

## **Evaluación de la composta de bagazo de agave como componente de sustratos para producir plántulas de agave azul tequilero\***

### **Evaluation of agave bagasse compost as a component of substrates to produce seedlings of blue agave**

**Marcos R. Crespo González<sup>1</sup>, Diego R. González Eguiarte<sup>1§</sup>, Ramón Rodríguez Macías<sup>1</sup>, Luis Alberto Rendón Salcido<sup>1</sup>, José Ignacio del Real Laborde<sup>2</sup> y José Pablo Torres Morán<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA)-Universidad de Guadalajara. Carretera a Nogales, km 15.5, Predio Las Agujas, Zapopan, Jalisco, México. C. P. 45110. Tel. (33)37771150, Ext. 33040. (mcrespo@cucba.udg.mx; ramonrod@cucba.udg.mx; lrendons@hotmail.com; jtorres@cucba.udg.mx). <sup>2</sup>Dirección de Agroindustrias de Tequila Sauza, S. A. Av. Vallarta 6503, Local 49 Zona E, Concentro, Cd. Granja, Municipio de Zapopan, Jalisco, México. C. P. 45010. Tel. (33) 36790600. (Ignacio.delreal@beamglobal.com). <sup>§</sup>Autor para correspondencia: drgonzal@prodigy.net.mx.

#### **Resumen**

El agave azul es la materia prima para la producción de tequila a través de un proceso de destilación que genera alrededor de 400 mil toneladas anuales de bagazo, el cual, parcialmente, se transforma en composta. Las plantas de agave micropropagadas requieren un periodo de adaptación de alrededor de nueve meses en vivero o invernadero tipo casa sombra, para lo cual se cultivan en contenedor con un sustrato comercial. Para esta etapa, no existen aún parámetros morfológicos que sirvan como referencia para evaluar la calidad de las plantas para proceder a la plantación en campo. Por lo tanto, el objetivo del estudio fue evaluar algunas respuestas morfológicas de plántulas del agave azul (micropropagado) cultivado con diferentes sustratos orgánicos: un sustrato comercial (80% polvo de coco, 10% turba y 10% composta de bagazo de agave), polvo de coco, turba canadiense y cuatro mezclas de composta de bagazo de agave. Se estableció un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones, considerando cada planta como unidad experimental, en un invernadero tipo casa sombra, entre septiembre de 2007 y junio de 2008, en Tequila, Jalisco, México. Los resultados fueron evaluados estadísticamente mediante ANOVA y comparación de medias por DMS. La mezcla de sustrato con los mejores

#### **Abstract**

Blue agave is the raw material for the production of tequila through a distillation process that generates about 400 thousand tons of bagasse, which, in part, is transformed into compost. Micro-propagated agave plants require an adjustment period of about nine months in the nursery or greenhouse shade, for which is grown in a container with a commercial substrate. For this stage, there are still no morphological parameters that serve as reference for evaluating the quality of the plants that can be planted in the field. For this reason, the aim of the study was to evaluate some morphological responses of seedlings of blue agave (micro-propagated) grown with different organic substrates: A commercial substrate (80% cocoa powder, 10% peat and 10% agave bagasse compost), coconut powder, and Canadian peat and four compost mixtures of agave bagasse. We established a completely randomized design with four replications, considering each plant as the experimental unit in greenhouses, between September 2007 and June 2008 in Tequila, Jalisco, Mexico. The results were statistically evaluated using ANOVA and mean comparisons by DMS. The substrate mixtures with the best results were with the compost treatments bagasse at 50%, followed by 30% of the compost and finally 70%,

\* Recibido: marzo de 2013  
Aceptado: octubre de 2013

resultados fueron los tratamientos con la composta de bagazo al 50%, seguida por la composta al 30% y finalmente al 70%, complementadas con polvo de coco. Los valores máximos de las variables de estudio registradas fueron: diámetro de piña, 5.0 cm; diámetro del tallo, 3.8 cm; número de hojas, 15; longitud de hoja, 55.4 cm y anchura de hoja más larga, 4 cm, los cuales son medidas que podrían emplearse como estándares de calidad del agave antes de la plantación en campo.

**Palabras clave:** *Agave tequilana* Weber variedad azul, agave *in vitro*, sustratos orgánicos.

## Introducción

El cultivo del agave azul tequilero (*Agave tequilana* Weber var. azul) tiene gran importancia industrial por sus requerimientos agroecológicos y de producción (Ruiz, 2007), así como por los azúcares que almacena en el tallo y en las bases de las hojas (Aguilar *et al.*, 2002; Legorreta y Ogura, 2002; López *et al.*, 2003; Larqué *et al.*, 2004; Rendón *et al.*, 2007), los cuales son utilizados para la elaboración de la bebida espirituosa denominada "Tequila".

En 2011, se molieron en México 998 mil toneladas de agave para la producción de tequila (CRT, 2012), de éstas, aproximadamente 40% del peso correspondieron al bagazo (Cedeño, 1995), equivalente a 399 mil toneladas de bagazo fresco (70-80% de humedad). El aprovechamiento del bagazo de agave tequilero es limitado, lo que ha provocado que existan tiraderos clandestinos o aplicaciones inadecuadas en terrenos agrícolas que ocasionan contaminación ambiental por lixiviados, generación de malos olores y hábitat para plagas y enfermedades de plantas (Rodríguez *et al.*, 2001).

Una alternativa de uso es producir composta y utilizarla como sustrato para el cultivo de plantas en contenedor, ya que existen resultados que demuestran efectos favorables en cultivos como brócoli y jitomate para trasplante (Rodríguez, 2004). Varios autores(as) reconocen la utilidad de las compostas como sustrato para cultivos en contenedor (Raviv y Leith, 2008; Estévez *et al.*, 2009). Particularmente, la composta de bagazo de agave tiene características similares a la turba de Canadá y la puede sustituir a menor costo (Rodríguez, 2004). Con base a lo anterior, se plantea la hipótesis de que existe una respuesta favorable del crecimiento del agave azul en contenedor al uso de composta de agave en el sustrato.

supplemented with coconut powder. The maximum values of the study variables recorded were: pineapple diameter, 5.0 cm, stem diameter, 3.8 cm, number of leaves, 15; leaf length, 55.4 cm and width of the longest leaf, ~ 4 cm, measures that could be used as agave quality standards before field planting.

**Key words:** *Agave tequilana* Weber blue variety, agave *in vitro*, organic substrates.

## Introduction

The cultivation of blue agave (*Agave tequilana* Weber var. Blue) has great industrial importance for their agro-ecological and production requirements (Ruiz, 2007), as well as for the sugars stored in the stem and leaf bases (Aguilar *et al.* 2002; Legorreta and Ogura, 2002; López *et al.* 2003; Larqué *et al.*, 2004; Rendón *et al.*, 2007), which are used for the manufacture of the drink called "Tequila".

In 2011, 998 000 tons of agave were used in Mexico for tequila production (CRT, 2012), of these, approximately 40% correspond to bagasse (Cedeño, 1995), equivalent to 399 thousand tons of fresh bagasse (70-80% humidity). The use of this bagasse is quite limited, which has caused illegal dumping or improper applications on agricultural land, causing pollution by leachates, odor generation and habitat for pests and diseases (Rodríguez *et al.*, 2001).

