

Lulo (*Solanum quitoense* Lamarck.) como nuevo elemento del paisaje en México: germinación y crecimiento en sustratos orgánicos*

Lulo (*Solanum quitoense* Lamarck.) as a new element of the landscape in Mexico: germination and growth on organic substrates

Fernando C. Gómez-Merino^{1§}, Libia I. Trejo-Téllez², J. Cruz García-Albarado¹ y Victorino Morales-Ramos¹

¹Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. Carretera Córdoba Veracruz km 348. Amatlán de los Reyes 94946, Veracruz. Tel. +52 (271)7166055 (fernandg@colpos.mx), (jeruz@colpos.mx), (vicmor@colpos.mx). ²Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5 Montecillo 56230, Estado de México. Tel. +52(595)9520298 (llibia@colpos.mx). [§]Autor para correspondencia: fernandg@colpos.mx.

Resumen

Se evaluaron tres diferentes combinaciones de composta de cachaza y turba (T1, 40:60; T2, 60:40; T3, 80:20, correspondientes a relaciones turba:composta de 1.50, 0.66 y 0.25) en la germinación de semillas y el crecimiento de plántulas de lulo (*Solanum quitoense* Lamarck.), especie que tiene potencial como elemento del paisaje en agroecosistemas de cafetales de México. El experimento La investigación se realizó en condiciones de invernadero con mallasombra durante los meses de octubre y noviembre de 2012 a 650 msnm, 18° 50" latitud norte 96° 51" longitud oeste, 18.4 °C de temperatura media anual y 78% de HR. El diseño experimental fue completamente al azar con cuatro réplicas. La comparación de medias se hizo por la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). El mayor porcentaje de germinación de semillas y el mayor desarrollo de las raíces se observó en el tratamiento T3 (80% de composta; relación turba: composta de 0.25), aunque en este tratamiento las plantas también registraron menor altura, diámetro de tallo, tamaño de hojas y unidades SPAD. Los valores promedio mayores en las variables altura de planta, diámetro de tallo, largo y ancho de hojas, se registraron en los tratamientos T1 y T2 ($p \leq 0.05$). Las semillas de lulo pueden germinar y producir plántulas sanas en las condiciones experimentales expuestas, en relaciones turba:composta entre 1.50 y 0.66, que corresponden a 40 y

Abstract

We evaluated three different combinations of cachasa compost and peat (T1 40:60 T2 60:40; T3, 80:20, corresponding to relations peat: compost of 1.50, 0.66 and 0.25) on seed germination and seedling growth of lulo (*Solanum quitoense* Lamarck.), a species that has potential as a landscape element in coffee agroecosystems in Mexico. The research was conducted in the greenhouse with shade cloth during the months of October and November 2012 at an elevation of 650 masl, at 18° 50" north latitude and 96° 51" W, in a place with 18.4 °C annual average temperature and 78% Relative Humidity. The experimental design was completely randomized with four replications. Comparison of means was done by Tukey test ($p \leq 0.05$). The highest percentage of seed germination and increased root development was observed in the treatment T3 (80% compost; relationship peat: compost of 0.25), although this treatment also recorded lower plant height, stem diameter, size leaves and SPAD units. Higher average values in plant height, stem diameter, length and width of leaves were recorded in T1 and T2 ($p \leq 0.05$). Lulo seeds can germinate and produce healthy seedlings exposed to experimental conditions in relations peat: compost between 1.50 and 0.66, corresponding to 40 and 60% compost in the

* Recibido: diciembre de 2012
Aceptado: abril de 2013

60d% de composta en el sustrato, en tanto que la relación turba:composta de 0.25 aumenta la germinación pero produce plántulas de menor calidad para el trasplante.

Palabras clave: Solanaceae, agroecosistemas, frutas andinas, composta, turba.

Introducción

El lulo (*Solanum quiroense* Lamarck.) es originario de Los Andes, cuyo centro primario de diversidad y variabilidad genética se ubica en Colombia y Ecuador, siendo además los principales países productores, aun cuando su distribución involucra áreas desde el sur de México hasta Perú y el norte de Chile (Bernal *et al.*, 1996; Heiser, 2000). La especie crece entre 1 000 y 2 500 msnm en su mayoría intercalada con café (*Coffea arabica*) y debido al valor nutritivo de su fruto, propiedades diuréticas y tonificantes, su comercialización actual registra expansión internacional (Muñoz-Belalcázar, 2011).

Pese al crecimiento en la demanda, existe poca investigación sobre los sistemas de producción (Cruz *et al.*, 2007) y en México su cultivo y generación de paquetes tecnológicos son prácticamente nulos. Ésta es una especie promisoría para la reconversión de agroecosistemas cafetaleros que están dando un viraje hacia los servicios ambientales, ya que puede brindar ventajas al paisaje desde perspectivas ecoturísticas hasta acciones de conservación del suelo, agua de lluvia y captura de carbono, además de que este fruto ofrece materia prima para la industria alimenticia en la elaboración de jugos y compuestos activos para la industria farmacológica y nutracéutica, por mencionar solo algunos.

Por estas razones, se requiere de realizar investigaciones profundas sobre germinación, crecimiento y adaptación de esta especie a diferentes ecosistemas y latitudes.

En cuanto a germinación de semillas, Quinchia y Gómez-García (2006) indican que cada fruto produce alrededor de 1 000 semillas que germinan entre 15 y 20 días después de la siembra. Una vez germinadas, las plántulas deben permanecer en los semilleros por aproximadamente 30 días; después de este tiempo, se deben trasplantar a bolsas de polietileno de media libra (454 g), previo a su establecimiento definitivo en campo.

substrate, while the relationship peat: compost of 0.25 increases seedling germination but produces lower quality for transplantation.

Key words: Solanaceae, agroecosystems, andean fruits, compost, peat.

