

INOCULACIÓN DE BACTERIAS PROMOTORAS DE CRECIMIENTO EN EL CULTIVO DE MELÓN (*Cucumis melo*)

Ma. de las Nieves Rodríguez Mendoza, Rubén San Miguel-Chávez, José Luis García Cué y Adalberto Benavides Mendoza

RESUMEN

Se midió el efecto de inocular bacterias promotoras de crecimiento en el desarrollo del cultivo de melón en invernadero. Con cinco diferentes cepas de rizobacterias y el testigo se establecieron seis tratamientos en un diseño al azar con ocho repeticiones. En la primera etapa fueron inoculadas 10^8 UFC por planta de: *Ochrobactrum anthropi* (cepa 208), *Microbacterium sp.* (cepa N50), *Bacillus cereus* (cepa N198), *Pseudomonas fluorescens* (cepa 4) y *Sphingomonas sp.* (cepa 170) en plántulas de melón cv Ovación que crecían en peat moss estéril. Treinta días después de la inoculación se transplantó a macetas de 20 litros con tezontle como sustrato y riego por goteo de solución de Steiner. Cuando las plantas presentaron el 50% de floración, se determinó el contenido relativo de clorofila (unidades SPAD), ácido indolbutírico (AIB) y ácido indolacético (AIA). A la co-

secha se evaluó: altura de planta, diámetro de tallo, número y peso promedio de frutos por planta, rendimiento, peso seco de raíz y follaje. Se realizó análisis de varianza, comparación de medias con la prueba de Tukey ($\alpha=0,05$) y correlación entre variables. La inoculación de rizobacterias no incrementó el contenido relativo de clorofila, pero sí la altura de planta hasta 50,4% cuando se aplicó *Bacillus cereus* (N198). Con *Pseudomonas fluorescens* se produjeron los frutos de mayor peso unitario (891g) y con la mayor concentración de AIA ($6,05\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). El peso seco de la raíz aumentó 38-60%, y el nitrógeno y sodio en el follaje aumentaron con la inoculación. El uso de bacterias promotoras de crecimiento en producción hidropónica es una alternativa para favorecer el cultivo de melón.

Introducción

En la producción mundial de melón, México ocupa el octavo lugar con el 2,2% del total, y a nivel nacional, la superficie cosechada fue de 21.500ha con la obtención de más de 543.000ton de fruto (Espinoza *et al.*, 2011). El melón es rico en potasio, magnesio, calcio, fósforo, hierro y vitaminas C, A (β -caroteno) y complejo B. Adicionalmente, es una de las frutas más ricas en sodio (10mg/100g). Estas propiedades y su consumo ayudan a reducir riesgos de corazón, enfermedades degenerativas y cáncer (Loster, 2008). Existen diferentes sistemas de produc-

ción de melón: a cielo abierto, en riego con lámina y en fertirriego, que garantiza altos rendimientos; sin embargo, también han surgido sistemas de producción de alimentos que son amigables con el ambiente, lo que conlleva a disminuir o eliminar los fertilizantes químicos, plaguicidas y otros suplementos que contaminan el sistema (Esitken *et al.*, 2005; Bhattacharyya y Jha, 2012). En este sentido, desde hace algunas décadas se ha estudiado la función de las bacterias de la rizosfera, o rizobacterias, aisladas de diferentes gramíneas entre las que esta la caña de azúcar (Boddey *et al.*, 1995). Estas bacterias asociativas son con-

sideradas promotoras del crecimiento vegetal (BPCV) por su capacidad para estimular directamente el crecimiento de las plantas, a través de mecanismos como fijación biológica de nitrógeno, producción de sustancias reguladoras del crecimiento, solubilización de minerales y nutrientes, incremento en el volumen de la raíz e inducción de resistencia sistémica a patógenos, entre otros. Dobbelaere *et al.* (2003) mencionan que las BPCV estimulan el crecimiento facilitando la entrada a las plantas de N, P y K, así como microelementos, y numerosos reportes informan que la incorporación de estas bacterias a las semi-