An alternative use is to produce compost and use it as a substrate for growing plants in containers, as there are results showing favorable effects on crops like broccoli and tomato (Rodríguez, 2004). Several authors recognize the value of the compost as substrate for container crops (Raviv and Leith, 2008; Estévez *et al.*, 2009). Particularly, the agave bagasse compost is similar to the Canadian peat and can be replaced with less cost (Rodríguez, 2004). Based on the above, it is hypothesized that there is a favorable response from the blue agave growth in compost container to use agave in the substrate.

Both, the peat and the coconut powder substrates are commonly used for the cultivation of plants in a container; however, they are expensive and lead to find substitutes, and in this sense, there is an important composts potential use.

Tanto la turba como el polvo de coco son sustratos de uso común para el cultivo de plantas en contenedor; sin embargo, son materiales costosos que inducen a encontrar sustitutos que permitan reducir los costos de producción, y en este sentido, las compostas representan un importante potencial de uso.

Por otra parte, en los cultivos agrícolas, especialmente los anuales, se emplean algunas características morfológicas y fisiológicas para evaluar efectos de diferentes prácticas de manejo. Dentro de las expresiones morfológicas se encuentran: porte de la planta, número de hojas, color del follaje, entre otros, y dentro de las fisiológicas se pueden citar: fijación de CO<sub>2</sub>, tasa de asimilación neta (Pimienta *et al.*, 2001), eficiencia en el uso del agua (Yang y Zhang, 2010), producción de biomasa y otros para evaluar la eficiencia de las plantas en la elaboración de fotoasimilados (Hernández, 2004).

Para cultivos como la caña de azúcar y el girasol, se utilizan algunos indicadores para estimar el desarrollo del cultivo, por ejemplo, en la caña de azúcar se cuantifica el diámetro del tallo, el número de tallos por metro lineal y el peso promedio del tallo, mientras que en el girasol, se evalúa el número de capítulos por unidad de superficie, el número de frutos por capítulo y el peso de los frutos (de Sousa y Rea, 1993; Hernández, 2004); en otros cultivos, como frijol (Garduño *et al.*, 2009; Barrios *et al.*, 2010) y maíz (Reta *et al.*, 2003; Rodríguez *et al.*, 2004), se emplean indicadores de la eficiencia en la distribución de la biomasa, como es el índice de cosecha (Kemanian *et al.*, 2007); en cultivos para consumo en fresco se utiliza el índice de madurez, donde se relacionan los sólidos solubles totales y la acidez de los frutos (Briceño *et al.*, 2005).

Investigaciones sobre aspectos morfológicos del cultivo del agave, en donde se estudie el desarrollo y tamaño de la planta, el número de hojas, las características de la piña y la aparición del vástago floral, son escasas (Velasco *et al.*, 2008). Sólo se reportan observaciones empíricas para establecer el momento de la cosecha del agave, siendo el rendimiento de campo el único parámetro agronómico empleado, el cual está referido al peso fresco por piña o cabeza, formada por las bases de hojas insertas en el tallo, que se obtiene de cada planta o por unidad de superficie.

Las plantas de agave micropropagado deben de pasar un periodo de aclimatación en vivero, conocido como "endurecimiento" (Torres *et al.*, 2006) durante nueve a doce meses para ser llevadas a campo en donde permanecen al menos seis años antes de ser cosechadas. Bajo éste sistema no se han descrito las características morfológicas de la planta de agave al concluir la fase de endurecimiento; por consiguiente,

On the other hand, in agricultural crops, especially annuals, some morphological and physiological characteristics are used to evaluate the effects of different management practices. Within morphological expressions: attitude of the plant, number of leaves, foliage color, among others, and within physiological may be cited: CO<sub>2</sub> fixation, whole assimilation rate (Pepper *et al.*, 2001), efficient use of water (Yang and Zhang, 2010), biomass production and others to evaluate the efficiency of plants in the development of photo-assimilates (Hernández, 2004).

For crops such as sugar cane and sunflowers, some indicators are used to estimate the crop's development, for example, in the sugar cane, the stem diameter, number of stems per meter and the average stem weight are measured, while in the sunflower, we evaluate the number of heads per unit area, the number of fruits per chapter and fruit weight (de Sousa and Rea, 1993; Hernández, 2004), in other crops such as beans (Garduño *et al.*, 2009; Barrios *et al.*, 2010) and maize (Reta *et al.*, 2003; Rodríguez *et al.*, 2004), efficiency indicators were used in the distribution of biomass, such as harvest index (Kemanian *et al.* 2007), in crops for fresh consumption using the maturity index, which lists the total soluble solids and acidity of the fruits (Briceño *et al.*, 2005).

Researches on morphological aspects of agave cultivation, where they study the development and size of the plant, number of leaves, the characteristics of pineapple and floral stem appearance, are scarce (Velasco *et al.*, 2008). Empirical observations are reported only to establish the time of harvest, being the yield the only parameter for agronomic use, which is based on the weight and fresh pineapple heads, formed by the leaf bases embedded in the stem, which is obtained from each plant or per surface unit.

Micro-propagated agave plants must pass a period of acclimatization in the nursery, known as "hardening" (Torres *et al.*, 2006) for nine to twelve months to be taken to the field where they remain at least six years before being harvested. Under this system morphological characteristics have not been described of the plant at the end of the hardening phase; therefore there are no references on indicators to assess the quality of the plants. In the present work, we aim to make a first contribution in this regard.

According to the above, the objective of this research was the response of micro-propagated seedlings of blue agave in four mixtures of agave bagasse compost compared to commercial substrates that included coconut powder, Canadian peat and commercial substrate.

no hay referencias sobre indicadores que permitan calificar la calidad de las plantas. En el presente trabajo se pretende hacer una primera contribución en este sentido.

De acuerdo a lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue la respuesta de plántulas micropropagadas de agave azul tequilero a cuatro mezclas de composta de bagazo de agave, en comparación con sustratos comerciales que incluyeron polvo de coco, turba canadiense y un sustrato comercial.

## Materiales y métodos

### Sitio experimental

El experimento se llevó a cabo en el Rancho El Indio, propiedad de la empresa Tequila Sauza, S. A., que está localizado en la población de Tequila, Jalisco, México, con coordenadas geográficas: 20°53'24" latitud norte y 103°50'00" longitud oeste. Se utilizó un invernadero tipo casa sombra con malla cubre suelos "ground cover" y sombreado completo con malla sombra al 20%. Ésta infraestructura y un sistema de fertirriego frecuente constituye el ambiente controlado en el que la Empresa produce en forma segura y sana la planta que año con año se lleva a campo. El experimento se realizó de 2007 a 2008. Durante éste período la temperatura dentro del invernadero tuvo una variación máxima de 6 °C (17.6-23.6 °C), mientras que la humedad relativa varió entre 64 a 76%.

**Sustratos utilizados.** Se utilizó polvo de coco (PC) producido a partir de la fibra del pericarpio del fruto de la palmera de coco (*Cocos nucifera*) proveniente del estado de Michoacán, México; turba (T) del musgo *Sphagnum* spp., originaria de Canadá, y composta de bagazo de agave (C) con cinco meses de compostaje elaborada en un área cercana al sitio de estudio con 100% de bagazo de agave fresco, en pilas en forma de cordón, con aireación mecánica durante un periodo de 20 semanas. Con esta composta se elaboraron las mezclas que se indican más adelante.

