta en sustrato. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 3:399-413.
- Heiskanen, J. 1995. Physical properties of two-component growth media base on Sphagnum peat and their implications for plant-available water and aeration. *Plant Soil* 172:45-54.
- Komiyama, S.; Tanabe, S.; Murayama, A.; Ruamrungsri, S.; Ikarashi, T.; Ohtake, N.; Sueyoshi, K. and Ohya, T. 2003. Site of nitrogen accumulation in tulip (*Tulipa gesneriana* L.) roots during winter. *Soil Sci. Plant Nutrit.* 49(4):611-618.
- Krause, J. 1980. Evaluation of the suitability of high peat and pine bark substrate for forcing tulips. *Prace Instytutu Sadownictwa i Kwiaciarnictwa w Skierniewicach* B 5:95-101.
- Laskowska, A. and Sprzaczk, I. 2006. The usefulness of the selected medium for pot cultivation of forced tulips. *Zeszyty Problemowe Postepow Nauk Rolniczych* 510:371-323.
- Nelson, P. V. and Niedziela Jr. C. E. 1998a. Effect of ancymidol in combination with temperature regime, calcium nitrate, and cultivar selection on calcium deficiency symptoms during hydroponic forcing of tulip. *Scientia Horticulturae* 74:207-218.
- Nelson, P. V. and Niedziela Jr. C. E. 1998b. Effects of calcium source and temperature regime on calcium deficiency during hydroponic forcing of tulip. *Scientia Horticulturae* 73:137-149.
- Pastor, S. J. N. 1999. Utilización de sustratos en viveros. *Terra* 17(3):231-235.
- Peñuelas, R. J. L. y Ocaño, B. L. 2000. Cultivo de plantas forestales en contenedor. 2ª edición. Mundi Prensa. Madrid, España. 190 p.
- Plasmeijer, J. and Yanai, C. 2007. Cut flowers and ornamental plants: Market News Service. International Trade Centre. 9:1-25.
- Pineda, P. J.; Castillo, G. M.; Morales, C.; Colinas, L. M. T.; Valdez, A. L. y Avitia, G. E. 2008. Efluentes y sustratos en el desarrollo de nochebuena. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 14(2):131-137.
- Ramírez, M. M.; Trejo-Téllez, L. I.; Gómez-Merino, F. C. y Sánchez-García, P. 2010. La relación K^+/Ca^{2+} de la solución nutritiva afecta el crecimiento y calidad postcosecha del tulipán. *Rev. Fitotec. Mex.* 33(2):149-156.
- Richards, L. A. 1973. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Ed. Limusa. México. 172 p.
- Rodríguez-Mendoza, M. N.; Osorio-Rosales, B.; Trejo-Téllez, L. I.; Arévalo-Galarza, M. L. y Castillo-González, A. M. 2011. Producción organomineral de tulipán (*Tulipa gesneriana* L.) para flor de corte. *Revista Chapingo. Serie Horticultura* 17(3):117-127.
- San Martín, H. C.; Ordaz, Ch. V. M.; Sánchez, G. P.; Colinas, L. M. T. y Borges, G. L. 2012. Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponia con diferentes granulometrías de tezontle. *Agrociencia* 46(3):243-254.
- Statistical Analysis System (SAS) Institute. 2011. SAS user's guide. Statistics. Version 9.3. SAS Inst., Cary, NC. quality, and elemental removal. *J. Environ. Qual.* 19:749-756.
- Steiner, A. and Winden H. 1970. Recipe for ferric salts of ethylenediaminetetra acetic acid. *Plant Physiol.* 46:862-863.
- Steiner, A. 1984. The universal nutrient solution. In: ISOSC proceedings 6th International Congress on Soilless Culture. The Netherlands. 633-649 pp.
- Tapia-Tapia, E. C. y Reyes-Chilpa, R. 2008. Productos forestales no maderables en México: Aspectos económicos para el desarrollo sustentable. *Madera y Bosques* 14(3):95-112.
- Vargas, T. P.; Castellanos, R. J. Z.; Muñoz-Ramos, J. J.; Sánchez, G. P.; Tijerina, Ch. L.; López, R. R. M.; Martínez, S. C. y Ojodeagua, A. J. L. 2008. Efecto del tamaño de partícula sobre algunas propiedades físicas del tezontle de Guanajuato, México. *Agric. Téc. Méx.* 34(3):323-331.
- Zapata, N.; Guerrero, F. y Polo, A. 2005. Evaluación de corteza de pino y residuos urbanos como componentes de sustratos de cultivo. *Agric. Téc. Méx.* 65:378-387.
- Zondag, G. 2012. Production of highly concentrated tuliposide from natural sources. In: technology transfer in leiden. Leiden University, The Netherlands. 7-8 pp.