

# DEVELOPMENT, YIELD, AND QUALITY OF MELON FRUIT (*Cucumis melo* L.) INOCULATED WITH MEXICAN NATIVE STRAINS OF *Bacillus subtilis* (EHRENBERG)

## DESARROLLO, RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL FRUTO DE MELÓN (*Cucumis melo* L.) DE PLANTAS INOCULADAS CON CEPAS MEXICANAS DE *Bacillus subtilis* (EHRENBERG)

Ma. del Rosario Abraham-Juárez<sup>1</sup>, Isidro Espitia-Vázquez<sup>1</sup>, Rafael Guzmán-Mendoza<sup>1</sup>, Víctor Olalde-Portugal<sup>2</sup>,  
Graciela M. de la L. Ruiz-Aguilar<sup>1</sup>, José L. García-Hernández<sup>3</sup>, Lisset Herrera-Isidró<sup>4</sup>, Héctor G. Núñez-Palenius<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Life Sciences Division, Campus Irapuato-Salamanca, University of Guanajuato. 36500. Irapuato Guanajuato, México. (palenius@ugto.mx). <sup>2</sup>Center of Research and Advanced Studies CINVESTAV-Irapuato Unit. Km. 9.6 Libramiento Norte Carr. Irapuato-León. 36821. Irapuato Guanajuato, México. <sup>3</sup>Agriculture and Veterinary Faculty of the University of Juarez in the state of Durango. Ejido Venecia. 35111. Municipio de Gómez Palacio, Durango, México. <sup>4</sup>Professional Interdisciplinary Engineering Unit. Guanajuato Campus. IPN. Avenida Mineral de Valenciana No. 200 Col. Fraccionamiento Industrial Puerto Interior. 36275. Silao de la Victoria, Guanajuato México.

### ABSTRACT

Strains of *Bacillus subtilis* increase plant growth and yield. Consequently, the application of Mexican native strains of *B. subtilis* on greenhouse-grown melon (*Cucumis melo* L.) plants should induced a significant improvement on plant development and fruit quality. The objective of this study was to evaluate the effect of LAL-36, BEB-23, BEB-22 and BEB-13 *B. subtilis* strains, native to Mexico, on melon plant development and fruit quality. The strains were placed separately into the rhizosphere of melon plants under greenhouse conditions. Plants were grown in clinoptilolite type zeolite. Five treatments were evaluated: four inoculated with one of the four *B. subtilis* strains and one control without bacterial inoculum. A completely randomized design with nine repetitions was used in the experiment. The data were statistically analyzed with a one way-ANOVA and a mean comparison using the Tukey's test. The root wet and dry weight depicted a sustained tendency with the greatest values and with significant statistical differences with LAL-36 and BEB-22 strains. The greatest values for shoot dry weight were 164.76 g for the LAL-36 and 162.14 g for BEB-22. The highest value for root dry weight was 64.55 g with the LAL-36 strain. The greatest values in height and foliar area (482.22 cm<sup>2</sup> and 398.41 cm<sup>2</sup>) were observed in the plants treated with BEB-23 strain. Utmost fruit yield (97.76 t ha<sup>-1</sup>) was observed in the plants inoculated with LAL-

### RESUMEN

Las cepas de *Bacillus subtilis* aumentan el crecimiento y el rendimiento de las plantas. Por lo tanto, la aplicación de cepas nativas mexicanas de *B. subtilis* en melón cultivado en invernadero (*Cucumis melo* L.) debería inducir una mejora significativa en el desarrollo de la planta y la calidad del fruto. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de las cepas nativas de México de *B. subtilis*, LAL-36, BEB-23, BEB-22 y BEB-13, en el desarrollo de la planta de melón y en la calidad del fruto. Las cepas se colocaron por separado en la rizósfera de las plantas de melón en condiciones de invernadero. Las plantas se cultivaron en zeolita tipo clinoptilolita. Los tratamientos fueron cinco: cuatro inoculados con una de las cuatro cepas de *B. subtilis* y un testigo sin inóculo bacteriano. El diseño experimental fue completamente al azar con nueve repeticiones. Los datos se analizaron estadísticamente con ANDEVA de una vía y prueba Tukey para comparar las medias. Con las cepas LAL-36 y BEB-22, los pesos fresco y seco de la raíz mostraron tendencia constante de los valores mayores y diferencias estadísticamente significativas. Los valores mayores de peso seco del vástago fueron 164.76 g con LAL-36 y 162.14 g con BEB-22. El valor mayor de peso seco de la raíz fue 64.55 g con la cepa LAL-36. Los valores mayores en altura y área foliar (482.22 cm y 398.41 cm<sup>2</sup>) se observaron en las plantas tratadas con la cepa BEB-23. El rendimiento máximo del fruto (97.76 t ha<sup>-1</sup>) se observó en las plantas inoculadas con la cepa LAL-36; esta cepa también propició calidad excepcional del fruto, aunque las diferencias fueron menores comparadas con los otros tratamientos. La inoculación de la cepa *B. subtilis* LAL-36 en plantas de melón causó los efectos más destacados

\* Author for correspondence ❖ Autor responsable.

Received: July, 2016. Approved: August, 2017.

Published as ARTICLE in *Agrociencia* 52: 91-102. 2018.

36 strain; this strain also induced exceptional fruit quality, although the differences were lower compared to the other. The inoculation of *B. subtilis* LAL-36 strain on melon plants caused the most outstanding effects during the production of greenhouse-grown melon fruits, increasing the yield in 20 %. Therefore, using Mexican native strains of *B. subtilis* is possible to obtain high quality melon fruits with increased profits.

**Keywords:** zeolite, PGPR, protected agriculture, postharvest, cucurbits

## INTRODUCTION

The melon (*Cucumis melo* L.) belongs to the family of cucurbits, and it is an important crop at a worldwide level (FAO, 2016). This crop is cultivated in tropical and subtropical regions of the world, although it is also cultivated in temperate climate regions under protected agriculture (Gómez-Guillamón *et al.*, 1997; Robinson and Decker-Walters, 1997). Seven important varieties of the *C. melo* species are recognized: *cantaloupensis* Naud., *reticulatus* Ser., *saccharinus* Naud., *inodorus* Naud., *flexuosus* Naud., *conomon* Mak., and *dudaim* Naud. (Kirkbride, 1993). Of them, *cantaloupensis*, *reticulatus*, and *inodorus* are the ones with the most cultivars in the world. In Mexico, the melon-planted area for 2014 was 18 454 ha. The total production of fresh fruit was 526 991 t, with an average yield of 28.79 t ha<sup>-1</sup> and an economical value of 181.79 million United States dollars (SIAP, 2016), placing Mexico as an important exporter of melons. For instance, in 2013, 145 688 t were exported, with a value of over 105 million USA dollars (FAOSTAT, 2017).