Introduction

Lulo (*Solanum quitoense* Lamarck.) is native from The Andes, the primary center of diversity and genetic variability is located in Colombia and Ecuador, which are also the main producing countries, even if their distribution involves areas from southern Mexico to Peru and northern Chile (Bernal *et al.*, 1996; Heiser, 2000). The species grows between 1 000 and 2 500 masl mostly intercropped with coffee (*Coffea arabica*) and due to the nutritional value of its fruit, diuretic and tonic properties, Its current marketing shows international expansion (Muñoz-Belalcázar, 2011).

Despite the growth in its demand, there is little research about production systems (Cruz *et al.*, 2007) and in Mexico cultivation and generation of technological packages are practically nonexistent. This is a promising species for the re-conversion of coffee agroecosystems that are undergoing a shift towards environmental services, as it can provide landscape advantages from ecotourism perspectives until soil and rain water conservation and also carbon capture, beside this fruit provides raw material for the food industry in the production of juices and active compounds for pharmacological and nutraceutical industry, to name a few.

For these reasons, it is necessary to conduct extensive research on germination, growth and adaptation of this species to different ecosystems and latitudes.

About seed germination, Quinchia and Gómez-García (2006) indicate that each fruit produces about 1 000 seeds that germinate between 15 and 20 days after sowing. Once germinated, the seedlings should remain in the nursery for approximately 30 days, after this time, they should be transplanted to half pound polythene bags (227 g), prior to its final establishment in field.

Lulo plants require slightly acidic soil (pH 5.5 to 6.5) and thrive best at average temperatures of 18 °C, rainfall between 1500 and 2000 mm per year, relative humidity above 80%

Las plantas de lulo requieren suelos con pH ligeramente ácido (entre 5.5 y 6.5) y prosperan mejor a temperaturas medias de 18 °C, precipitaciones entre 1 500 y 2 000 mm anuales, humedad relativa superior a 80% y áreas con pendientes menores a 40%. Dependiendo de la fertilidad de los suelos, las necesidades de fertilizantes de este cultivo son de aproximadamente 150 kg ha⁻¹ de nitrógeno (N) y 180 kg ha⁻¹ de potasio (K) (Quinchia y Gómez-García, 2006).

El fruto de esta especie logra acumular hasta 35 mg por fruto de calcio (Ca) y 1.2 mg por fruto de hierro (Fe). En tejido foliar, dependiendo del sustrato usado, el contenido de N puede oscilar entre 3 y 5%; el de fósforo (P) entre 0.25 y 0.45%; el de K entre 2.90 y 3.55%; el de Ca entre 0.50 y 2.55%; y el de magnesio (Mg) entre 0.25 y 0.45 % (Flórez *et al.*, 2008a).

Ramírez y Duque (2010) y Flórez *et al.* (2008b) observaron que el rendimiento de lulo es estimulado tanto por la fertilización química como por la orgánica, lo cual es indicativo de que esta especie responde positivamente a materiales composteados tanto para la fase de plántula como de planta para trasplante a campo con énfasis en mezclas de sustratos orgánicos con materiales porosos.

Si bien el rendimiento potencial de frutos de lulo alcanza 30 t ha⁻¹, en los principales países productores no se rebasan las 8.5 t ha⁻¹, debido a limitantes de carácter técnico que tienen que ver con manejo agronómico tales como la selección de materiales mejorados, control de plagas y nutrición, y falta de soporte de procesos sistemáticos de investigación y conocimiento del funcionamiento fisiológico y ecofisiológico de la especie (Gómez *et al.*, 2005). En el ámbito de producción de plántulas, es necesario explorar sustratos orgánicos disponibles en las zonas potenciales de producción para evaluar su impacto y uso, como es el caso de la cachaza de la caña de azúcar en México.

Debido al interés comercial e industrial de esta, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de diferentes mezclas de cachaza y turba en la germinación de semillas y el crecimiento en almácigo de plantas de lulo (*Solanum quitoense* Lamarck.).

and areas with slopes less than 40%. Depending on soil fertility, fertilizer requirements of this crop are about 150 kg ha⁻¹ of nitrogen (N) and 180 kg ha⁻¹ of potassium (K) (Quinchia and Gómez-García, 2006).

The fruit of this species can accumulate up to 35 mg *per* fruit of calcium (Ca) and 1.2 mg *per* fruit of iron (Fe). In leaf tissue, depending on the substrate used, the content of N can vary between 3 and 5%, the phosphorus (P) between 0.25 and 0.45%, that of K between 2.90 and 3.55%, that of Ca from 0.50 to 2.55%, and magnesium (Mg) between 0.25 and 0.45% (Flórez *et al.*, 2008a).

Ramírez and Duke (2010) and Flórez *et al.* (2008b) found that Lulo yield is stimulated by both chemical and organic fertilizer, which is indicative that this species responds positively to composted materials both in seedling stage and plant for transplantation into field emphasizing mixtures of organic substrates with porous materials.

While the potential yield of Lulo fruit reaches 30 t ha⁻¹ in the main producing countries are not exceeded 8.5 t ha⁻¹, due to technical limitations that have to do with agricultural management such as material selection improved pest control and nutrition, and lack of support systematic research process and knowledge of the physiological and Eco-physiological functioning of the species (Gómez *et al.*, 2005). In the scope of seedling production, it is necessary to explore organic substrates in potential areas of production to assess its impact and use, like in the sugar cane chaff (“cachasa”) case in Mexico.

Due to commercial and industrial interest in this species, the objective of this research was to evaluate the effect of different mixtures of chaff and peat in seed germination and seedlings growth of Lulo plants (*Solanum quitoense* Lamarck.).

Materials and methods

Experiment location

The experiment was conducted during the months of October and November 2012 in a greenhouse rectangular with gable roof covered with shade net, which allows a

Materiales y métodos

Ubicación del experimento

El experimento se llevó a cabo durante los meses de octubre y noviembre de 2012 en un invernadero rectangular con techo de dos aguas cubierto con mallasombra, la cual permite una transmitancia luminosa de 70%. El invernadero se ubicó en el Campus Córdoba del Colegio de Postgraduados, a 650 msnm, 18° 50' latitud norte y 96° 51' longitud oeste. El clima de la zona es templado húmedo con lluvias en verano y temperatura media de 20 °C, máxima de 35 °C y mínima de 10 °C, con una precipitación media anual de 1 807 mm (Soto-Esparza, 1986).