llas o plántulas favorece el desarrollo del cultivo, incrementan notablemente el vigor de la raíz y, la mayor parte de las veces, la resistencia al ataque de patógenos (Burrelle-Kokalis, 2003; Core, 2005). Esta protección que obtiene la raíz se da por la producción de compuestos antibióticos y enzimas que inducen resistencia sistémica. Los cultivos inoculados con BPCV generan cierta resistencia a sequía, salinidad o deficiencia nutricional debido al aumento del desarrollo radical a través de las fitohormonas (auxinas y citocininas) que tienen efectos positivos en las plantas (Burrelle-Kokalis *et al.*, 2002; Yang *et al.*, 2009).

PALABRAS CLAVE / AIA / AIB / Invernadero / Rizobacteria / Unidades SPAD /

Recibido: 19/02/2013. Modificado: 09/12/2013. Aceptado: 13/12/2013.

Ma. de las Nieves Rodríguez Mendoza. Química Farmacobióloga, Universidad Nacional Autónoma de México. Maestra en Ciencias en Edafología especialista en Microbiología y Doctora en Ciencias en Edafología especialista en Nutrición Vegetal, COLPOS, México. Profesora Investigadora, COLPOS, México. Dirección: Biotecnología Microbiana, Vegetal y Animal.

COLPOS: Dirección. Área de Nutrición Vegetal, Postgrado en Edafología, COLPOS. Postgraduados. Km 36.5 carretera México- Texcoco. CP 56230. Texcoco, Estado de México, México. e-mail: marinie@colpos.mx

Rubén San Miguel-Chávez. Biólogo, Universidad Autónoma de México. Maestro en Ciencias, COLPOS, México. Inves-

tigador, COLPOS, México. e-mail: sanmi@colpos.mx

José Luis García Cué. Ingeniero Mecánico Electricista, Universidad La Salle, México; Maestro en Ciencias en Cómputo Aplicado, COLPOS, México; y Doctor en Educación, Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), España. Profesor Investigador, COLPOS, México.

Profesor, UNED, España. e-mail: jlgecue@colpos.mx

Adalberto Benavides Mendoza. Biólogo y Maestro en Ciencias, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), México. Doctor en Ciencias, Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Profesor Investigador, UAAAN, México. e-mail: abenmen@gmail.com

INOCULATION OF GROWTH-PROMOTING BACTERIA IN MELON (*Cucumis melo*)

Ma. de las Nieves Rodríguez Mendoza, Rubén San Miguel-Chávez, José Luis García Cué and Adalberto Benavides Mendoza

SUMMARY

The effect of the inoculation of growth-promoting bacteria on melon plants grown under greenhouse conditions was measured. Using five different strains of rhizobacteria and a control, six treatments were established in a randomized design with eight replications. In the first stage, the bacteria *Ochrobactrum anthropi* (strain 208), *Microbacterium* sp. (strain N50), *Bacillus cereus* (strain N198), *Pseudomonas fluorescens* (strain 4) and *Sphingomonas* sp. (strain 170) were inoculated in melon cv *Ovation* seedlings growing in sterile peat moss. At 30 days after inoculation, the seedlings were transplanted into 20lit pots with tezontle as substrate and drip irrigation with Steiner's nutrient solution. When the plants presented 50% flowering, relative chlorophyll content (SPAD units), indolebutyric (IBA) and indoleacetic (IAA) acids were determined using. At harvest,

plant height, stem diameter, number and average weight of fruits per plant, and root and foliage dry weight were evaluated. Data were subjected to analysis of variance, comparison of means using the Tukey test ($\alpha=0.05$) and correlation between variables. Inoculation did not increase relative chlorophyll content, but plant height increased by up to 50.4% when *Bacillus cereus* (N198) was applied. With *Pseudomonas fluorescens* plants showed the highest weight per fruit (891g) and the highest concentration of IAA ($6.05\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Root dry weight increased by 38-60% and nitrogen and sodium concentrations in foliage increased with the addition of bacteria. The use of growth-promoting bacteria in hydroponic melon production is an alternative to promote crop development.

INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO NO CULTIVO DE MELÃO (*Cucumis melo*)

Ma. de las Nieves Rodríguez Mendoza, Rubén San Miguel-Chávez, José Luis García Cué e Adalberto Benavides Mendoza

RESUMO

Mediu-se o efeito de inocular bactérias promotoras de crescimento no desenvolvimento do cultivo de melão em efeito estufa. Com cinco diferentes cepas de rizo bactérias e o testemunho se estabeleceram seis tratamentos em um desenho aleatório com oito repetições. Na primeira etapa foram inoculadas 108UFC por planta de: *Ochrobactrum anthropi* (cepa 208), *Microbacterium* sp. (cepa N50), *Bacillus cereus* (cepa N198), *Pseudomonas fluorescens* (cepa 4) e *Sphingomonas* sp. (cepa 170) em mudas de melão "cv *Ovation*" que cresciam em peat moss estéril. Trinta dias depois da inoculação se transplantou a jarros de 20 litros com tezontle como substrato e irrigação por goteio de solução de Steiner. Quando as plantas apresentaram 50% de floração, se determinou o conteúdo relativo de clorofila (unidades SPAD), ácido indolbutírico (AIB) e ácido indolacético (AIA). Da

colheita se avaliou: altura de planta, diâmetro de caule, número e peso médio de frutos por planta, rendimento, peso seco de raiz e folhagem. Realizou-se análises de variação, comparação de médias com a prova de Tukey ($\alpha=0,05$) e correlação entre variáveis. A inoculação de rizobactérias não incrementou o conteúdo relativo de clorofila, mas sim a altura de planta até 50,4% quando se aplicou *Bacillus cereus* (N198). Com *Pseudomonas fluorescens* se produziram os frutos de maior peso unitário (891g) e com a maior concentração de AIA ($6,05\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). O peso seco da raiz aumentou 38-60%, o nitrogênio e sódio na folhagem aumentaram com a inoculação. O uso de bactérias promotoras de crescimento em produção hidropônica é uma alternativa para favorecer o cultivo de melão.

Algunos de los procesos fisiológicos que son favorecidos por las rizobacterias, son a su vez un reflejo de la síntesis de reguladores de crecimiento vegetal en los cultivos inoculados, estando las auxinas entre los más importantes. Bajas concentraciones de auxinas favorecen la germinación y desarrollo de las plántulas, y altas concentraciones pueden inhibir este proceso. Es un hecho también que la respuesta de las plantas varía en función del microorganismo inoculado (Ahmad *et al.*, 2005).

El objetivo del presente trabajo fue medir el efecto de la inoculación de bacterias promotoras de crecimiento aisla-

das de caña de azúcar en el desarrollo del cultivo de melón en condiciones de invernadero.

Materiales y Métodos

Instalación del experimento

El presente trabajo se llevó a cabo en los invernaderos del Colegio de Postgraduados, campus Montecillo, Estado de México, a una altitud de 2250msnm.

Propagación de BPCV

Cinco cepas de bacterias aisladas de la rizósfera de caña de azúcar y clasificadas

taxonómicamente a través de análisis genético fueron usadas: *Ochrobactrum anthropi* (cepa 208), *Microbacterium* sp. (cepa N50), *Bacillus cereus* (cepa N198), *Pseudomonas fluorescens* (cepa 4) y *Sphingomonas* sp. (cepa 170). Las cepas fueron cultivadas en medio de cultivo líquido hasta obtener una concentración de 10^8 unidades formadoras de colonias (UFC).

Tratamientos y diseño experimental

Seis tratamientos que consistieron en las cinco diferentes cepas de rizobacterias y un testigo absoluto, se distribuye-

ron de acuerdo a un diseño completamente al azar en invernadero. Plántulas de melón (*Cucumis melo* cv. *Ovation*, semillas Rogers) de 15 días de emergencia fueron trasplantadas a macetas de plástico con 500g de peat moss estéril para posterior inoculación.