However, regardless of the previously stated facts, the melon crop in Mexico is facing diverse problems in agronomical management (Ayala and Carrera, 2012), with attacks from pests, diseases, and issues in nutrition being the most occurring problems. All these problems are due to the market tendencies of soliciting fruit that is free of agrochemical residues. In regards to this issue, diverse microorganisms have beneficial effects when they are present in the rhizosphere of the crops. Among the beneficial bacteria with greatest potential in the cultivation of vegetables, the following can be found: *Pseudomonas*, *Serratia*, *Streptomyces*, *Calothrix*, *Aureobasidium*, and

durante la producción de frutos con el cultivo en invernadero, aumentando el rendimiento en un 20 %. Por lo tanto, al usar cepas nativas mexicanas de *B. subtilis* se pueden obtener frutos de melón de alta calidad con mayores ganancias.

**Palabras clave:** zeolita, PGPR, agricultura protegida, poscosecha, cucurbitáceas

## INTRODUCCIÓN

El melón (*Cucumis melo* L.) pertenece a la familia de las cucurbitáceas y es un cultivo importante en el mundo (FAO, 2016). Se cultiva en regiones tropicales y subtropicales del mundo, aunque también en clima templado en agricultura protegida (Gómez-Guillamón *et al.*, 1997; Robinson y Decker-Walters, 1997). Se reconocen siete variedades importantes de la especie *C. melo*: *cantaloupensis* Naud., *reticulatus* Ser., *saccharinus* Naud., *inodorus* Naud., *flexuosus* Naud., *conomon* Mak. y *dudaim* Naud. (Kirkbride, 1993). De ellos, *cantaloupensis*, *reticulatus* e *inodorus* son los que tienen más cultivos en el mundo. En México, el área plantada con melón en 2014 fue 18 454 ha. La producción total de fruto fresco fue 526 991 t, con rendimiento promedio de 28.79 t ha<sup>-1</sup> y valor económico de 181.79 millones de dólares estadounidenses (SIAP, 2016), lo que coloca a México como un exportador importante de melones. Por ejemplo, en 2013, se exportaron 145 688 t, con valor mayor a 105 millones de dólares estadounidenses (FAOSTAT, 2017).

Sin embargo, a pesar de lo señalado, la cosecha de melón en México enfrenta diversas complicaciones en el manejo agronómico (Ayala y Carrera, 2012), los problemas más frecuentes son plagas, enfermedades y problemas en nutrición. Estas dificultades se deben a la tendencia del mercado de solicitar frutos libres de residuos de agroquímicos. Al respecto, diversos microorganismos tienen efectos benéficos cuando están en la rizósfera de los cultivos. Entre las bacterias beneficiosas con mayor potencial en el cultivo de hortalizas están *Pseudomonas*, *Serratia*, *Streptomyces*, *Calothrix*, *Aureobasidium* y *Bacillus* (Choudhary y Johri, 2009; Singh *et al.*, 2011). Las especies de dichos géneros liberan un rango amplio de péptidos con actividad microbicida que incluyen pequeñas bacteriocinas y antihongos (producidos a través de la síntesis ribosomal) y peptaiboles, ciclopéptidos y pseudopéptidos, que son metabolitos secundarios no

*Bacillus* (Choudhary and Johri, 2009; Singh *et al.*, 2011). The species of said genera release a wide range of peptides with microbicide activity that includes small bacteriocins and antifungal defense, produced through the ribosomal synthesis, and peptaibols, cyclopeptides, and pseudo-peptides, which are non-peptide secondary metabolites (Montesinos, 2007). Moreover, *B. subtilis* is a Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR), belongs to this group, and can colonize the plant roots or their vicinity. The inoculation of PGPR in different crops can increase their nutritional status, and generate changes in substances like phytohormones, causing variations in plant physiology, such as increased root development, induction of systemic resistance and tolerance to certain environmental conditions (Beneduzi *et al.*, 2012). Likewise, some strains inhibit the development of pathogenic organisms through siderophores and antibiotics. Similarly, fruit quality can be improved, such as in tomato (Mena-Violante and Olalde-Portugal, 2007).

Among these bacterial genera, *Bacillus* is notorious for its ability to generate many secondary metabolites, enzymes, and plant growth regulators (Cazorla *et al.*, 2006; Ongena and Jacques, 2008). Likewise, the species of *B. subtilis*, a Gram-positive bacterium, is one of the best characterized microorganisms, genetically as well as biochemically (Ongena and Jacques, 2008). Many strains are known and they have an excellent capacity of colonization and a great versatility to protect diverse plants from pathogens (Kloepper *et al.*, 2004). Also, *B. subtilis* possesses a superior ability to sporulate, which ensures its permanence in the environment (Schallmeyer *et al.*, 2004).

*Bacillus subtilis* has shown positive effects in the quality and development of fruits other than melons, such as tomatoes (Mena-Violante and Olalde-Portugal, 2007; Mena-Violante *et al.*, 2009). Likewise, *B. subtilis*-soil inoculation, at laboratory testing, showed an increased *C. melo* plant growth (Zhao *et al.*, 2011). Some of characteristics improved by the application of *B. subtilis* related to fruit quality include: the rise in fruit size and weight, increased yield, higher resistance of fruit to degrading organism attacks, increased firmness of fruit due to the reduced ethylene production, which means a higher shelf life and increasing total soluble solids (Mena-Violante and Olalde-Portugal, 2007; Mena-Violante *et al.*, 2009).

peptídicos (Montesinos, 2007). Además, *B. subtilis* es una rizobacteria promotora del crecimiento vegetal (PGPR), pertenece a este grupo y puede colonizar las raíces de la planta o de las cercanas. La inoculación con PGPR en diferentes cultivos puede aumentar su estado nutricional y generar cambios en compuestos, como fitohormonas, que causan variaciones en la fisiología de la planta, como incremento en el desarrollo de la raíz, inducción de resistencia sistémica y tolerancia a ciertas condiciones ambientales (Beneduzi *et al.*, 2012). Asimismo, algunas cepas pueden inhibir el desarrollo de organismos patógenos a través de sideróforos y antibióticos. Del mismo modo, la calidad del fruto se puede mejorar, como ocurre en el tomate (Mena-Violante y Olalde-Portugal, 2007).

Entre estos géneros bacterianos, *Bacillus* sobresale por su capacidad de generar muchos metabolitos secundarios, enzimas y reguladores del crecimiento en las plantas (Cazorla *et al.*, 2006; Ongena y Jacques, 2008). Asimismo, la especie *B. subtilis*, una bacteria Gram-positiva, es uno de los microorganismos mejor caracterizados genética y bioquímicamente (Ongena y Jacques, 2008). Hay muchas cepas con capacidad excelente de colonización y gran versatilidad para proteger diversas plantas de patógenos (Kloepper *et al.*, 2004). Además, *B. subtilis* posee gran capacidad de esporular, lo que asegura su permanencia en el ambiente (Schallmeyer *et al.*, 2004).

*Bacillus subtilis* ha mostrado efectos positivos en la calidad y desarrollo de otros frutos aparte del melón, como el tomate (Mena-Violante y Olalde-Portugal, 2007; Mena-Violante *et al.*, 2009). Asimismo, la inoculación del suelo con *B. subtilis*, en prueba de laboratorio, mostró un incremento del crecimiento de la planta de *C. melo* (Zhao *et al.*, 2011). Algunas características relacionadas con la calidad del fruto que mejoran al aplicar *B. subtilis* incluyen: aumento en el tamaño y el peso del fruto, mayor rendimiento, resistencia a organismos degradantes y firmeza, debido a una reducción de producción de etileno, lo que significa una vida de anaquel más larga, e incremento en los sólidos solubles totales (Mena-Violante y Olalde-Portugal, 2007; Mena-Violante *et al.*, 2009).