Material biológico

Se utilizaron semillas de lulo (*Solanum quitoense* Lamarck.) colectadas de frutos fisiológicamente maduros. La pulpa extraída de los frutos fue fermentada por 48 h en vasos de 500 mL con agua corriente. La pulpa fermentada se lavó perfectamente con agua destilada y se extrajeron las semillas para ser secadas a la sombra (25 °C, 30% HR) por 48 h, previo a su siembra.

Diseño experimental y tratamientos

El diseño experimental usado fue completamente al azar con cuatro réplicas y 128 unidades experimentales para cada tratamiento. Las medias de los tratamientos probados fueron comparadas por la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Los tratamientos consistieron en la mezclas de turba y composta de cachaza en las siguientes proporciones: para el tratamiento uno (T1), fue 60:40% 4 (v/v), para el T2, 40:60% (v/v) y para el T3, 20:80% (v/v) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Mezcla de sustratos probados en la germinación de semillas y el crecimiento de plantas de lulo (*Solanum quitoense* Lamarck.) en almácigo.

Table 1. Mixed substrates tested during seed germination and plant growth of lulo (*Solanum quitoense* Lamarck.) in nursery.

Tratamiento	Porcentaje de Turba (v/v)	Porcentaje de Composta (v/v)	Relación Turba:Composta	Densidad aparente (g cm ⁻³)	pH
T1	60	40	1.50	0.21	6.36
T2	40	60	0.66	0.25	6.51
T3	20	80	0.25	0.30	6.64

luminous transmittance of 70%. The greenhouse was located in Córdoba *campus* of the Postgraduate College, at 650 masl, 18° 50' north latitude and 96° 51' west longitude. The local climate is temperate, humid, with summer rainfall and annual average temperature of 20 °C, maximum 35 °C and minimum 10 °C, with an annual average rainfall of 1 807 mm (Soto-Esparza, 1986).

Biologic material

It was used lulo (*Solanum quitoense* Lamarck.) seeds, extracted from physiologically ripe fruits. Pulp extracted from the fruits was fermented during 48 h in glasses with capacity of 500 ml with standard water. The fermented pulp was washed thoroughly with distilled water and extracted seeds were dried in the shade (25 °C, 30% RH) during 48 hours prior to planting.

Experimental design and treatments

The experimental design was completely randomized with four replications and 128 experimental units for each treatment. The evaluated treatment means were compared by Tukey test ($p \leq 0.05$). The treatments consisted of peat and chaff compost mixtures in the following proportions: for treatment one (T1) was 60:40% 4 (v/v), for T2, 40:60% (v/v) and for T3, 20:80% (v/v) (Table 1).

Establishment of the experiment

Dry seeds were sown in germination trays with 128 cavities (depositing one seed per well), which contained mixtures of substrates with different proportions of peat and compost (Table 1). The trays were kept with shade net irradiation allowing 70% of sunlight they were irrigated daily until the seedlings reached more than 5 cm in average sized.

Establecimiento del experimento

Las semillas secas fueron sembradas en charolas de germinación con 128 cavidades (depositando una semilla por cavidad), las cuales contenían mezclas de sustratos con diferentes proporciones de turba y composta (Cuadro 1). Las charolas fueron mantenidas con mallasombra que permitía irradiación 70% de luz solar, regadas diariamente hasta que las plántulas alcanzaron altura superior a 5 cm promedio.

Variables evaluadas

El porcentaje de germinación se midió en cada repetición, cuantificando el número de semillas germinadas entre el total de semillas sembradas (128) por charola multiplicado por 100. La altura de plantas se obtuvo utilizando una regla metálica, midiendo desde el ras del suelo hasta la altura máxima alcanzada por el vástago al momento del trasplante. El diámetro de tallo se midió con un vernier milimétrico digital (marca TMC modelo 234990, Hamburgo, Alemania) considerando el tallo medio de la planta antes de realizar el trasplante. El número y tamaño de hojas se cuantificó planta por planta; largo y ancho se registró en las dos hojas superiores más desarrolladas en cada planta antes de realizar el trasplante. Respecto a la biomasa de vástago, raíz y total, diez plantas cortadas al momento del trasplante (60 días después de la siembra) fueron lavadas y secadas en estufa de aire forzado (marca Riossa modelo HCF-125D) a 70 °C por 72 h y una vez que alcanzaron peso constante se pesaron las partes aérea (vástago) y raíz en balanza analítica (marca Ohaus, modelo Adventurer, Newark, EEUU). Las unidades SPAD se registraron con un equipo Minolta SPAD 502 (Osaka, Japón), como una cuantificación indirecta del contenido de clorofila y como un método no destructivo; se tomaron dos lecturas en la totalidad de las plantas en el almácigo por tratamiento.

Resultados y discusión

La combinación de los sustratos para la germinación tuvo efectos significativos sobre el porcentaje de germinación de semillas, así como en altura de planta, diámetro de tallo, longitud de raíz, número de hojas, ancho de hojas, largo de hojas, unidades SPAD y peso de la biomasa seca (Cuadro 2; Figura 1).

Evaluated variables

The germination percentage was measured in each repetition, quantifying the number of germinated seeds divided by total number of seeds sown (128) *per* tray multiplied by 100. The plant height was obtained using a metal ruler, measuring from the ground level up to the maximum height reached by the stem at the time of transplantation. Stem diameter was measured with a digital vernier millimeter (brand model TMC 234990, Hamburg, Germany) considering the middle of the plant stem before transplantation. The number and size of leaves was quantified in each plant, recording their width and long in the top two leaves more developed on each plant before transplantation. Regarding stem biomass, root and total, ten cut plants at transplanting date (60 days after sowing) were washed and dried in a forced air oven (model Riossa brand HCF-125D) at 70 °C during 72 h. Once they reached constant weight, their aerial parts (seedlings) and root were weighed by using an analytical balance (Ohaus brand, model Adventurer, Newark, USA). SPAD units were recorded with an equipment Minolta SPAD 502 (Osaka, Japan), as an indirect quantification of the chlorophyll content and as a nondestructive method, two readings were taken in all plants in the seedling per treatment.