**Características de las plantas de agave.** Se utilizaron agaves propagados *in vitro* de aproximadamente 16 meses edad, producidos en el estado de Chiapas, México, con una altura entre 15 y 22 cm. Para el trabajo experimental, las plantas se trasplantaron en contenedores biodegradables elaborados con fibra de coco y hule natural de 13 cm de altura y 12.5 cm de diámetro (1.11 L de capacidad). Nueve meses después de instalado el experimento se realizaron las evaluaciones morfológicas.

## Materials and methods

### Experimental site

The experiment was conducted in the Rancho El Indio, owned by the company Tequila Sauza, SA, which is located in the town of Tequila, Jalisco, Mexico, with geographic coordinates: 20° 53' 24" North latitude and 103° 50' 00" West longitude. We used a home greenhouse to "ground cover" in full shaded with 20% shade cloth. This infrastructure and frequent fertigation system is the controlled environment in which the company produces in a safe and healthy plant year after year. The experiment was conducted in 2007-2008. During this period, the temperature inside the greenhouse had a variation of up to 6 °C (17.6-23.6 °C), while the relative humidity ranged from 64 to 76%.

**Substrates used.** Coconut powder was used (PC), produced from the fiber of the pericarp of the fruit of the coconut palm (*Cocos nucifera*) from the State of Michoacan, Mexico; peat moss (T) of the *Sphagnum* spp., Originally from Canada and agave bagasse compost (C) with five months of composting developed in an area near the study site with 100% fresh agave bagasse, cord-like cells with mechanical ventilation for a period of 20 weeks. With this compost mixtures were prepared as below.

**Agave plants characteristics.** Agaves were used *in vitro* propagated approximately 16 months old, produced in the State of Chiapas, Mexico, with a height between 15 and 22 cm. For the experimental work, the plants were transplanted on biodegradable containers made from coconut fiber and natural rubber, 13 cm high and 12.5 cm in diameter (1.11 L capacity). Nine months after installation of the experiment were conducted morphological assessments.

**Treatments and experimental design.** Treatments were based on formulations of organic substrates mixed in a volume ratio (v/v), considering the following: 1) control 80% PC + 10% G + 10% C, 2) PC 100% 3) 100% T, 4) 70% PC + 30% C, 5) 50% PC + 50% C, 6) 30% PC + 70% C, and 7) 100% C.

The physical and chemical characteristics of the treatments are presented in Tables 1 and 2. It is important to note that, the reference values of the chemical (Table 1) and physical (Table 2) characteristics are recommended for horticultural crops, since for agave defined standards do not yet exist for substrates. Both Tables (1 and 2) show that the substrates studied are of good quality, in accordance with the corresponding baseline values.

**Tratamientos y diseño experimental.** Los tratamientos fueron a base de formulaciones de los sustratos orgánicos mezclados en una relación de volumen (v/v), considerándose los siguientes: 1) testigo: 80% PC + 10% T + 10% C; 2) 100% PC; 3) 100% T; 4) 70% PC + 30% C; 5) 50% PC + 50% C; 6) 30% PC + 70% C; y 7) 100% C.

Las características físicas y químicas de los tratamientos se presentan en los Cuadros 1 y 2. Es importante resaltar, que los valores de referencia de las características químicas (Cuadro 1) y físicas (Cuadro 2), son los recomendados para cultivos hortícolas, ya que para agave no existen aún estándares definidos para sustratos. Ambos Cuadros (1 y 2) reflejan que los sustratos estudiados son de buena calidad, de acuerdo con los correspondientes valores de referencia.

We made a completely randomized design with four replications, considering each plant as an experimental unit. The results were statistically evaluated by analysis of variance (ANOVA) and mean comparisons by DMS and were performed using the statistical package SPSS® version 15.0.1.

### Variables evaluated

Agaves responded to different treatments evaluated by the following morphological parameters: diameter of the cone, (DPñ) and stem diameter (DTII) in centimeters; relationship DPN/DTII length of longest leaf (LHJ) in centimeters, width of the longest leaf (AHJ) (widest section) in centimeters, and number of leaves

**Cuadro 1. Características químicas de los sustratos evaluados.**

**Table 1. Chemical characterization of the substrates tested.**

Análisis	Polvo de coco (100%)	Turba (100%)	<sup>1</sup> Testigo	<sup>2</sup> Composta (%)				<sup>3</sup> Estándares recomendados
				30	50	70	100	
pH* (en agua 1:5)	5.70	4.40	6.80	6.90	7.20	7.30	7.90	5.2-6.3
Materia orgánica (% BS)	91.8	94.5	68.8	53.7	44.5	44.3	45.7	>80
Cenizas (% BS)	8.2	5.5	31.2	46.3	55.5	55.7	54.3	<20
C <sub>org</sub> (%)	53.25	54.79	39.88	31.14	25.81	25.71	26.51	SD
CE (dS m <sup>-1</sup> )	0.31	0.24	0.27	0.80	1.50	1.52	1.11	0.75-3.49
Nt (%)	0.48	0.77	0.79	0.98	1.08	1.21	1.54	0.01-0.012
P (%)	0.09	0.03	0.11	0.13	0.15	0.15	0.28	0.0006 - 0.001
K (%)	1.63	0.07	0.82	0.34	0.26	0.24	0.21	0.015-0.025
Ca (%)	0.26	0.66	3.01	4.76	5.68	6.13	8.53	>0.02
Mg (%)	0.11	0.38	0.21	0.32	0.37	0.39	0.44	>0.07

CE= conductividad eléctrica; Nt= nitrógeno total; C<sub>org</sub>= carbono orgánico; <sup>1</sup>= testigo: 80% polvo de coco + 10% turba + 10% composta; <sup>2</sup>= complementado con polvo de coco (v/v); <sup>3</sup>= estándares recomendados para hortalizas: Abad (1992), FAO (1994), Ansorena (1994) y Noguera *et al.* (2003); SD= sin datos.

**Cuadro 2. Características físicas de los sustratos evaluados.**

**Table 2. Physical characteristics of the substrates tested.**

Análisis	Polvo de coco (100%)	Turba (100%)	<sup>1</sup> Testigo	<sup>2</sup> Composta (%)				<sup>3</sup> Estándares recomendados
				30	50	70	100	
Densidad aparente (g cm <sup>-3</sup> )	0.07	0.11	0.15	0.25	0.37	0.46	0.58	<0.4
Densidad real (g cm <sup>-3</sup> )	1.56	1.54	1.74	1.88	1.98	1.98	1.96	1.5-2.7
<sup>4</sup> Capacidad de contenedor (%)	78.4	68.9	72.6	66.5	63.5	56.5	43.1	55 - 70
Porosidad total (%)	95.8	92.7	91.3	86.7	81.3	76.8	70.2	70 - 85

<sup>1</sup>= testigo= 80% polvo de coco + 10% turba + 10% composta; <sup>2</sup>= complementado con polvo de coco (v/v); <sup>3</sup>= Ansorena (1994) y Abad (1995); <sup>4</sup>capacidad de contenedor= máxima cantidad de volumen de agua retenida por un sustrato.

Se realizó un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones, considerando cada planta como unidad experimental. Los resultados se evaluaron estadísticamente

(N° H<sub>j</sub>). The cone is formed with the bases of the leaves and stem which is located within the cone; organs that accumulate reserves.

mediante análisis de varianza (ANVA) y comparación de medias por DMS y se realizaron a través del paquete estadístico SPSS® versión 15.0.1.