Entonces, el uso de cepas nativas mexicanas de *B. subtilis* en el cultivo de melón podría tener efectos positivos evitando la incidencia de enfermedades y aumentando la nutrición en la planta. Con esto, se lograría mayor calidad del fruto y la posibilidad de obtener mejor precio en el mercado. Al mismo

Then, the use of Mexican native strains of *B. subtilis* in melon cultivation could have positive effects by avoiding the incidence of diseases and increasing nutrition to the plant. With this, a higher fruit quality will be attained, and the possibility to obtain a better market price. At the same time, the product will be attractive to the exportation market for its food safety traits. This focus is an attractive alternative from the environmental, economic, market, human health, and scientific points of view. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effects of four strains of *B. subtilis* (BEB-23, LAL-36, BEB-22, and BEB-13) native to Mexico on the development of melon plants (fruit yield and quality) grown under greenhouse conditions. Thus, the application of Mexican native strains of *B. subtilis* on greenhouse-grown melon plants could induce a significant improvement on plant development and fruit quality.

## MATERIALS AND METHODS

### Plant materials and crop growth conditions

The seed variety used was Top Mark (Nunhem Seeds), a melon reticulated type. The experiment was developed in a greenhouse during the Spring-Summer season in 2014. The experimental site was a greenhouse at the Life Sciences Division, Irapuato-Salamanca Campus, of the University of Guanajuato, Mexico, with an area of 90 m<sup>2</sup> (20° 44' 32.18" N and 101° 19' 52.22" W, at 1757 m of altitude). The greenhouse has a control system to maintain temperature at 22-30 °C.

The melon seed germination was conducted in laboratory conditions. Ninety melon seeds were placed in the germination chamber (Thempath Junior TE 8J, USA) at a constant temperature of 30 °C for 24 h. All germinated seeds, bearing the emerged root, were planted into a moist peat moss (Sun Shine mix # 3) substrate on a polypropylene germination tray, and kept there for 10 d at 23-25 °C. When the melon seedlings had a height of 10 cm, on average, and had two true leaves, they were transplanted to 10 L plastic black bags, which contained zeolite (clinoptilolite natural type with a 5 mm granulometry). This substrate was kindly donated by Zeolitech S. de R. L. de C. V. (Mexico). The melon plants were kept in the greenhouse until the conclusion of the experiment. The irrigation system, nutritive solution, and the frequency of irrigation were accomplished following the protocols reported by Nuñez-Palenius *et al.* (2007).

tiempo, el producto sería atractivo para el mercado de exportación por sus características en inocuidad de alimentos. Este enfoque es una alternativa atractiva desde el punto de vista ambiental, económico, científico, de mercado y de salud. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar los efectos de cuatro cepas nativas de México de *B. subtilis* (BEB-23, LAL-36, BEB-22 y BEB-13) en el desarrollo de plantas de melón (rendimiento y calidad del fruto) cultivadas en condiciones de invernadero. Así, la aplicación de cepas nativas mexicanas de *B. subtilis* en plantas de melón cultivadas en invernadero podría generar una mejora significativa en el desarrollo de la planta y la calidad del fruto.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materiales vegetales y condiciones de crecimiento de los cultivos

La variedad de semilla utilizada fue Top Mark (Nunhem Seeds), un melón tipo reticulado. El experimento se desarrolló en un invernadero durante la temporada de primavera-verano de 2014. El sitio experimental fue un invernadero de la División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato, México, con un área de 90 m<sup>2</sup> (20° 44' 32.18" N y 101° 19' 52.22" O, a 1757 msnm). El invernadero tiene un sistema de control para mantener la temperatura a 22-30 °C.

La germinación de la semilla de melón se realizó en condiciones de laboratorio. Noventa semillas se colocaron en una cámara de germinación (Tempette Junior TE-8J, EUA), a una temperatura constante de 30 °C durante 24 h. Todas las semillas germinadas, que ya presentaban raíz, se plantaron en un sustrato de turba húmeda (mezcla Sun Shine #3) sobre una bandeja de germinación de polipropileno y se mantuvieron ahí durante 10 d, a 23-25 °C. Cuando las plántulas de melón tenían una altura de 10 cm (en promedio) y dos hojas verdaderas, se trasplantaron a bolsas de plástico negro de 10 L que contenían zeolita (clinoptilolita natural con una granulometría de 5 mm). Este sustrato fue donado amablemente por Zeolitech S. de R. L. de C. V. (México). Las plantas de melón se mantuvieron en invernadero hasta el final del experimento. La solución nutritiva, el sistema y la frecuencia de riego se realizaron según los protocolos reportados por Nuñez-Palenius *et al.* (2007).

### Tratamientos evaluados

Los cinco tratamientos fueron cuatro cepas bacterianas y un control (sin bacterias): 1) testigo, 2) cepa BEB-23, 3) cepa

### Evaluated treatments

The five treatments were four bacterial strains and one control (without bacteria): 1) control, 2) BEB-23 strain, 3) LAL-36 strain, treatment 4) BEB-22 strain, and 5) BEB-13 strain. These strains were kindly donated by Dr. Olalde-Portugal (CINVESTAV-IPN, Irapuato Unit). The application of the bacterial strains was carried out immediately after the transplant, and following the protocol reported by Mena-Violante *et al.* (2009). An 8-cm deep perforation was placed next to each plant, and afterwards a bacterial solution of 3 mL ( $1 \times 10^7$  UFC mL<sup>-1</sup>) was applied using a syringe without a needle. Fourteen days after the first application of the bacterial strains, a second one was applied with the final objective of ensuring the bacteria's establishment in the plant rhizosphere. Hermaphrodite flowers were self-pollinated by hand and tagged for date of pollination. Only three fruits were kept on each plant, with only one used for the quality evaluations. The pest and disease control was completed using the recommendations of Fu and Ramírez (1999) and Pinales and Arellano (2001).

The fruits produced were held to the greenhouse structure with a commercial netting and string, meaning that the mature fruits in each harvest fell in the netting, avoiding contact with the ground.

### Evaluated variables

Plant development, fruit yield and quality were evaluated. Concerning the plant development, the height (cm) was evaluated weekly from 45 plants (nine per treatment) during 11 weeks, from the base to the plant apex. Likewise, foliar area data was taken by tracing the leaf edge (five leaves, from the tip to the bottom) from each of the 45 plants (from the ones that the height variable was taken) over a paper sheet that was scanned, producing an image that was run through the Image J software (Figure 1). The shoot fresh and dry weights and the root fresh and dry weights were determined at the end of the experiment. Briefly, all 45 plants whose previous variables were determined, were cut (at the neck of the plant) and the root was separated from the shoot, which was weighed and the fresh weight was scored. Afterwards, shoots were placed in a drying stove (Thermo Scientific™, model Precision™, USA) (60 °C) for 72 h, and then were weighed again to determine shoot dry weight. To obtain the root fresh weight after cutting the plant shoot, the roots were tap washed and cleaned of any substrate residue, then weighed and immediately placed in a drying stove (60 °C) for 72 h; afterwards which they were weighed to obtain the root dry weight.