Results and discussion

The combination of substrates for germination had significant effects on the percentage of seed germination and plant height, stem diameter, root length, number of leaves, leaf width, leaf length, SPAD units and also in the weight of dry biomass (Table 2, Figure 1).

The highest percentage of seed germination (89.1%) was obtained by adding 80% of compost to the substrate mixture (T3). The lower ratio peat: compost observed in T3 treatment increased the percentage of germination 10.4% compared to the other two treatments.

In tomato (*Solanum lycopersicum* Mill), Berrospe-Ochoa *et al.* (2012) tested seven different organic substrates, including chaff not composted, composted and vermicompostead, compared with the mixture of peat and agrolite (3:1, v/v) as witness, demonstrated no significant effect of the same on the response variable, achieving even a 93% germination, demonstrating that the substrates were suitable for this

Cuadro 2. Porcentaje de germinación, altura de planta y diámetro de tallo de lulo (*Solanum quitoense* Lamarck.) en respuesta a tres combinaciones de sustratos orgánicos.

Table 2. Germination percentage, plant height and stem diameter of lulo (*Solanum quitoense* Lamarck.) in response to three combinations of organic substrates.

Tratamiento	Porcentaje de germinación	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)
T1	75.3a	5.37a	20.0a
T2	79.9a	5.35a	20.1a
T3	89.1b	3.8b	16.4b

Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).

El mayor porcentaje de germinación de semillas (89.1%) se obtuvo al adicionar 80% de composta a la mezcla de sustrato (T3). La menor relación turba:composta observada en el tratamiento T3 aumentó el porcentaje de germinación 10.4% en comparación con los otros dos tratamientos.

En jitomate (*Solanum lycopersicum* Mill.), Berrospe-Ochoa *et al.* (2012) probaron siete diferentes sustratos orgánicos, incluyendo cachaza, sin compostear, composteados y vermicomposteados, en comparación con la mezcla de turba y agrolita (3:1; v/v) como testigo y demostró que no hay efectos significativos de los mismos sobre la variable respuesta, logrando incluso una germinación 93%, lo que demuestra que los sustratos fueron adecuados para esta especie. En el caso de la presente investigación con lulo, especie que pertenece al mismo género que el jitomate, se observa una estimulación de la germinación al incrementar el porcentaje de composta en la mezcla de sustrato. Esta diferencia puede ser atribuida al hecho de que el compostaje aumenta las poblaciones de bacterias (Berrospe-Ochoa, 2010) cuya actividad pudieran estar influyendo en los procesos de germinación a través de la síntesis de reguladores del crecimiento y la biodisponibilidad de nutrimentos (Gharib *et al.*, 2008; Fuchs, 2010).

En contraste a lo observado en cuanto a germinación, la menor relación turba:composta observada en el T3 (0.25) que contenía el mayor porcentaje de composta, afectó negativamente las variables altura de planta y diámetro de tallos, ya que en ambas variables la media inferior fue detectada en el tratamiento T3 ($p \leq 0.05$), y ésta fue estadísticamente diferente a las observadas en plantas crecidas en los tratamientos T1 y T2 (Cuadro 2). La menor relación turba:composta (T3) disminuyó la altura de plantas en 20 % en comparación con los tratamientos T1 y T2. La disminución del diámetro de tallo fue del 30 % en el T3 en comparación con los otros dos tratamientos.

species. In the case of the present investigation with lulo, species belonging to the same genus as the tomato, it was observed a stimulation of germination by increasing the percentage of compost to the substrate mixture. This difference can be attributed to the fact that composting increases bacterial populations (Berrospe-Ochoa, 2010) whose activity may be influencing germination processes through the synthesis of growth regulators and nutrient bioavailability (Gharib *et al.*, 2008; Fuchs, 2010).

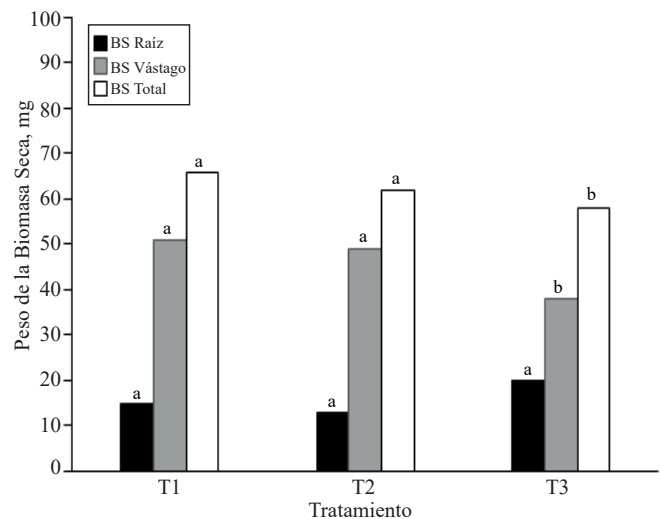


Figura 1. Biomasa seca (BS) de raíz, vástago y total de plántulas de lulo (*Solanum quitoense* Lamarck.) en respuesta a sustratos orgánicos de turba: composta v/v en relación 1:50 (T1), 0.66 (T2) y 0.25 (T3) respectivamente. Los valores son producto de diez plantas muestreadas. Letras distintas sobre las columnas en cada variable indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).