### **Variabes evaluadas**

La respuesta de los agaves a los diferentes tratamientos se evaluó mediante los siguientes parámetros morfológicos: diámetro de la piña, (DPñ) y diámetro del tallo (DTII) en centímetros; relación DPñ/DTII; longitud de la hoja más larga (LHj) en centímetros; anchura de la hoja más larga (AHj) (sección más ancha) en centímetros, y número de hojas (N° Hj). La piña se forma con las bases de las hojas, y el tallo que se encuentra dentro de la piña; son órganos que acumulan reservas.

### **Conducción del experimento**

Los contenedores, con capacidad de 1.11 L, se llenaron hasta el tope con los tratamientos de sustratos y a cada uno de ellos se les aplicó 7.5 g de la fórmula fertilizante 16-16-16, más 11 g de insecticida organofosforado. Cada tratamiento, que estuvo compuesto de 20 macetas, fue ubicado aleatoriamente dentro de dos bloques del invernadero, junto a las plantas de la producción comercial con el fin de proporcionarles el mismo manejo; allí mismo se realizó el trasplante de los agaves. Durante el periodo experimental, los tratamientos recibieron entre 7 y 14 fertirriegos por mes con quelatos de hierro y manganeso, sulfato de magnesio, nitrato de calcio, y fórmulas N-P-K 18-18-18 (período septiembre-diciembre) y 15-30-15 (período enero-mayo). A los nueve meses, término de la fase experimental, se tomaron al azar cuatro plantas por tratamiento a las cuales se les eliminó en todo lo posible el sustrato de las raíces, se envolvieron en papel periódico y se depositaron en bolsas de plástico para su almacenamiento a 6 °C en un refrigerador marca Ojeda Refrigeración modelo RV2P-36 hasta el momento de la cuantificación en fresco. Para la medición del diámetro de la piña y del tallo se empleó un vernier digital Mitutoyo, y para la longitud y anchura de la hoja se utilizó un flexómetro marca Surtex de 3 m.

## **Resultados y discusión**

### **Efectos de los sustratos en la morfología de la planta**

Los resultados del análisis de varianza de los parámetros morfológicos en el agave presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en el número de hojas por planta y altamente

### **Conducting the experiment**

Containers with a capacity of 1.11 L, filled the brim with substrates and treatments each were administered 7.5 g of 16-16-16 fertilizer formula plus 11 g of organophosphate insecticide. Each treatment, which was composed of 20 pots were randomly located within two blocks of the greenhouse, next to the commercial production plant in order to provide the same operation. During the experimental period, the treatments received between 7 and 14 months per fertirrigation with chelate of iron and manganese, magnesium sulfate, calcium nitrate and 18-18-18 NPK formulas (September-December period) and 15-30-15 (January-May period). At nine months, the end of the experimental phase, four seedlings were randomly per treatment which were eliminated as much as possible the soil from the roots, wrapped in newspaper and placed in plastic bags for storage at 6 °C in a refrigerator cooling, mark Ojeda model RV2P-36, until quantification. For measuring the diameter of the cone and stem employed a Mitutoyo digital vernier, and to the length and width of the blade we used a flexometer, mark Surtex of 3 m.

## **Results and discussion**

### **Effects of the substrates on the morphology of the plant**

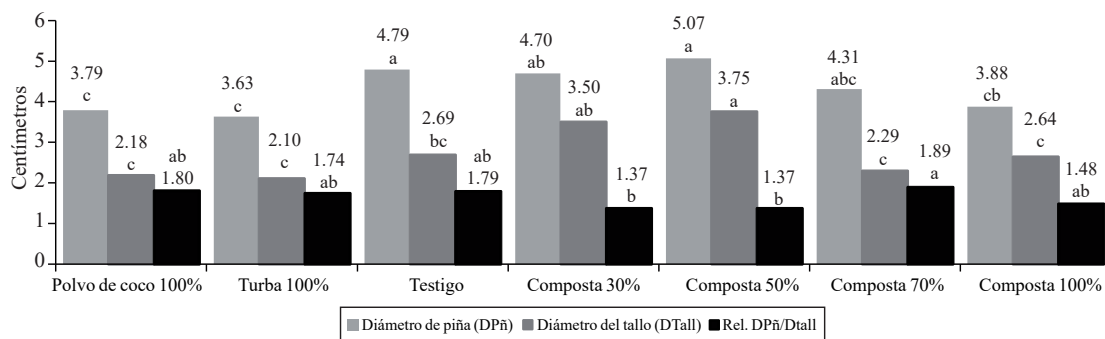
The results of the analysis of variance on morphological parameters had significant differences ( $p < 0.01$ ) in the number of leaves per plant, and highly significant ( $p < 0.01$ ) in the diameter of the cone and stem length and width of the sheet, and the diameter/pineapple ratio. The comparison of means test (DMS) with agave compost was statistically differential on the morphological variables. Mean comparison showed that 50% compost treatment was accounted for the highest value in four of the six variables analyzed.

The Figure 1 shows that, the diameter of the cone (DPñ) and the stem (DTII) progressively increased by increasing the proportion of compost of agave in the substrate, the largest diameter observed in 50% compost substrate, surpassing the substrates of coconut powder and peat.

The response variables pineapple diameter and stem diameter were sufficiently sensitive to the substrates studied, especially the 50% compost treatment, which marked a

significativas ( $p < 0.01$ ) en el diámetro de la piña y tallo, longitud y anchura de la hoja, y en la relación diámetro de piña/diámetro del tallo. La prueba de comparación de promedios (DMS) con composta de agave, fue estadísticamente diferencial en las variables morfológicas. La comparación de medias reflejó que la composta 50% fue el tratamiento al que correspondió el mayor valor en cuatro de las seis variables analizadas.

En la Figura 1 se aprecia que el diámetro de la piña (DPñ) y del tallo (DTII) aumentaron progresivamente al incrementarse la proporción de composta de agave en el sustrato, observándose el mayor diámetro en el sustrato composta 50%, superando a los sustratos de polvo de coco y turba.



**Figura 1. Efecto de los sustratos orgánicos en el diámetro de piña, diámetro del tallo y en la relación diámetro de piña/diámetro del tallo de las plantas de agave después de nueve meses de cultivo en invernadero.**

**Figure 1. Effect of organic substrates in the pineapple diameter, stem diameter and the diameter pineapple/stem ratio diameter in agave plants after nine months of cultivation in greenhouses.**

Las variables de respuesta diámetro de piña y diámetro de tallo fueron suficientemente sensibles a los sustratos estudiados, especialmente el tratamiento con 50% composta, el cual marcó una clara diferencia en el tallo, que es un órgano involucrado en las reservas de la planta, puesto que el tamaño se incrementó 40% en comparación con el testigo. Estos resultados serán útiles para ampliar el conocimiento sobre la productividad del agave tequilero, ya que como lo señalan Velasco *et al.*, (2008), la información que existe al respecto es muy escasa, en vista de que el agave es una planta que, hasta la fecha, ha sido poco estudiada.