LAL-36, 4) cepa BEB-22 y 5) cepa BEB-13. Las cepas las donó amablemente el Dr. Olalde-Portugal (CINVESTAV-IPN, Unidad Irapuato). La aplicación de las cepas bacterianas se efectuó inmediatamente después del trasplante y siguiendo el protocolo descrito por Mena-Violante *et al.* (2009). Una perforación de 8 cm de profundidad se hizo al lado de cada planta y después se aplicó una solución bacteriana de 3 mL ( $1 \times 10^7$  UFC mL<sup>-1</sup>) usando una jeringa sin aguja. Catorce días después de la primera aplicación de las cepas bacterianas, se aplicó una segunda para asegurar el establecimiento de la bacteria en la rizósfera de la planta. Las flores hermafroditas se autopolinizaron a mano y se etiquetaron con la fecha de polinización. Tres frutos en cada planta se conservaron y sólo uno se usó para las evaluaciones de calidad. El control de plagas y enfermedades se completó usando las recomendaciones de Fu y Ramírez (1999) y Pinales y Arellano (2001).

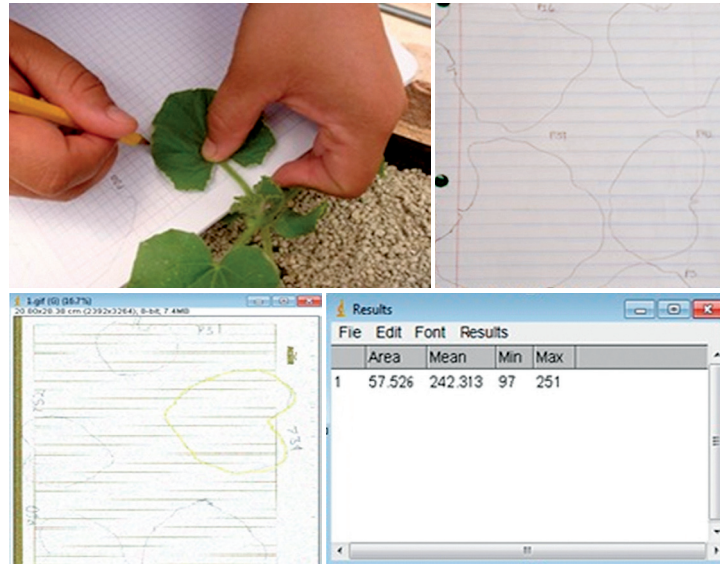
Los frutos producidos se sujetaron verticalmente a la estructura del invernadero con cuerdas y una malla comercial, lo que significa que los frutos maduros cayeron en la red, evitando el contacto con el suelo.

### Variables evaluadas

Las variables fueron el desarrollo de la planta, el rendimiento y la calidad del fruto. Respecto al desarrollo de la planta, semanalmente se evaluó la altura (cm) de 45 plantas (nueve por tratamiento) durante 11 semanas, desde la base hasta el ápice. Asimismo, se registró el área foliar dibujando el borde de la hoja (cinco hojas, desde el ápice hasta la base) de cada una de las 45 plantas (de las que se registró la altura) sobre una hoja de papel que fue escaneada, produciendo una imagen que se procesó a través del software Image J (Figura 1). Los pesos fresco y seco del vástago y de las raíces se determinaron al final del experimento. En resumen, se cosecharon las 45 plantas (a la altura del cuello) cuyas variables se habían medido. La raíz del tallo se separó, se pesó, para registrar el peso fresco. Después, los tallos con hojas se colocaron en un horno de secado (Thermo Scientific™, modelo Precisión™, EUA) a 60 °C durante 72 h y, luego se pesaron para determinar su peso seco. Para obtener el peso fresco de la raíz, después de cortar la parte aérea de la planta, las raíces se lavaron con agua de la llave y se limpiaron de residuos de sustrato, luego se pesaron y de inmediato se colocaron en un horno de secado a 60 °C por 72 h, después se pesaron para obtener el peso seco de la raíz.

El rendimiento de fruto por ha se calculó con los datos del peso fresco del fruto por cosecha, considerando tres cosechas totales durante el ciclo de la planta y 20 000 plantas ha<sup>-1</sup>.

La calidad del fruto de melón se determinó en 45 muestras (una por planta), considerando: 1) peso fresco, que se midió con una balanza digital (Mettler PJ6000, España); 2) diámetro polar y ecuatorial, 3) área de la cavidad del fruto, que se midió



**Figure 1. Foliar area of melon plants on paper and their conversion to  $\text{cm}^2$  using the software Image J.**

**Figura 1. Área foliar de plantas de melón sobre papel y su conversión a  $\text{cm}^2$  por medio del software Image J.**

The fruit yield per ha was calculated with the fruit fresh weight data per harvest, considering three total harvests during the plant cycle and 20 000 plants  $\text{ha}^{-1}$ .

Melon fruit quality was determined in 45 fruits (one from each plant), by: 1) fresh weight was measured with a digital scale (Mettler PJ6000, Spain); 2) polar and equatorial diameter; 3) area of the seed cavity was measured with the system reported by Nuñez-Palenius *et al.* (2007); 4) external rind color (exocarp) was determined using a Hunter Lab chromatometer (Minolta model CM-508d, USA), calibrated with a white standard tile to obtain the  $L^*$ ,  $b^*$ , and  $a^*$  parameters; 5) fruit firmness was measured as follows: whole unpeeled fruit were tested with a penetration system using the conic probe (speed= $1 \text{ mm s}^{-1}$ ) attached to a TA-XT2 device (Stable Micro Systems, Inc. USA); the max required force to penetrate the fruit was registered at a specified distance of 15 mm at two equidistant points on the equatorial zone of each fruit, obtaining the average force of both measurements per fruit; 6) total soluble solids (TSS), titratable acidity (TA) and the pH of the juice obtained from the mesocarp were also evaluated; for this, the mesocarp was macerated and placed in a centrifuge (28 000  $\times g$ ) (Thermo Scientific™ Sorvall™ Legend™ XT/XF, USA) and immediately afterwards filtered through Whatman paper No. 1. The obtained juice was analyzed for TSS, TA, and pH, in triplicate, using a digital refractometer (Hanna Instruments HI 96801, Mexico), a Fisher-395 dispenser connected to an electrometer (Fisher 380, USA), and a digital pH meter (Hanna Instruments, Mexico), respectively;

con el protocolo descrito por Nuñez-Palenius *et al.* (2007); 4) color de la corteza externa (exocarpio), que se determinó usando un cromatómetro Hunter Lab (Minolta, modelo CM-508d, EUA), calibrado con un estándar (azulejo blanco) para obtener los parámetros  $L^*$ ,  $b^*$  y  $a^*$ , 5) firmeza del fruto, que se midió así: el fruto entero sin pelar se probó con un penetrómetro con sonda cónica (velocidad= $1 \text{ mm s}^{-1}$ ) conectada a un dispositivo TA-XT2 (Stable Micro Systems, Inc. EUA); la fuerza máxima requerida se registró para penetrar el fruto a una distancia específica de 15 mm en dos puntos equidistantes sobre la zona ecuatorial de cada fruto, obteniendo la fuerza promedio de ambas medidas por fruto; 6) también se evaluaron los sólidos solubles totales (TSS), la acidez titulable (TA) y el pH del jugo obtenido del mesocarpio; para esto, el mesocarpio se maceró y se colocó en una centrífuga (28 000  $\times g$ ) (Thermo Científico™ Sorvall™ Legend™ XT/XF, EUA) y después se filtró a través de un papel Whatman núm. 1; el jugo obtenido se analizó para determinar TSS, TA, y pH, por triplicado, usando un refractómetro digital (Hanna Instruments HI 96801, México), un Dispensador Fisher-395 conectado a un electrómetro (Fisher 380, EUA) y un medidor de pH digital (Hanna Instruments, México), respectivamente; 7) otra variable de la calidad del fruto fue el índice de madurez, obtenido como el resultado de la proporción TSS/TA.