Figure 1. Dry biomass (DB) of root, stem and total seedlings OF lulo (*Solanum quitoense* Lamarck.) In response to organic substrates of peat: compost v/v ratio 1:50 (T1), 0.66 (T2) 0.25 (T3) respectively. Values are product of ten plants sampled. Different letters on the columns in each variable indicate significant statistical differences (Tukey, $p \leq .05$).

Respecto al número de hojas por planta, el tratamiento T1 (40% de composta en la mezcla de sustrato) produjo la media más alta, aunque ésta fue estadísticamente semejante a las medias de los tratamientos T2 y T3. En promedio, las plantas produjeron 7.2 hojas en el periodo de crecimiento estudiado (60 días después de la siembra) (Cuadro 3). En cuanto a las dimensiones de las hojas, la media más alta del ancho y largo de hojas se registró en los tratamientos T1 y T2 (Cuadro 2). En cambio, el largo de raíz fue mayor en plantas crecidas en el tratamiento la relación turba:composta de 0.25 (T3), y alcanzó un promedio de 12.11 cm, el cuál es 33% superior al promedio observado en T2 y 41% superior al observado en T1 (Cuadro 3).

Cuadro 3. Número, ancho y largo de hojas, largo de raíz y unidades SPAD en plantas de lulo (*Solanum quitoense* Lamarck.) crecidas en tres mezclas de sustratos orgánicos.

Table 3. Number, length and width of leaves, root length and SPAD units in pineapple plants (*Solanum quitoense* Lamarck.) grown in three mixtures of organic substrates.

Tratamiento	Número de hojas	Ancho de hojas (cm)	Largo de hojas (cm)	Largo de raíz (cm)	Unidades SPAD
T1	7.31a	2.94a	4.13a	7.14c	11.05a
T2	6.90b	2.91a	4.11a	8.03bc	9.64b
T3	7.06ab	2.14b	3.10b	12.11a	7.30c

Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).

En cuanto a las medias de las unidades SPAD medidas como un indicador indirecto del contenido de clorofila, se observa que hubo diferencias significativas entre tratamientos, con el mayor valor registrado en el T1 y el menor en el T3. De acuerdo con Masinde *et al.* (2009) las lecturas SPAD pueden ser usadas para un mejor manejo de la fertilización nitrogenada, dado que el contenido de N en hojas se correlaciona significativamente con su contenido de clorofila, por lo que un alto nivel de los registros en unidades SPAD significa elevado contenido de N en hoja, que puede conducir a una aumento de la tasa fotosintética y por lo tanto de la acumulación de biomasa y del rendimiento (Masinde *et al.*, 2009). En el caso de la presente investigación, los registros SPAD observados en los tratamientos T1 y T2 se relacionaron proporcional y positivamente con mayores dimensiones de las hojas, diámetro de tallo, altura de planta y acumulación de materia seca, lo cual no sucedió con las plantas crecidas en el tratamiento T3 que registró valores bajos en unidades SPAD (Cuadro 3).

El peso de la biomasa seca (BS) de raíz no observó diferencias significativas entre tratamientos. El peso del vástago y total fueron estadísticamente inferiores en el tratamiento T3 (Figura 1).

In contrast to what was observed in terms of germination, the lowest ratio peat: compost observed in T3 (0.25) containing the highest percentage of compost, adversely affected the variables plant height and stem diameter, since in both variables the lowest mean was detected in T3 treatment ($p \leq 0.05$), and this was statistically different from those observed in plants grown in T1 and T2 (Table 2). The lowest ratio peat: compost (T3) decreased plant height by 20% compared to T1 and T2. The decrease of the stem diameter was 30% in T3 in comparison with the other two treatments

Regarding the number of leaves *per* plant, treatment T1 (40% compost in the substrate mixture) produced the highest average, although this was statistically similar to the

means of the treatments T2 and T3. On average, the plants produced 7.2 leaves in the growth period studied (60 days after planting) (Table 3). Regarding the dimensions of the leaves, the highest average length and width of leaves was recorded in T1 and T2 (Table 2). Instead, the root length was higher in plants grown in the treatment with the relationship peat: compost 0.25 (T3), showed an averaged 12.11 cm, which is 33% higher than the average observed in T2 and 41% higher than observed in T1 (Table 3).

In relation with the means of SPAD units measured as an indirect indicator of chlorophyll content, they show that there were significant differences between treatments, with the highest value recorded in T1 and lowest in T3. According to Masinde *et al.* (2009) SPAD readings can be used for better management of nitrogen fertilization, since the leaf N content was significantly correlated with chlorophyll content, so high level records in SPAD units means high N content in leaf, which may lead to an increase in the rate of photosynthesis and thereby the accumulation of biomass and yield (Masinde *et al.*, 2009). For this investigation, SPAD records observed in T1 and T2 were related positively proportionally with larger leaves, stem

Las diferencias observadas entre tratamientos se pueden atribuir a las propiedades de los materiales composteados. De acuerdo con Berrospe-Ochoa *et al.* (2012), mientras la composta de cachaza presenta una densidad aparente de 0.36 mg m^{-3} , un índice de grosor 53%, un diámetro medio ponderado de 0.97 mm y una porosidad de 80.7%, en la turba estos valores son de 0.15 Mg m^{-3} , 58%, 1.56 mm y 88.8%, respectivamente, lo que significa que la composta es 2.4 veces más densa que la turba pero la turba presenta un diámetro ponderado 1.7 veces más elevado que la composta y una porosidad 1.1 superior al material composteado.

En cuanto a características químicas promedio, la composta de cachaza muestra un pH de 7.6, una conductividad eléctrica de 6.4 dS m^{-1} , un contenido de materia orgánica de 59% y de 2.1 % de N, 627 ppm de P y un contenido en meq 100 g^{-1} de 0.012 K, 47 Ca, 30 Mg, 0.002 Na y una capacidad de intercambio catiónico de 46.2, en tanto que en la turba estos valores son de 4.6, 0.2 dS m^{-1} , 67%, 0.7 %, 2.1 mg L^{-1} , 0.0, 6.2, 1.8 y $0.001 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$ y 51, respectivamente (Berrospe-Ochoa *et al.*, 2012), lo cual genera una variabilidad en las características de las mezclas al usar diferentes proporciones de estos sustratos como fuente, que originan la diversidad de respuestas observadas en las plantas.