Rendón *et al.* (2007 y 2009) señalan que la piña o cabeza del agave tequilero está formada por las bases de las hojas insertas en el tallo y el propio tallo, que almacena las reservas de azúcares no estructurales y solubles, azúcares estructurales como la celulosa y hemicelulosa presentes en las fibras y también agua. Muy probablemente, el diámetro de la piña estima el tamaño de la reserva de los azúcares totales no estructurales solubles y polisacáridos, y el tallo,

clear difference in the stem, which is an organ involved in the reserves of the plant, since the size was increased 40% compared with the control. These results will be useful to expand the knowledge on the productivity of agave tequila, since as pointed out by Velasco *et al.*, (2008), there is scarce information about it, given that the agave is a plant that, up to this date, has little been studied.

Rendón *et al.* (2007 and 2009) showed that the agave cone is formed by the bases of the leaves on the stem and inserts the stem itself, which stores structural reserves and soluble sugars, structural sugars such as cellulose and hemicellulose present in the fibers and water. Most likely, the diameter of the

cone estimates the size of the reserve of total nonstructural soluble sugars and polysaccharides, and stem mainly for polysaccharides reservation, so referred by analogy to sugar cane and other crops Garduño *et al.* (2009); Barrios *et al.* (2010).

On the other hand, the difference between the treatments diameter, pineapple/stem ratio diameter (DPñ/DTII) was highly significant, showing and confirming that includes agave bagasse compost in 30 and 50%. The lowest value of DPñ/DTII development reflects the maximum diameter of the cone and the diameter of the stem of the plant.

The Figure 2 shows that, the number of leaves in the micro-propagated plant was influenced in the same way and the pineapple stem substrates using compost of agave, information stating that, according to the test comparison of averages, treatments and compost at 30% and 50% were statistically similar to each other, and the first was only equal to the commercial control and treatments compost at 70% and 100%. These two treatments with 30% and 50% largely exceeded the substrates peat and coconut powder.

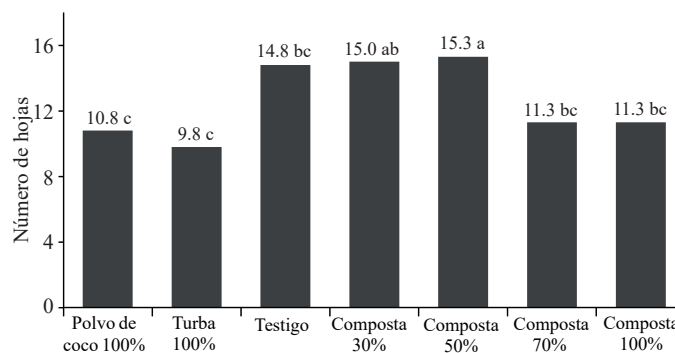
principalmente, la reserva de polisacáridos; así lo refieren en forma análoga para caña de azúcar y otros cultivos Garduño *et al.* (2009) y Barrios *et al.* (2010).

Por otra parte, la diferencia entre tratamientos para la relación diámetro de piña/diámetro del tallo (DPñ/DTll) fue altamente significativa, lo cual mostró y ratificó como mejores los que incluyen composta de bagazo de agave en 30 y 50%. El valor más bajo de DPñ/DTll refleja el máximo desarrollo del diámetro de la piña y del diámetro del tallo de las plantas.

En la Figura 2 se observa que el número de hojas presentes en la planta de agave micropropagado se vio influenciado de igual manera que la piña y el tallo con el uso de sustratos de composta de agave; la información expresa que, de acuerdo a la prueba de comparación de promedios, los tratamientos composta 30% y composta 50% fueron estadísticamente similares entre sí, y solamente el primero fue igual al testigo comercial y a los tratamientos composta 70% y composta 100%. Éstos dos tratamientos con composta 30% y 50% superaron ampliamente a los sustratos de polvo de coco y turba.

En la misma Figura 2 se advierte que a los tratamientos de composta 30% y composta 50% correspondió el mayor número de hojas (hasta 15), lo que significa mayor número de órganos productores de fotoasimilados y de reserva de los mismos. El significado de este hallazgo es de especial interés, ya que las hojas son las fábricas de fotoasimilados y elaboran mayor cantidad de tales productos; parte de los cuales son conducidos a los órganos de reserva y el resto son empleados en el desarrollo y mantenimiento fisiológico del vegetal, cuya eficiencia dependerá de las condiciones ecofisiológicas prevalecientes como lo señalan diferentes autores (Ruiz *et al.*, 1999; Pimienta *et al.*, 2001).

En la Figura 3 se observa que las compostas 30% y 50% propiciaron también mayor longitud y anchura de la hoja más larga de las plantas de agave. En el caso de la longitud de hoja, los mayores valores correspondieron a los tratamientos composta 30% y composta 50%, y, según la prueba de comparación de medias, éstas fueron estadísticamente similares entre sí. Por otra parte, en segundo plano, el testigo fue semejante a los promedios de los tratamientos composta 50%, 70% y 100%. En el último sitio se ubicaron el polvo de coco y turba, los cuales mostraron medidas de longitud de hoja de 14.7 y 18.5 cm, respectivamente, inferiores a la composta 30%.



**Figura 2. Efecto de los sustratos orgánicos en el número de hojas de las plantas de agave azul después de nueve meses de cultivo en invernadero.**

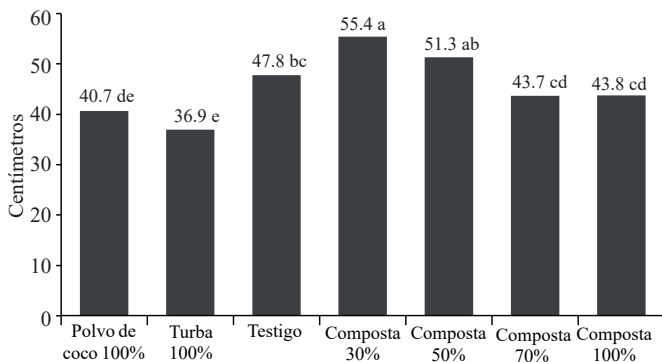
**Figure 2. Effect of organic substrates in the number of leaves of blue agave plants after nine months of cultivation in greenhouse.**

In the same Figure 2 we see that, the treatment of compost 30% and 50% was corresponded to the highest number of leaves (up to 15), which means more organs producing photo-assimilate and reserves. The significance of this finding is of particular interest, since the leaves are the factories of photo-assimilates and produce many products, some of which are taken to the storage organs and the rest are employed in the physiological development and maintenance instructions whose efficiency depends on the conditions prevailing as pointed by different authors (Ruiz *et al.*, 1999; Pimienta *et al.*, 2001).

The Figure 3 shows that, the compost at 30% and 50% also led to a higher length and width of the longest leaf of agave plants. In the case of leaf length, the highest values corresponded to the compost at 30% and compost at 50%, and according to the comparison of means test, they were statistically similar. Moreover, on another level, the control was similar to the averages of the compost treatments 50%, 70% and 100%. In the latter we placed coconut powder and peat, which showed leaf length measurements of 14.7 and 18.5 cm, respectively, below the compost at 30%.