#### **Diseño experimental y análisis estadístico**

El diseño experimental fue completamente al azar, con nueve repeticiones por tratamiento. Con los datos se realizó un ANDEVA

7) another variable of fruit quality was the maturity index, obtained as the result of the ratio of TSS/TA.

### Experimental design and statistical analysis

A completely randomized design was used, with nine repetitions per treatment, to set up the experiment. Data were subjected to ANOVA of one factor. In case of significant differences, a comparison of media was carried out using the multiple comparison Tukey's test ( $p \leq 0.05$ ). The analysis was performed with SAS (SAS Institute, Cary, NC).

## RESULTS AND DISCUSSION

Root fresh and dry weight were the variables with statistically significant difference between the treatments. The strains BEB-22 ( $128.6 \pm \text{sd}$  or SE) and LAL-36 ( $64.55 \pm \text{sd}$  or SE) induced the greatest average values compared to the other strains and the control treatment. In contrast, shoot fresh and dry weights, height of the plant, and foliar area did not show significant differences (Table 1).

The length and weight showed significant differences among treatments ( $F_{0.05 (1) 4,30} = 2.86$ ,  $p \leq 0.05$ ;  $F_{0.05 (2) 4,30} = 2.74$ ,  $p \leq 0.05$ ). According to Tukey's test, the strain LAL-36 promoted the greatest average values in fruit length and weight compared to other treatments. The same was observed for the yield that presented significant differences among treatments, the LAL-36 strain produced the utmost average yield (Table 2).

The results for the external rind color were different ( $p \leq 0.05$ ) among treatments (Table 3).

de una vía. En caso de diferencias significativas, la prueba Tukey se usó para comparar las medias ( $p \leq 0.05$ ). El análisis se realizó con SAS (SAS Institute, Cary, NC).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los pesos fresco y seco de la raíz mostraron diferencias estadísticas entre los tratamientos. Las cepas BEB-22 ( $128.6 \pm \text{sd}$  o SE) y LAL-36 ( $64.55 \pm \text{sd}$  o SE) promovieron los valores promedio mayores comparados con los de las otras cepas y el testigo. Por el contrario, los pesos seco y fresco de los brotes, altura de la planta y área foliar no presentaron diferencia significativas (Cuadro 1).

La longitud y el peso del fruto mostraron diferencias significativas entre tratamientos ( $F_{0.05 (1) 4,30} = 2.86$ ,  $p \leq 0.05$ ;  $F_{0.05 (2) 4,30} = 2.74$ ,  $p \leq 0.05$ ). Según la prueba de Tukey, la cepa LAL-36 promovió los mayor valores promedio en longitud y peso del fruto comparados con otros tratamientos. Lo mismo se observó para rendimiento, que presentó diferencias significativas entre los tratamientos: la cepa LAL-36 produjo el máximo rendimiento promedio (Cuadro 2).

Los resultados para el color de la corteza externa fueron diferentes ( $p \leq 0.05$ ) entre los tratamientos (Cuadro 3). El tratamiento testigo tuvo los valores menores en todas las categorías, y la cepa BEB-22 tuvo los promedios mayores en comparación con LAL-36 y BEB-23 en los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  de la corteza. La cepa BEB-13 provocó los mayores valores promedio en los parámetros  $a^*$  y  $b^*$  (Cuadro 3). Respecto a la calidad del fruto, el testigo presentó el mayor valor de

**Table 1. Plant development characteristics of melon (*Cucumis melo* L.) inoculated with Mexican strains of *Bacillus subtilis* under greenhouse conditions at Irapuato, Guanajuato, Mexico.**

**Cuadro 1. Características del desarrollo de la planta de melón (*Cucumis melo* L.) inoculadas con cepas mexicanas de *Bacillus subtilis* bajo condiciones de invernadero en Irapuato, Guanajuato, México.**

Treatment (Strain)	Shoot fresh weight (g)	Shoot dry weight (g)	Root fresh weight (g)	Root dry weight (g)	Plant height (cm)	Foliar area (cm <sup>2</sup> )
Control	933.33	133.86	79.23 ab	38.12 a	458.33	375.60
BEB-23	972.22	132.98	72.44 a	37.88 a	482.22	398.41
LAL-36	1194.44	164.76	124.60 ab	64.55 b	446.50	355.81
BEB-22	1186.21	162.14	128.60 b	61.63 ab	450.22	384.67
BEB-13	888.88	132.83	97.01 ab	43.61 ab	412.44	355.81
Significance	NS	NS	*	*	NS	NS

NS: Not significant differences. (\*) Different letters indicate significant differences between treatments ( $p \leq 0.05$ ). ❖ NS: Diferencias no significativas. (\*) Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0.05$ ).

The control treatment had the lowest values in all of the categories, while the BEB-22 strain had higher averages in comparison to LAL-36 and BEB-23 in the L\*, a\* and b\* parameters of the rind. The BEB-13 strain induced the greatest average values in the a\* and b\* parameters (Table 3). Regarding the fruit quality, control treatment had the greatest TA value, and for TSS the BEB-22 and BEB-13 strains induced the greatest average values (Table 3).

The ANOVA's results indicated significant differences in fruit firmness ( $F_{0.05 (1)4, 30}=8.31$ ,

TA, y la cepa BEB-22 y BEB-13 indujeron los mayores valores promedio para TSS (Cuadro 3).