Por ejemplo, el pH de las mezclas debe acercarse a la neutralidad o ligera acidez al mezclar los sustratos, y se esperaría que el pH sea menor a medida que disminuya la relación turba: composta. Así, la relación turba: composta de 0.25 (T3) podría presentar el mayor pH, lo que debió haber estimulado un mayor esfuerzo del sistema de raíces por explorar la rizosfera y absorber los nutrientes según los requiere la planta, lo que se reflejó en una mayor longitud de raíz, pero un menor crecimiento del vástago y un menor contenido de clorofilas medido indirectamente a través de la cuantificación de unidades SPAD (Hamid *et al.*, 2006; Flórez *et al.*, 2008a; Martínez, 2012).

El mayor crecimiento y desarrollo de raíces en el T3 (80% de composta en la mezcla; relación turba: composta de 0.25) puede explicarse debido a la existencia de ciertas fitohormonas como el ácido indolacético (Canellas *et al.*, 2002; Quaggiotti *et al.*, 2004), capaces de inducir la formación y el crecimiento de raíces laterales por medio de la activación de las bombas de H^{+} -ATPasa del plasmalema y del tonoplasto (Canellas *et al.*, 2002; Zandonadi *et al.*, 2006), así como de incrementar la absorción de nutrientes para su propia expansión, mediante la activación de la

diameter, plant height and dry matter accumulation, which did not happen with plants grown in T3 treatment showed low values in SPAD units (Table 3).

The weight of dry biomass (DB) root did not evidenced significant differences between treatments. The seedling and total plant weight were statistically lower in treatment T3 (Figure 1).

The differences observed between treatments can be attributed to the properties of the composted materials. According to Berrospe-Ochoa *et al.* (2012), while the sugar cane chaff composted has a bulk density of 0.36 mg m^{-3} , an index of thickness 53%, a pondered average diameter of 0.97 mm and a porosity of 80.7%, in the peat these values are 0.15 mg m^{-3} , 58%, 1.56 mm and 88.8%, respectively, which means that the compost is 2.4 times denser than the peat but the peat has a pondered diameter 1.7 times higher than the sugar cane chaff compost and a porosity 1.1 higher than composted materials.

Regarding average chemical characteristics cachaza compost (sugar cane chaff) shows pH 7.6, an electrical conductivity of 6.4 dS m^{-1} , an organic matter content of 59% and 2.1% N, 627 ppm of P and a meq 100 g^{-1} content of 0.012 K, 47 Ca, 30 Mg, Na 0.002 and a cation exchange capacity of 46.2, while in the peat these values are 4.6, 0.2 dS m^{-1} , 67%, 0.7%, 2.1 mg L^{-1} , 0.0, 6.2, 1.8 and $0.001 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$ and 51, respectively (Berrospe-Ochoa *et al.*, 2012), which creates a variability in the characteristics of the mixtures by using different ratios of these source substrates as source, giving the diversity of responses observed in the plants.

For example, the pH of the mixture should approach to neutrality or slightly acidity by mixing the substrates, and the pH would be expected to be lower as the ratio decreases peat: compost. Thus, the relationship peat: compost of 0.25 (T3) may present a higher pH, which should have stimulated increased efforts of the root system to explore the rhizosphere and absorb the nutrients as required by the plant, which was reflected in a greater root length, but lower shoot growth and lower chlorophyll content measured indirectly by quantifying SPAD units (Hamid *et al.*, 2006; Florez *et al.*, 2008a; Martínez, 2012).

The higher growth and development of roots in the T3 (80% compost in the mixture, ratio peat: compost 0.25) can be explained by the existence of certain phytohormones like indoleacetic acid (Canellas *et al.*, 2002; Quaggiotti *et al.*, 2004), capable of inducing the formation and

transcripción de genes responsables de su transporte y metabolismo (Quaggiotti *et al.* 2004; Domínguez *et al.*, 2010).

De la misma manera, la conductividad eléctrica esperada al aumentar la proporción de composta en la mezcla de sustrato pudo haber provocado un desbalance de la movilización nutrimental reflejado en una disminución de las medias en las variables altura de planta, diámetro de tallo, longitud y ancho de hojas y longitud de raíz en la mezcla de sustrato con 80% de composta (relación turba:composta 0.25) (T3) en comparación con los tratamientos T1 (40% de composta; relación turba:composta 1.50) y T2 (60% de composta; relación turba: composta 0.66).

De Grazia *et al.* (2006) sostienen que el principal efecto de los materiales composteados es disminuir la lixiviación de nutrientes desde la matriz del sustrato gracias a la mayor retención hídrica y al aumento de la capacidad de intercambio de iones. Así también, al hacer las mezclas de estos sustratos debe haber un incremento en la disponibilidad de nutrimentos cuyos sinergismos y antagonismos pueden explicar las respuestas de las plantas en este estudio.

En este contexto, Lazcano *et al.* (2009) probaron la adición de 0, 10, 20, 50, 75 y 100% de composta y vermicomposta en la mezcla de sustratos para la producción de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y reportaron que la vermicomposta puede adicionarse hasta en 100% de la mezcla, en tanto que la composta solo puede agregarse en 50% de la misma, sin causar alta mortalidad de plántulas. Las dosis bajas de composta (10 y 20%) en combinación con dosis altas de vermicomposta incrementan significativamente la biomasa aérea y subterránea en plantas, y mejoran sus variables morfológicas.

Por su parte, Márquez-Hernández *et al.* (2008) reportaron que el uso de composta y vermicomposta entre 40 y 50% de la mezcla de sustratos aumenta hasta nueve veces el rendimiento de tomate en invernadero, lo cual se atribuye a que los materiales composteados disminuyeron la lixiviación, la volatilización y la adsorción de nutrimentos (Tilman *et al.*, 2002).