Regarding the difference in the width of the largest leaf, the Figure 4 shows that the highest values correspond to all the treatments with compost, especially at 50% followed by the compost at 70%, although according to the comparison of means test all compost mixtures were statistically equal. However, the two aforementioned composts statistically





**Figura 3. Efecto de los sustratos orgánicos en la longitud de la hoja más larga de las plantas de agave azul después de nueve meses de cultivo en invernadero.**

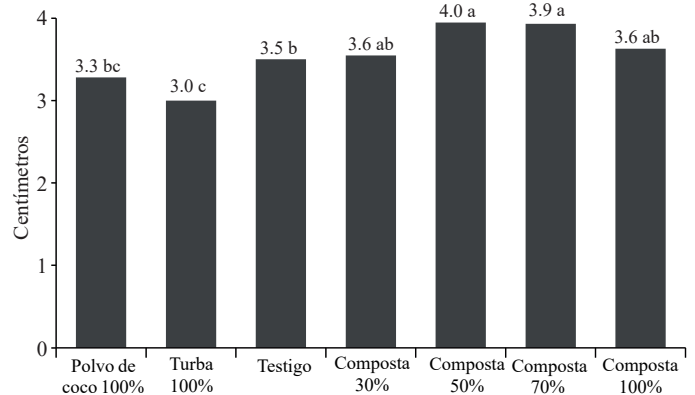
**Figure 3. Effect of organic substrates on the length of the longest leaf of blue agave plants after nine months of cultivation in greenhouses.**

Con respecto a la diferencia en la anchura de la hoja más larga de los agaves, en la Figura 4 se aprecia que los valores más altos correspondieron a todos los tratamientos con composta, destacando en primer lugar la composta 50% y en segundo lugar la composta 70%, aunque de acuerdo a la prueba de comparación de promedios todas las mezclas de compostas resultaron estadísticamente iguales entre sí. No obstante, las dos compostas antes citadas superaron estadísticamente al testigo, al polvo de coco y a la turba, con medidas que fluctuaron entre 0.5 y 1 cm respectivamente.

Aunque son escasos los trabajos referidos a las respuesta morfológicas del agave tequilero (Velasco *et al.*, 2008), es posible establecer que en la presente investigación las características de los sustratos formulados con compostas de agave tequilero sí influyeron en el diámetro de piña, diámetro del tallo, número de hojas y dimensiones de la hoja más larga dimensiones de la hoja, mismas que funcionaron bien como indicadores del comportamiento biológico del cultivo; además, estos indicadores pueden ser utilizados como tales en cualquier fenofase del cultivo para evaluar su desarrollo agronómico, lo cual no es posible si la evaluación se hace exclusivamente con el rendimiento de campo.

El pH de los tratamientos de composta 30%, 50% y 70% varió entre 6.9 y 7.3, valores que se ubican razonablemente dentro del rango 6.5 a 7, el cual permite la mayor asimilación de nutrientes para la mayoría de las plantas (Brady y Weil, 1996), y coincide, además, con los requerimientos de pH de 6 a 8 sugeridos para el género *Agave* por la FAO (1994). De la misma manera, la conductividad eléctrica en dichos sustratos fluctuó entre 0.80 y 1.52 dS m<sup>-1</sup>, intervalo sugerido para el

outperformed the control, the coconut powder and peat, with measures that fluctuated between 0.5 and 1 cm, respectively.



**Figura 4. Efecto de los sustratos orgánicos en la anchura de la hoja más larga de las plantas de agave azul después de nueve meses de cultivo en invernadero.**

**Figure 4. Effect of organic substrates on the width of the largest leaf of blue agave plants after nine months of cultivation in greenhouses.**

Although there are few studies related to the morphological response in blue agave (Velasco *et al.*, 2008), it is possible to establish that in this research the characteristics of the substrates did influenced the pineapple diameter, stem diameter, leaf number and dimensions of the largest leaf, which worked well as indicators of the biological behavior of the crop, in addition, these indicators can be used as such in any phenohase of the cultivation to evaluate their agronomic development which is not possible if the assessment is made exclusively with yield in field.

The pH of the compost treatments at 30%, 50% and 70% varied between 6.9 and 7.3, values located reasonably within the range 6.5 to 7, which allows the highest uptake of nutrients for most plants (Brady and Weil, 1996), and also coincides with the requirements of pH 6-8 for agave, suggested by FAO (1994). Likewise, the electrical conductivity in these substrates ranged between 0.80 and 1.52 dS m<sup>-1</sup>, suggested ranges for growing plants without soil (0.75-3.49 dS m<sup>-1</sup>) (Abad, 1992). On the other hand, the contents of calcium and magnesium were high in the compost at 30%, 50% and 70%. In the case of calcium, the concentration varied between 4.76 and 6.13%, higher than the control values between 58% and 104%. This condition, plus the additional contribution of calcium nitrate fertigation should significantly facilitate the growth of blue agave as Kimaro *et al.* (1994) state that, the sisal

cultivo de plantas sin suelo ( $0.75 - 3.49 \text{ dSm}^{-1}$ ) (Abad, 1992). Por otra parte, los contenidos de calcio y magnesio fueron altos en las compostas 30%, 50% y 70%. En el caso del calcio, la concentración varió entre 4.76 y 6.13%, valores superiores al testigo entre 58 y 104%. Ésta condición, más la aportación adicional de nitrato de calcio por el fertirriego, debió favorecer de manera importante al crecimiento del agave azul, ya que Kimaro *et al.* (1994) manifiestan que el agave sisal (*Agave sisalana*), cultivado ampliamente en Tanzania, es una planta muy demandante de calcio. Asimismo, el contenido de magnesio, que en estas compostas varió entre 0.32 y 0.39% (52-286% más alto que el testigo) probablemente influyó también de manera importante en la respuesta de las variables morfológicas del agave, conjuntamente con el magnesio que se proporcionó en el fertirriego.

Con respecto a la influencia de las compostas 30%, 50% y 70% sobre las características físicas del sustrato (Cuadro 2), destaca sobre todo la densidad aparente, que es la medida de la biomasa seca por unidad de volumen. En las compostas antes citadas, este valor fue de 0.25, 0.37 y 0.46  $\text{g cm}^{-3}$  respectivamente; las dos primeras, se ubicaron dentro del nivel recomendado para sustratos ( $<0.4 \text{ g cm}^{-3}$ ) (Ansorena, 1994 y Abad, 1995), mientras que la composta 70% fue un poco superior al límite. Comparadas con el testigo, estas compostas tuvieron una densidad aparente dos a tres veces superior, lo que pudiera atribuirse a que el compostaje del bagazo se realizó sobre el suelo desnudo, y por lo tanto, contenía partículas de suelo. No obstante, el mayor peso por volumen de las compostas puede representar una ventaja para plantas de agave que se cultivan durante varios meses en invernadero, ya que al ser más pesado el contenedor, éste se mantiene estable en el piso, lo que no se logra con los sustratos comerciales que son más ligeros.

Lo anterior coincide con Cadahía (2005), quien recomienda altas densidades aparentes ( $0.50 - 0.75 \text{ g cm}^{-3}$ ), para plantas que se cultivan al aire libre o en vivero. En relación a la densidad real, que es la biomasa seca por unidad de volumen sin considerar los poros, Ansorena (1994) y Abad (1995) sugieren valores entre 1.50 y 2.70  $\text{g cm}^{-3}$ , rango dentro del cual se ubicaron todos los sustratos estudiados en la presente investigación (intervalo 1.54-1.98  $\text{g cm}^{-3}$ ). En tanto que la capacidad de contenedor, que representa la máxima cantidad de agua retenida por un sustrato, fue superior en todos los sustratos comerciales (testigo, polvo de coco y turba) en comparación con las mezclas de composta. Los sustratos comerciales variaron entre 68.9 y 78.4%, mientras que las compostas 30%, 50% y 70% fluctuaron entre 56.5%

agave (*Agave sisalana*) widely cultivated in Tanzania, is a very demanding plant of calcium. Also, the magnesium content in these composts ranged from 0.32 to 0.39% (52-286% higher than the control) probably also influenced significantly in response of the morphological variables, together with the magnesium that was provided in the fertigation.