Los resultados del ANDEVA indicaron diferencias significativas en la firmeza del fruto ( $F_{0.05 (1)4, 30}=8.31$ ,  $p \leq 0.0001$ ), índice de madurez ( $F_{0.05 (1)4, 30}=9.26$ ,  $p \leq 0.0001$ ), y  $\frac{1}{4}$  de la cavidad del fruto ( $F_{0.05 (1)4, 30}=3.45$ ,  $p \leq 0.05$ ). El tratamiento que generó estas diferencias fue BEB-23 en firmeza; el índice de madurez formó dos grupos, uno con BEB-23, BEB-22 y BEB-13 que tuvieron los valores promedio más altos y otro con LAL-36 y testigo para los más

**Table 2. Fruit diameter, weight, and yield of melon plants (*Cucumis melo* L.) inoculated with Mexican strains of *Bacillus subtilis* under greenhouse conditions at Irapuato, Guanajuato, Mexico.**

**Cuadro 2. Diámetro del fruto, peso y rendimiento de las plantas de melón (*Cucumis melo* L.) inoculadas con cepas mexicanas de *Bacillus subtilis* bajo condiciones de invernadero en Irapuato, Guanajuato, México.**

Treatment (Strain)	Polar (cm)	Equatorial (cm)	Fruit weight (g)	Calculated yield (t ha <sup>-1</sup> ) three fruits 20 000 plants
Control	15.83c	13.27	1351.21b	81.07b
BEB-23	17.0ab	13.86	1547.20ab	92.83ab
LAL-36	17.20a	14.04	1629.46a	97.76a
BEB-22	16.59 abc	13.91	1505.29ab	90.31ab
BEB-13	15.96bc	13.80	1418.91b	85.13b
Significance	*	NS	*	*

NS: Not Significant differences. (\*) Different letters indicate significant differences between treatments ( $p \leq 0.05$ ). ❖ NS=Diferencias no significativas. (\*) Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0.05$ ).

**Table 3. Postharvest fruit characteristics of melon plants (*Cucumis melo* L.) inoculated with Mexican strains of *Bacillus subtilis* under greenhouse conditions at Irapuato, Guanajuato, Mexico.**

**Cuadro 3. Características poscosecha del fruto de las plantas de melón (*Cucumis melo* L.) inoculadas con cepas mexicanas de *Bacillus subtilis* bajo condiciones de invernadero en Irapuato, Guanajuato, México.**

Treatment (Strain)	External rind color			pH	TA (mL)	TSS (°Brix)
	L	a*	b*			
Control	59.66b	1.73c	19.07 b	7.05	2.66a	10.53b
BEB-23	62.35ab	3.23ab	21.12ab	7.03	2.14c	11.43ab
LAL-36	61.14ab	2.46bc	21.13ab	7.00	2.47ba	10.97ab
BEB-22	63.65a	3.38ab	21.32ab	6.90	2.23c	11.64ab
BEB-13	60.85b	4.31a	23.10a	6.97	2.27cb	11.93a
Significance	*	*	*	NS	*	*

NS: Not Significant differences. (\*) Different letters indicate significant differences between treatments ( $p \leq 0.05$ ). TA: Titratable Acidity; TSS: Total Soluble Solids. ❖ NS=Diferencias no significativas. (\*) Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0.05$ ). TA: Acidez titulable, TSS: Sólidos solubles totales.



$p \leq 0.0001$ ), maturity index ( $F_{0.05 (1)4, 30} = 9.26$ ,  $p \leq 0.0001$ ), and  $\frac{1}{4}$  of the seed cavity ( $F_{0.05 (1)4, 30} = 3.45$ ,  $p \leq 0.05$ ). Treatment that generated these differences was BEB-23 in firmness; the maturity index formed two groups, one with BEB-23, BEB-22 and BEB-13 having the greater average values, and control and LAL-36 strain showing the lower average data. On the contrary, for  $\frac{1}{4}$  of the seed cavity variable, the greater average data was found for control and LAL-36 strain treatments (Table 4). As it can be expected a greater fleshy mesocarp, a smaller seed cavity size is observed, and vice versa.

According to ANOVA's results, yield as well as the fruit characteristics were improved with some *B. subtilis* strains, which is in agreement with what Mena-Violante and Olalde-Portugal (2007) reported, that PGPRs improved the tomato fruit size. Melon root fresh and dry weights presented the highest values with LAL-36 and BEB-22 strains, in contrast with the control and strain BEB-23 that had the lowest values in both variables. This indicated that melon plants treated with BEB-22 and LAL-36 strains developed a stronger and more functional radicle system (Alves *et al.*, 2011). A well-developed root system is positively correlated with greater plant vigor (Andrade *et al.*, 2000).

For the fruit weight and size, the LAL-36 strain similarly showed the highest average value compared to other treatments. These results reflect the relationship between the root development and the increased productive capacity of the melon plant. Besides, they illustrates that the strain LAL-36 can

bajos. Por el contrario, para el  $\frac{1}{4}$  de la cavidad del fruto, los datos promedio más altos se encontraron en testigo y LAL-36 (Cuadro 4). Como se esperaba, a mayor carnosidad del mesocarpio, menor tamaño de la cavidad del fruto, y viceversa.

Según los resultados del ANDEVA el rendimiento y las características del fruto mejoraron con algunas cepas de *B. subtilis*, lo cual coincide con lo informado por Mena-Violante y Olalde-Portugal (2007), de que las PGPRs mejoraron el tamaño del fruto del tomate. Los pesos fresco y seco de la raíz del melón presentaron los valores más altos con las cepas LAL-36 y BEB-22, en contraste con el testigo y BEB-23 que tuvieron los más bajos en ambas variables. Esto indicó que las plantas de melón tratadas con BEB-22 y LAL-36 desarrollaron un sistema radicular más fuerte y funcional (Alves *et al.*, 2011). Un sistema de raíz bien desarrollado tiene correlación positiva con un vigor mayor de la planta (Andrade *et al.*, 2000).

De manera similar, para el peso y el tamaño del fruto, la cepa LAL-36 mostró el valor promedio más alto comparado con los otros tratamientos. Estos resultados reflejan la relación entre el desarrollo de la raíz y el aumento de la capacidad productiva de la planta de melón. Además ilustran que la cepa LAL-36 puede ser la que produce los efectos más importantes entre las cepas de *B. subtilis* evaluadas. Resultados similares se han reportado con diferentes cepas de *B. subtilis*. Por ejemplo, Karlidag *et al.* (2007) encontraron una cepa del género *Bacillus*, llamada M3 que, sola o combinada con otras cepas, tuvo un efecto positivo fuerte en el crecimiento y rendimiento de las

**Table 4. Postharvest fruit quality of melon plants (*Cucumis melo* L.) inoculated with Mexican strains of *Bacillus subtilis* under greenhouse conditions at Irapuato, Guanajuato, Mexico.**

**Cuadro 4. Calidad poscosecha del fruto de las plantas de melón (*Cucumis melo* L.) inoculadas con cepas mexicanas de *Bacillus subtilis* bajo condiciones de invernadero en Irapuato, Guanajuato, México.**

Treatment (Strain)	Firmness (N)	Maturity index (TSS/TA)	$\frac{1}{4}$ of the seed cavity (cm <sup>2</sup> )
Control	75.59c	3.95b	15a
BEB-23	122.92a	5.34a	11.81b
LAL-36	83.70bc	4.44b	13.74ab
BEB-22	98.55b	5.21a	12.88b
BEB-13	97.73b	5.25a	12.11b
Significance	*	*	*

NS: Not Significant differences. (\*) Different letters indicate significant differences between treatments ( $p \leq 0.05$ ). ❖ NS=Diferencias no significativas. (\*) Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0.05$ ).

be the one that produces the most important effects among the *B. subtilis* strains evaluated. Similar results were reported with different strains of *B. subtilis*. For instance, Karlidag *et al.* (2007) found a strain from *Bacillus* genus, named M3 that, by itself or combined with other strains, had a strong positive effect on plant growth and yield. Additionally, *B. megaterium* increased the size of the root and shoot length in plants of rosemary (*Rosmarinus officinalis*), which was tested to evaluate the controlling effects of these bacteria against vascular wilting produced by *Fusarium* spp. (Corrales *et al.*, 2010).