Éstos resultados son coincidentes con lo reportado por Atiyeh *et al.* (2001), observaron la aplicación 25 a 50% de vermicomposta de estiércol porcino produce los mejores resultados en el crecimiento de plantas de tomate, y observaron efectos negativos al aplicar mayores

growth of lateral roots by activating pump H⁺-ATPase of plasmalemma and tonoplast (Canellas *et al.* 2002; Zandonadi *et al.*, 2006) as well as increasing the absorption of nutrients of its own expansion, by activating the transcription of genes responsible for its transport and metabolism (Quaggiotti *et al.* 2004; Domínguez *et al.*, 2010).

In the same way, electrical conductivity expected by increasing the proportion of compost in the substrate mixture may have caused an imbalance of nutrient mobilization reflected in a decrease in the average in the variables: plant height, stem diameter, length and width leaf and root length in the substrate mixture of substrate with 80% of compost (relation peat: compost 0.25) (T3) in comparison with T1 treatments (40% compost, relation peat:compost 1.50) and T2 (60% compost, ratio peat: compost 0.66).

De Grazia *et al.* (2006) argue that the main effect of composted materials is to reduce the nutrients leaching from the substrate matrix due to an increased water retention and increased ion exchange capacity. Also, by making mixtures of these substrates should be an increase in nutrient availability which synergisms and antagonisms may explain the responses of the plants involved in this study.

In this context, Lazcano *et al.* (2009) tested the addition of 0, 10, 20, 50, 75 and 100% of compost and vermicompost in the substrates mixture for production of tomato seedling (*Solanum lycopersicum* L.) reported that can be added vermicompost up to 100% of the mixture, while the compost can be added in only 50% of it, without causing high mortality of seedlings. Low doses of compost (10 and 20%) in combination with high doses of vermicompost significantly increased aboveground and belowground biomass in plants, and improve their morphological variables

Meanwhile, Márquez-Hernández *et al.* (2008) reported that the use of compost and vermicompost between 40 and 50% in the substrates mixtures increases up to nine times the tomato yield cultivated in greenhouse, which is attributed to the composted effect of composted materials decreasing lixiviation, volatilization and nutrient adsorption (Tilman *et al.*, 2002).

These results math coincident with those reported by Atiyeh *et al.* (2001) whose indicated that applications from 25 to 50% of pig manure vermicompost produces the best results in the growth of tomato plants, and observed adverse effects applying higher percentages of this material on the substrate mixture, due mainly to a higher concentration of

porcentajes de este material en la mezcla de sustrato, debido principalmente a una mayor concentración de sales solubles, la pobre porosidad y menor aireación en el material composteado. Dado que el tomate pertenece al mismo género que el lulo, es posible postular que las mezclas de sustratos que mejor resultados pueden tener sobre el desarrollo y crecimiento de lulo son los que contengan entre 50 y 60% de composta (Flórez *et al.*, 2008a; Ramírez y Duke, 2010).

Los hallazgos aquí presentados constituyen la primera fase para promover a esta especie como un elemento potencial del paisaje de los agroecosistemas en México, con una amplia perspectiva para su cultivo y aprovechamiento que permita contribuir al desarrollo sostenido de las sociedades rurales debido al contenido de nutrientes y al uso industrial de su fruto, aunado a su aportación como elemento innovador del paisaje.

Conclusiones

La combinación de composta de cachaza y turba generó diferentes relaciones turba: composta y afectó de manera significativa la germinación y el crecimiento de plantas de lulo en etapa de almácigo.

El mayor porcentaje de germinación se observó en el tratamiento la mezcla de sustrato que contenía en mayor proporción (80%) composta de cachaza y con ello una relación turba: composta de 0.25. Éste tratamiento también generó un mayor desarrollo de raíces.

Las relaciones turba: composta de 1.5 y 0.66 (correspondientes a 40 y 60% de composta, respectivamente) generaron plantas más altas, con mayor diámetro de tallo, con hojas más grandes y con mayores valores de unidades SPAD.

El lulo logró buena germinación y muestra un desarrollo aceptable de plántulas en sustratos con diferentes relaciones turba: composta.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Línea Prioritaria de Investigación 4 Agronegocios, Agroecoturismo y Arquitectura del Paisaje del Colegio de Postgraduados por los apoyos y facilidades otorgadas.

soluble salts, poor aeration porosity and lower composted material. Since the tomato belongs to the same genus as lulo, it is possible to postulate that substrate mixtures that best results can have on the development and growth of lulo are those containing between 50 and 60% compost (Florez *et al.*, 2008a; Ramírez and Duke, 2010).

The findings presented here constitute the first phase to promote the species studied as a potential element of the landscape of agroecosystems in Mexico, with a wide perspective for cultivation and use that could contribute to sustainable development of rural communities due to nutrient content and industrial use of its fruit, coupled with his contribution as an innovative element of the landscape.

Conclusions

The combination of sugar cane chaff and peat compost generated different relationships peat: compost and significantly affected the germination and growth of lulo plants at nursery stage.

The highest percentage of germination was observed in the treatment involving the substrate mixture containing a higher proportion (80%) of sugar cane chaff compost and thus a relation peat: compost of 0.25. This treatment also resulted in a greater root development.

The proportions peat: compost 1.5 and 0.66 (corresponding to 40 and 60% compost, respectively) produced taller plants with greater stem diameter, with larger leaves and higher values of SPAD units.

The lulo species studied achieved good germination and seedling development acceptable by using substrates with different ratios peat: compost.

End of the English version



Literatura citada

Atiyeh, R. M.; Edwards, C. A.; Subler, S. and Metzger, J. D. 2001. Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth. *Biores. Technol.* 8:11-20.