With respect to the influence of the compost at 30%, 50% and 70% of the physical characteristics of the substrate (Table 2) particularly highlights the apparent density, which is the measure of dry biomass per unit of volume. In the compost mentioned, this value was 0.25, 0.37 and 0.46  $\text{g cm}^{-3}$ , respectively, the first two were within the recommended level for substrates ( $<0.4 \text{ g cm}^{-3}$ ) (Ansorena, 1994 and Abad, 1995) while the compost at 70% was just over the limit. Compared to the control, this compost had a density two to three times higher which may be attributable to that composting bagasse on bare soil, and therefore containing soil particles. However, the highest weight per volume of the compost may be an advantage for agave plants grown for several months in the greenhouse, as being a heavier container it is stable on the floor, which is not achieved with commercial substrates that are lighter.

This coincides with Cadahía (2005), who recommends high bulk densities ( $0.50$  to  $0.75 \text{ g cm}^{-3}$ ) for plants grown outside or in the nursery. Regarding the true density, which is dry biomass per unit volume regardless of the pores Ansorena (1994) and Abbot (1995) suggest values between 1.50 and 2.70  $\text{g cm}^{-3}$ , the range within which all substrates were placed in this investigation (range 1.54-1.98  $\text{g cm}^{-3}$ ). While the capacity of the container, which represents the maximum amount of water retained by a substrate, was superior in all the commercial substrates (control, peat and coconut powder) compared with the compost mixtures. Commercial substrates varied between 68.9 and 78.4%, while the compost at 30%, 50% and 70% ranged between 56.5 and 66.5% due to the compost that was not of 100% organic material but containing soil particles incorporated during the composting. However, it is expected that this feature has affected the development of the agaves, as they received continuous irrigation throughout the greenhouse phase, so that the plants do not consume the reserves required.

Regarding the porosity, representing the amount of empty space between the particles within them Ansorena (1994) and Abbot (1995) recommend a range between 70 and 85%

y 66.5 debido a que la composta no fue un material 100% orgánico, sino que contenía partículas de suelo incorporado durante el compostaje. Sin embargo, no es de esperarse que esta característica haya afectado el desarrollo de los agaves, ya que éstos recibieron riego continuo durante toda la fase de invernadero, de modo que las plantas no requirieron consumir las reservas de almacenamiento de agua de los sustratos.

En relación a la porosidad, que representa la suma del espacio vacío entre partículas y dentro de ellas, Ansorena (1994) y Abad (1995) recomiendan un intervalo entre 70 y 85% de espacio poroso para sustratos hortícolas, valor que fue superado notablemente por los sustratos comerciales estudiados; sin embargo, en el caso de las mezclas con composta, esta porosidad fue muy variable: la composta 30% superó ligeramente al estándar recomendado (86.7%) y las compostas 50% y 70% estuvieron dentro de ese rango (81.3% y 76.8%, respectivamente). Esto se explica por la mayor densidad de las compostas que contenían partículas de suelo y, a la vez, refleja la conveniencia de mezclar la composta con polvo de coco para mejorar su grado de porosidad.

Para finalizar, cabe mencionar que los niveles de mezcla de composta 30% y 50%, que arrojaron los mejores resultados en casi todas las variables morfológicas del agave en esta investigación, coinciden con la recomendación para la formulación de sustratos que hace Fischer (2000), quien propone mezclas entre 20 y 40% de composta de desechos de jardinería, y Chong (2005), quien sugiere niveles entre 30% y 50% con composta elaborada con desechos de jardinería y residuos de granja.

## Conclusiones

Tres tratamientos que se prepararon a base de compostas de bagazo de agave produjeron diferencias significativas y altamente significativas en las variables morfológicas evaluadas y superaron ampliamente a los efectos del polvo de coco y la turba. Las compostas 30 y 50% produjeron el mayor efecto sobre el diámetro de piña y el tallo, al igual que sobre el número de hojas y la longitud de hoja; así mismo, todas las mezclas con composta incrementaron la anchura de la hoja.

Los resultados obtenidos reflejan la posibilidad de sustituir al sustrato comercial (testigo) con los sustratos de composta, particularmente con las mezclas 30%, 50% y 70%. Al hacer esta sustitución, se aprovecharía un abundante desecho

pore space in horticultural substrates, values significantly exceeded by commercial substrates; however, in the case of mixtures with compost, this porosity was highly variable: compost at 30% slightly exceeded the recommended standard (86.7%) and compost at 50% and 70% were within that range (81.3% and 76.8%, respectively). This is explained by the higher density of the compost containing soil particles and, in turn, reflects the desirability of compost mixed with coconut powder to enhance its degree of porosity.

Finally, we mention that the compost mix levels at 30% and 50%, which yielded the best results in almost all the morphological variables in this research, agree with the recommendation for the development of substrates that makes Fischer (2000), who proposed mixtures between 20 and 40% of green waste compost, and Chong (2005), who suggests levels between 30% and 50% with compost made from yard waste and farm waste.

## Conclusions

Three treatments prepared with agave bagasse composts produced significant and highly significant differences in the morphological variables evaluated and far exceeded the effects of coconut powder and peat moss. The composts at 30 and 50% produced the highest effect on the diameter of the cone and stem, as well as on the number of leaves and the leaves length; likewise, all the mixtures with compost increased the width of the leaves.

The results show the possibility for replacing the commercial substrate (control) with compost substrates, particularly with mixtures at 30%, 50% and 70%. By making this substitution, an extensive waste of the tequila industry would be used (bagasse) through composting, avoiding environmental pollution, and reducing production costs, since the compost can be made locally.

Finally, given the limited information on the cultivation of agave in greenhouse, this research represents a first evidence that, the morphological variables used can serve as quality standards of these plants before moving to the stage of field planting.

*End of the English version*



de la industria tequilera (bagazo) a través del compostaje, evitándose así la contaminación ambiental, además de reducir los costos de producción, ya que la composta puede elaborarse localmente.

Finalmente, ante la escasa información sobre el cultivo de agave en invernadero, la investigación realizada representa una primera evidencia de que las variables morfológicas utilizadas pueden servir como estándares de calidad de estas plantas antes de pasar a la fase de plantación en campo.