The strain LAL-36 consistently was the one that produced the greatest value with 97 760 kg ha<sup>-1</sup>, which is related to the results obtained in the root and the fresh weight of the fruit, both of which are variables that are associated with yield. Comparable results were obtained on different crops, such as peanuts (Turner and Backman, 1991) and cherries (Esitken *et al.*, 2006). The previous results are consistent with those reported by Mena-Violante and Olalde-Portugal (2007), where tomato roots were inoculated with *B. subtilis*, later to find higher fruit fresh and dry weights of treated plants compared to those not inoculated. Species of the same genus *Bacillus* appear to have a positive effect over related variables with melon yield. For example, Rodríguez *et al.* (2013) found that the *B. cerus* inoculation increases the plant height up to 50 %, compared to other rhizobacteria species. This significant and positive effect on the morphological analyzed variables (weight, height, and radicular development), was observed not only under laboratory conditions, but also on open-field crops (Nihorimbere *et al.*, 2010). Due to the fact that *Bacillus* activities, and particularly *B. subtilis*, concentrate in the plant radicular zone (O'Brien and Kenney, 2000), the positive results are reflected on fruit yield, since roots are fundamental for the water absorption and nutrient uptake necessary for plant development (Balaguera *et al.*, 2008).

Significant differences were found on external rind color, TA, TSS, firmness, maturity index, and ¼ of the seed cavity characteristics among the different *B. subtilis* treatments. It was shown that the LAL-36 strain induced the greatest fruit size and yield compared to the rest of the evaluated strains, but its fruit firmness was similar to the control treatment, being the lowest value scored of all. BEB-23 strain produced the greatest fruit firmness compared to the

plantas. También *B. megaterium*, aumentó el tamaño de la raíz y la longitud de la parte aérea en plantas de romero (*Rosmarinus officinalis*), y fue probada para evaluar los efectos de control de estas bacterias contra el marchitamiento vascular producido por *Fusarium* spp. (Corrales *et al.*, 2010).

La cepa LAL-36 produjo el mayor valor con 96 520 kg ha<sup>-1</sup>, lo que se relaciona con los resultados en el peso fresco del fruto y la raíz, las cuales son variables del rendimiento. Resultados comparables se obtuvieron en diferentes cultivos, como en los cacahuates (Turner y Backman, 1991) y las cerezas (Esitken *et al.*, 2006). Los resultados previos son consistentes con los reportados por Mena-Violante y Olalde-Portugal (2007), donde las raíces de tomate fueron inoculadas con *B. subtilis*, y encontraron pesos frescos y secos más altos en los frutos de las plantas, comparadas con las no inoculadas. Especies del mismo género *Bacillus* parecen tener un efecto positivo sobre las variables relacionadas con el rendimiento del melón. Por ejemplo, Rodríguez *et al.* (2013) encontraron que la inoculación de *B. cerus* incrementa la altura de la planta hasta 50 %, comparado con otras especies de rizobacterias. Este efecto positivo y significativo en las variables morfológicas analizadas (peso, altura y desarrollo radicular) se observó en condiciones de laboratorio y también en cultivos en campo (Nihorimbere *et al.*, 2010). Como las actividades de *Bacillus*, y en particular *B. subtilis*, se concentran en la zona radicular de la planta (O'Brien y Kenney, 2000), los resultados positivos se reflejan en el rendimiento del fruto, ya que las raíces son fundamentales para la absorción de agua y nutrientes necesarios para el desarrollo de la planta (Balaguera *et al.*, 2008).

Entre los tratamientos de *B. subtilis* se encontraron diferencias significativas en color externo de la corteza, TA, TSS, firmeza, índice de madurez y ¼ de la cavidad del fruto. La cepa LAL-36 generó el mayor rendimiento y tamaño de fruto comparada con las otras cepas evaluadas, pero la firmeza fue similar al testigo, que era el valor más bajo de todos. La cepa BEB-23 produjo la mayor firmeza del fruto, comparada con los otros tratamientos. Mena-Violante *et al.* (2009) describieron resultados similares, y las cepas BEB-13, -22 y -23 indujeron mayor índice de madurez y firmeza del fruto del tomate que el testigo. La aplicación de algunas PGPRs aumentó la calidad y presentación del fruto, ya que los componentes de color (L\*, a\* y b\*) y el contenido de azúcar

other treatments. Similar results were described by Mena-Violante *et al.* (2009), who showed that BEB-13, -22 and -23 strains induced higher tomato fruit firmness and maturity index than the control. The application of some PGPR increased the fruit quality, and gave a better presentation, since the color components (L\*, a\* and b\*) and sugar content were improved as well. In our study, strains BEB-13, -22 and -23 had higher statistical values in TSS compared to the control treatment, and at the same time, were highly superior to those reported for commercial varieties of melon (Nava-Camberos and Cano-Ríos, 2000). Taking into account the previously stated and that a value above 8 °Brix values were found acceptable for consumption (Tapia *et al.*, 1998), the values reported here demonstrated that evaluated *B. subtilis* strains improved organoleptic properties of melon fruits adequate for quality commercialization.

## CONCLUSIONS

*Bacillus subtilis* strains that would potentially produce the best melon fruits with higher yield and quality, under greenhouse conditions, are LAL-36, followed by BEB-23 and BEB-22.

## ACKNOWLEDGEMENTS

To the University of Guanajuato, for the support of this research project. To the Office of Support for Research and Graduate School (DAIP, for its Spanish acronym) of the University of Guanajuato, for the financial support for the completion of this research project, code: 0036/15, and for the scholarship given to Isidro Espitia Vázquez.

## LITERATURE CITED

- Alves, E. U., L. A. de Andrade, R. L. A. Bruno, R. M. Vierira, and E. A. Cardoso. 2011. Emergence and early growth of *Peltophorumdubium* (Spreng.) Taubert seedlings under different substrata. *Rev. Ver. Ciênc. Agron.* 42: 439-447.
- Andrade A. C. S. de, A. F. de Souza, F. N. Ramos, T. S. Pereira, and A. P. M. Cruz. 2000. Seed germination of *Genipaamericana* L. - Rubiaceae: temperature, substrate and post-seminal development. *Pesqui. Agropec. Bras.* 35: 609-615.
- Ayala Garay A. V., y B. Carrera C. 2012. La horticultura en México: una primera aproximación al estudio de su competitividad. *Rev. Invest. Cien. Adm.* 7: 271-293.
- Balaguera, H. E., J. G. Álvarez-Herrera, y J. D. Rodríguez. 2008. Efecto del déficit de agua en el trasplante de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Agron. Colomb.* 26: 246-255.

también mejoraron. En nuestro estudio sobre melón, se encontró que las cepas BEB-13, -22 y -23 tenían valores estadísticos más altos en TSS comparados con el testigo, y al mismo tiempo, fueron muy superiores a los reportados para variedades comerciales de melón (Nava-Camberos y Cano-Ríos, 2000). Al tomar en cuenta lo anterior y considerar que un valor mayor a 8 °Brix es aceptable para su consumo (Tapia *et al.*, 1998), los valores aquí informados demuestran que las cepas evaluadas de *B. subtilis* mejoran las propiedades organolépticas de los frutos de melón adecuados para una comercialización de calidad.