- Bernal, E. J. A.; Córdoba, G. O.; Franco, G.; Londoño, B. M.; Rodríguez, O. J. E. y Guevara, M. N. 1996. El cultivo del lulo (*Solanum quitoense* Lam). In: Botero-Isaza, R. G. (Ed.). Memorias del Primer Seminario frutales de clima frío moderado. (Ed.) CORPOICA. Bogotá, Colombia. 61-80 p.
- Berrospe-Ochoa, E. A. 2010. Sustratos alternativos a base de cachaza para la producción de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados-Edafología. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 127 p.
- Berrospe-Ochoa, E. A.; Ordaz-Chaparro, V. M.; Rodríguez-Mendoza, M. N. y Quintero-Lizaola, R. 2012. Cachaza como sustrato para la producción de plántulas de tomate. Rev. Chapingo. S. Hort. 18:41-156.
- Canellas, L. P.; Olivares, F. L.; Okorokova, A. L. and Facanha, A. R. 2002. Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma H⁺-ATPase activity in maize roots. Plant Physiol. 130:1951-1957.
- Cruz, P.; Acosta, K.; Cure, J. R. y Rodríguez, D. 2007. Desarrollo y fenología de lulo (*Solanum quitoense*) var. septentrionale bajo polisombra desde siembra hasta primera fructificación. Agron. Colombiana. 25:288-298.
- De Grazia, J.; Titonell, P. A. y Chiesa, A. 2006. Efecto de sustratos con compost y fertilización nitrogenada sobre la fotosíntesis, precocidad y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum*). Cien. Inv. Agr. 34:195-204.
- Domínguez, J.; Lazcano, C. y Gómez-Brandón, M. 2010. Influencia del vermicompost en el crecimiento de las plantas. Aportes para la elaboración de un concepto objetivo. Acta Zool. Mex. 26:359-371.
- Gharib, F. A.; Moussa, L. A. and Massoud, O. N. 2008. Effect of compost and biofertilizers on growth, yield and essential oil of sweet marjoram (*Majorana hortensis*) Plant. Int. J. Agric. Biol. 10:381-387.
- Gómez, C.; Franco, G. y Gallego, J. L. 2005. Análisis del crecimiento de lulo "La Selva" (*Solanum quitoense*) en condiciones del Departamento de Caldas. Rev. Comalfe 32:43-51.
- Flórez, S. L.; Miranda, D. y Chávez, B. 2008a. Dinámica de nutrientes en la fase vegetativa del cultivo de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en respuesta a salinidad por NaCl. Agron. Colombiana. 26: 205-216.
- Flórez, S. L.; Miranda, D.; Chávez, B.; Fischer, G. and Magnitskiy, S. 2008b. Growth of lulo (*Solanum quitoense* Lam.) plants affected by salinity and substrate. Rev. Bras. Frutic. Jaboticabal - SP. 30:402-408.
- Fuchs, J. G. 2010. Interactions between beneficial and harmful microorganisms: From the Composting Process to Compost Application. In: Insam H. et al. (Eds.). Microbes at work. Springer. Frick, Switzerland.
- Hamid, F. H.; Ahmad, T.; Khan, B. M.; Waheed, A. and Ahmed, N. 2006. Effect of soil pH in rooting and growth of tea cuttings (*Camellia sinensis* L.) at nursery level. Pak. J. Bot. 38:293-300.
- Heiser, C. B. 2000. The naranjilla *Solanum quitoense* and relatives after 38 years. Plants and People. Soc. Econ. Bot. Newslet. 14:4-5.
- Lazcano, C.; Arnold, J.; Tato, A.; Zaller, J. G. and Domínguez, J. 2009. Compost and vermicompost as nursery pot component: effect on tomato plant growth and morphology. Spanich J. Agr. Res. 7:994-951.
- Márquez-Hernández, C.; Cano-Ríos, P. y Rodríguez-Dimas, N. 2008. Uso de sustratos orgánicos para la producción de tomate en invernadero. Agric. Tec. Méx. 34: 69-74.
- Martínez, L. J. 2012. Avances De La Investigación Agronómica II. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 160 p <http://intranet.unicundi.edu.co/investigacion/images/pdf/investigacion-agronomica.pdf>
- Masinde, P. W.; Wesonga, J. M.; Ojiewo, C. O.; Agong, S. G. and Masuda, M. 2009. Plant growth and leaf N content of *Solanum villosum* genotypes in response to nitrogen supply. Dynam. Soil Dynam. Plant. 3:36-47.
- Muñoz-Belalcázar, J. A. 2011. Análisis de la competitividad del sistema de producción de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en tres municipios de Nariño. Tesis de Magister en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 128 p. Acceso vía internet: <http://www.bdigital.unal.edu.co/6333/1/790781.2011.pdf>.
- Quaggiotti, S.; Ruperti, B.; Pizzeghello, D.; Francioso, O.; Vitaliano, T. and Nardi, S. 2004. Effect of low molecular size humic substances on nitrate uptake and expression of genes involved in nitrate transport in maize (*Zea mays* L.). J. Exper. Bot. 55:803-813.
- Quinchia, C. F. y Gómez-García, A. 2006. Manual técnico del cultivo del lulo (*Solanum quitoense* L.) en el Departamento de Huila, Colombia. Litocentral Ltda. Neiva-Huila, Colombia. 32 p.
- Ramírez, V. H. y Duque, N. N. 2010. Respuesta del lulo La Selva (*Solanum quitoense* x *Solanum hirtum*) a la aplicación de fermentados aeróbicos tipo bocashi y fertilizante químico. Acta Agron. 59:155-161.
- Soto-Esparza, M. 1986. Localidades y climas del estado de Veracruz. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Xalapa, Veracruz. 137 p.
- Tilman, D.; Cassman, K. G., Matson, P. A.; Naylor, R. and Polasky, S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. Nature 418:671-677.
- Zandonadi, D. B.; Canellas, L. P. and Rocha Façanha, A. 2006. Indolacetic and humic acids induce lateral root development through a concerted plasmalemma and tonoplast H⁺ pumps activation. Planta. 225:1583-1595.