## Literatura citada

- Abad, M. 1992. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. Actas de las I Jornadas de Sustratos. Sociedad Española de Ciencias Hortícolas. España. 115 p.
- Abad, M. 1995. Sustratos para el cultivo sin suelo. *In*: Nuez, V. F. (Ed.). El cultivo del tomate. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 793 p.
- Aguilar, B. O.; López, M. G.; Richiling, E.; Heckel, F. and Schreir, P. 2002. Tequila authenticity assessment by headspace SPME-HRGG-IMRS analysis of  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  and  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  ratios of ethanol. *J. Agric. Food Chem.* 50:7520-7523.
- Ansorena, J. 1994. Sustratos. Propiedades y caracterización. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 172 p.
- Barrios, E. J.; López, C.; Kohashi, J.; Acosta J. A.; Miranda y Mayek, N. 2010. Rendimiento de semilla, y sus componentes en frijol Flor de Mayo en el centro de México. *Agrociencia* 44:481-489.
- Brady, N. C. and Weil, R. R. 1996. The nature and properties of soils. Prentice Hall. 11<sup>th</sup> (Ed.) New Jersey, U.S.A. 286 p.
- Briceño, S.; Zambrano, J.; Materano, W.; Quintero, I. y Valera, A. 2005. Calidad de los frutos de mango "Bocado" madurados en la planta y fuera de la planta cosechados en madurez fisiológica. *Agron. Trop.* 55(4):461-473.
- Cadahía, L. C. 2005. Fertirrigación. Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. Ediciones Mundi-Prensa. 3<sup>a</sup> ed. Madrid, España. 681 p.
- Cedeño, C. M. 1995. Tequila production. *Critical reviews in biotechnology* 15(1):1-11.
- Chong, C. 2005. Experiences with wastes and composts in nursery substrates. *Hort. Tech.* 15(4):739-747.
- Consejo Regulador del Tequila (CRT). 2012. Estadísticas oficiales de producción de tequila y consumo de agave del año 2011. <http://www.crt.org.mx>. (consultado junio, 2012).
- De Sousa, O. y Rea, R. 1993. Correlación entre los componentes de rendimiento y calidad en cinco cultivares híbridos de caña de azúcar. *Rev. Caña de Azúcar.* 11(1):45-52.
- Estévez, I.; Seoane, S.; Núñez, A. and López, M. E. 2009. Characterization and evaluation of compost utilized as ornamental plant substrate. *Compost Sci. Utilization.* 17(4):210-219.
- Fischer, P. 2000. *Gräterische substrate. Auswertung und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (aid).* Bonn (Alemania). 51 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 1994. ECOCROP I. The adaptability level of the FAO crop environmental requirement database. Version 1.0 AGLS, FAO. Rome, Italy.
- Garduño, J.; Morales, E. J.; Guadarrama, S. y Escalante, J. A. 2009. Biomasa y rendimiento de frijol con potencial ejotero en unicultivo y asociado con girasol. *Rev. Chapingo Serie Horticultura.* 15:33-39.
- Hernández, L. F. 2004. Gestación de los componentes del rendimiento del girasol. Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur. *Agrouns* 1(2):5-8.
- Kemarian, A. R.; Stöckle, C. O.; Huggins, D. R. and Viega, L. M. 2007. A simple method to estimate harvest index in grain crops. *Field Crop. Res.* 103:208-216.
- Kimaro, D. N.; Sanya, B. M. and Takamura, Y. 1994. Review of sisal production and research in Tanzania. *African Study Monographs.* 15(4):227-242.
- Larqué, A.; Magdub, A. y Cáceres, M. 2004. Proceso para la fabricación de bebida alcohólica a partir del henequén (*Agave fourcroydes*). Patente de invención Núm. 219235, otorgada por el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI). *Gaceta de la Propiedad Industrial: Invenciones, modelos de utilidad y diseños Industriales.* México. 27 pp.
- Legorreta, E. y Ogura, T. 2002. Proceso, composición y usos de inulina de agave en polvo y solución. Patente de invención WO 02/066517 A1. Organización Mundial de la Propiedad Industrial (WIPO). Naciones Unidas, Ginebra, Suiza. 21 p.
- López, M. G.; Mancilla, N. A. and Mendoza, G. 2003. Molecular structures of fructans from *Agave tequilana* Weber var. azul. *J. Agric. Food Chem.* 51:7835-7840.
- Noguera, P.; Abad, M.; Puchades, R.; Maquieira, A. and Noguera, V. 2003. Influence of particle size on physical and chemical properties of coconut coir dust as container medium. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 34:593-605.
- Pimienta, E.; Robles, C. and Nobel, P. S. 2001. Net CO<sub>2</sub> Uptake for *Agave tequilana* in a warm and a temperate environment. *Biotropica* 33(2):312-316.
- Raviv, M. and Leith, J. H. 2008. *Soilless culture: theory and practice.* Elsevier, San Diego, CA, U.S.A. 587 p.
- Rendón, L. A.; Magdub, A.; Hernández, L. y Larqué, A. 2007. El jarabe de henequén (*Agave fourcroydes* Lem). *Rev. Fitotec. Mex.* 30(4):463-467.
- Rendón, L. A.; Colunga, M. P.; Barahona, L. F.; Pimienta, E.; Magdub, A. and Larqué, A. 2009. Sugars and alcoholic byproducts from henequen (*Agave fourcroydes*) as influenced by plant age and climate. *Rev. Fitotec. Mex.* 32(1):39-44.
- Reta, D. G.; Gaytán, A. y Carrillo, J. S. 2003. Rendimiento y componentes del rendimiento de maíz en respuesta a arreglos topológicos. *Rev. Fitotec. Mex.* 26(2):75-80.
- Rodríguez, M. R.; Pascoe, S.; Zamora, N. F.; Álvarez de la Cuadra, J. y Salcedo, E. 2001. Evaluación de sustratos vegetales elaborados a partir de residuos de la industria tequilera. *In*: Memorias del I Congreso Nacional de Agricultura Sustentable. Veracruz, México. 257-259 pp.
- Rodríguez, M. R. 2004. Desarrollo y caracterización de sustratos orgánicos a partir de bagazo de agave tequilero. Tesis de Doctorado en Ciencias. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, Estado de México. 128 p.

- Rodríguez, L. B.; Uhart, S. A.; Andrade, F. H.; Echeverría, H. E. y Rozas, H. S. 2004. Componentes del rendimiento en el cultivo del maíz (*Zea mays*) ante diferentes dosis de nitrógeno. Centro Agrícola. 31(1-2):36-40.
- Ruiz, J. A.; Medina G.; González, I. J.; Ortiz, C.; Flores, H. E.; Martínez, R. y Byerly, K. F. 1999. Agave. Requerimientos agroecológicos de cultivos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro (CIRPCE), México. Libro técnico Núm. 3. 11-13. pp.
- Ruiz, J. A. 2007. Requerimientos agroecológicos y potencial productivo del agave *Agave tequilana* Weber en México. In: conocimientos y prácticas agronómicas para la producción de *Agave tequilana* Weber en la zona de denominación de origen del tequila. Pérez, J. F. y Del Real, J. I. (Eds.). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro, Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco, México. Libro técnico Núm. 4. 11-36. pp.
- Torres, M.; Morales, M. M.; Santacruz, F. y Rodríguez A. 2006. Micropropagación por organogénesis *in vitro* de *Agave tequilana* Weber variedad azul. Instituto de Manejo y Aprovechamiento de Recursos Fitogenéticos. Departamento de Producción Agrícola. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad de Guadalajara. México. 89 p.
- Velasco, A.; Torres, M. I.; Nuño R.; Hurtado, S. A. y Velasco, A. P. 2008. Definición de rangos para caracteres morfológicos en plantaciones comerciales de agave tequilero. In: XIX Semana Nacional de la Investigación Científica. Carvajal, M. S. y Pimienta, B. E. (Eds.). Avances en la investigación científica en el Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, México. 81-85. pp.
- Yang, J. and Zhang, J. 2010. Crop management techniques to enhance harvest index in rice. J. Exp. Botany 61(12):3177-3189.