## CONCLUSIONES

Bajo condiciones de invernadero, las cepas de *Bacillus subtilis* que de manera potencial producirían los mejores frutos de melón, con mayor rendimiento y calidad, son LAL-36, seguida de BEB-23 y BEB-22.

—Fin de la versión en Español—



- Beneduzi, A., A. Ambrosini, and L. M. P. Passaglia. 2012. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Their potential as antagonists and biocontrol agents. *Genet. Mol. Biol.* 35(4supl.): 1044-1051.
- Cazorla, F. M., S. B. Dukett, E. T. Berström, S. Noreen, R. Odijk, B. J. J. Lugtenberg, J. E. Thomas-Oates, and G. V. Bloembergen. 2006. Biocontrol of avocado Dematophora root rot by antagonistic *Pseudomonas fluorescens* PCL1606 correlates with the production of 2-hexyl 5 propyl resorcinol. *Mol. Plant-Microbe Interact.* 10: 79-86.
- Choudhary, D. K., and B. N. Johri. 2009. Interactions of *Bacillus* spp. and plants – with special reference to induced systemic resistance (ISR). *Microbiol. Res.* 164: 493-513.
- Corrales, L. C., L. C. Sánchez, J. Cuervo, D. Bautista, L. González, y M. Guevara. 2010. Evaluación del efecto biocontrolador de *Bacillus* spp., frente a *Fusarium* spp., bajo condiciones de invernadero en *Rosmarinus officinalis* L. *Nova* 8: 63-75.
- Esitken, A., L. Pirlak, M. Turan, and F. Sahin. 2006. Effects of floral and foliar application of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrition of sweet cherry. *Sci. Hort.* 110: 324-327.
- FAO. 2016. Food and Agriculture Organization. <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor> (Accessed: March 2016).
- FAOSTAT. 2017. Food and Agriculture Organization (FAO). <http://faostat.fao.org/faostat/form?collection> (Accessed: August, 2017).
- Fu, A. A., y L. J. Ramírez. 1999. Manejo Integrado de Insectos Plaga de Cucurbitáceas en la Costa de Hermosillo. Folleto Número 17. INIFAP-SAGAR, Hermosillo, Sonora, México. pp: 1-17.
- Gómez-Guillamón, M. L., R. Camero, y J. González-Fernández. 1997. El melón en Invernadero. *In: Namesny A. (ed).*

- Melones, Compendios de Horticultura. Ediciones de Horticultura, S. L. Barcelona, España. pp: 67-77.
- Karlidag, H., A. Esitken, M. Turan, and F. Sahin. 2007. Effects of root inoculation of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrient element contents of leaves of Apple. *Sci. Hort.* 114: 16-20.
- Kirkbride, J. H. 1993. *Biosystematic Monograph of the Genus Cucumis (Cucurbitaceae) botanical identification of cucumbers and melons.* Parkway Publishers, Boone, NC. USA. pp: 159.
- Kloepper, J. W., C. M. Ryu, and S. A. Zhang. 2004. Induced systemic resistance and promotion of plant growth by *Bacillus* spp. *Phytopathology* 94: 1259-1266.
- Mena-Violante, H. G., and V. Olalde-Portugal. 2007. Alteration of tomato fruit quality by root inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): *Bacillus subtilis* BEB-13bs. *Sci. Hort.* 113: 103-106.
- Mena-Violante, H. G., A. Cruz-Hernández, O. Paredes-López, M. A. Gómez-Lim, and V. Olalde-Portugal. 2009. Fruit texture related changes and enhanced shelf life through tomato root inoculation with *Bacillus subtilis* BEB-13BS. *Agrociencia* 43: 559-567.
- Montesinos, E. 2007. Antimicrobial peptides and plant disease control. *FEMS Microbiol. Lett.* 270: 1-11.
- Nava-Camberos, U., y P. Cano-Ríos. 2000. Umbral económico para la mosquita blanca de la hoja plateada en melón en La Comarca Lagunera, México. *Agrociencia* 34: 227-234.
- Nihorimbere V., M. Ongena, H. Cawoy, Y. Brostaux, P. Kakana, E. Jourdan, and P. Thonar. 2010. Beneficial effects of *Bacillus subtilis* on field-grown tomato in Burundi: Reduction of local *Fusarium* disease and growth promotion. *Afr. J. Microbiol. Res.* 4: 1135-1142.
- Nuñez-Palenius, H. G., D. J. Huber, H. J. Klee, and D. J. Cantliffe. 2007. Fruit ripening characteristics in a transgenic 'Galia' male parental muskmelon (*Cucumis melo* L. var. *reticulatus* Ser.) line. *Postharvest Biol. Technol.* 44: 95-100.
- O'Brien, J. B., and D. S. Kenney. 2000. International considerations for the development of PGPR products. Fifth international PGPR workshop (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria). Villa Carlos Paz, Córdoba, Argentina. pp: 1-4.
- Ongena, M., and P. Jacques. 2008. *Bacillus* lipopeptides: versatile weapons for plant disease biocontrol. *Trends Microbiol.* 16: 115-125.
- Pinales, Q. J. F., y M. A. Arellano. 2001. Producción de melón fertirrigado y acolchado. Folleto Número 2. SAGARPA-INIFAP-CIRNE, Campo Experimental Anáhuac, Cd. Anáhuac, N.L. pp: 1-36.
- Robinson, R. W., and D. S. Decker-Walters. 1997. Cucurbits. CAB International, Wallingford, NY. 226 p.
- Rodríguez-Mendoza, M. N., R. San Miguel-Chávez, J. L. García-Cué, y A. Benavides-Mendoza. 2013. Inoculación de bacterias promotoras de crecimiento en el cultivo de melón (*Cucumis melo*). *Interciencia* 38: 857-862.
- Schallmeyer, M., A. Singh, and O. P. Ward. 2004. Developments in the use of *Bacillus* species for industrial production. *Can. J. Microbiol.* 50: 1-17.
- SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2016. SAGARPA. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/> (Accessed: March, 2016).
- Singh, J. S., V. C. Pandey, and D. P. Singh. 2011. Efficient soil microorganisms: a new dimension for sustainable agriculture and environmental development. *Agric. Ecosyst. Environ.* 140: 339-353.
- Tapia F., X. I. López, L. Galleti, y H. Berger. 1998. Caracterización del crecimiento y desarrollo del fruto de melón (*Cucumis melo* var. *Reticulatus* Naud). *Agric. Téc. (Chile)* 58: 93-102.
- Turner J. T., and P. A. Backman. 1991. Factors relating to peanut yield increases after seed treatment with *Bacillus subtilis*. *Plant Dis.* 75: 347-353.
- Zhao Q., Q. Shen, W. Ran, T. Xiao, D. Xu, and Y. Xu. 2011. Inoculation of soil by *Bacillus subtilis* Y-IVI improves plant growth and colonization of the rhizosphere and interior tissues of muskmelon (*Cucumis melo* L.). *Biol. Fertil. Soils* 47: 507-514.