Inoculación de las plantas

Para la inoculación con bacterias se aplicó 1ml de solución de rizobacteria por planta, y en las plantas testigo se aplicó 1ml de agua estéril. Cada uno de los seis tratamientos contó con ocho repeticiones. Las plantas se mantuvieron por 30 días en las ma-

cetas y fueron regadas con agua destilada y solución de Steiner 50% con la finalidad de favorecer la colonización de la bacteria en la raíz.

Trasplante

A los 30 días después de la inoculación las plantas fueron trasplantadas a contenedores plásticos de 20 litros con tezontle de diámetro de partícula entre 0,3 y 0,6cm. A partir de ese momento se hicieron cinco riegos diarios de 5min con un goteo de 4litros/h con la solución nutritiva de Steiner (12meq NO₃⁻, 1meq de H₂PO₄⁻, 7meq SO₄⁻, 7meq K⁺, 9meq Ca²⁺, 4meq Mg²⁺ y micronutrientes), ajustada de acuerdo al análisis de agua del invernadero. La polinización se hizo en forma manual, y para el desarrollo del cultivo se instalaron mallas para tutoreo de las guías. Durante el desarrollo del cultivo no se presentó ninguna plaga ni enfermedad en las plantas.

Variables medidas

Cuando el 50% de las plantas estaban en floración, se seleccionaron 10 hojas de la parte media de la planta hacia arriba, a fin de determinar el contenido relativo de clorofila (unidades SPAD) con un equipo Minolta 502. En la parte basal, media y alta de la planta se tomaron 5g de hojas por estrato para la cuantificación de los ácidos indolbutírico (AIB) y indolacético (AIA); las hojas se envolvieron en papel aluminio y se congelaron a -70°C, el material se liofilizó y posteriormente se almacenó a -4°C y sin humedad. Para la extracción de los reguladores de crecimiento, 90mg de muestra seca compuesta por sus repeticiones se mezcló con 5ml de acetona 85% y se colocó en baño de ultrasonido Labconco por 12min con agua; se centrifugó a 300g durante 15min. Se colectó el sobrenadante y se llevó a su volumen inicial de 5ml, de los que se tomaron 300µl y se aplicaron en una placa de sílica gel 60 F₂₅₄ de

alta resolución (Merck), de 5×5cm. Junto a la muestra se aplicaron estándares de AIA y AIB. La cromatografía se desarrolló en cámara de vidrio saturada con acetato de etilo. Se dejó secar y se observó bajo luz UV para identificar las zonas donde se encontraron los reguladores de crecimiento. Se raspó la zona marcada y se colocó en Erlenmeyer de 10ml con 1ml de acetato de etilo. La mezcla se mantuvo en agitación durante 30min. Luego se filtró y el líquido se contuvo en un vial ámbar de 2ml, se aplicó una corriente de nitrógeno para eliminar el exceso de acetato de etilo hasta un volumen aproximado de 100µl. Se completó el volumen hasta 1ml con metanol, se volvió a filtrar la muestra en acrodisco con 0,45µm de tamaño de poro y la muestra estuvo lista para inyectarse en el cromatógrafo. Para la determinación de AIA y AIB se utilizó un cromatógrafo de líquidos Agilent Technologies mod. 1100, equipado con un inyector automático de la misma marca y arreglo de diodos. La columna fue una zorbax SB-C8 4,6×250mm y tamaño de partícula de 5µm marca Agilent. La fase móvil se constituyó por 65% agua pH 2,9 con ácido trifluoroacético y 45% de acetonitrilo. La longitud de onda fue de 254nm y el tiempo de análisis de 8min. Posteriormente se construyeron las curvas de calibración con los dos estándares, con al menos cinco puntos; cada una de ellas tuvo un coeficiente de variación de 0,98. De los resultados obtenidos en los tres estratos se obtuvo una media y se reporta concentración de AIA y AIB en µg·g⁻¹ de peso seco de planta.

Análisis nutrimental

De la parte, media y alta de las plantas se tomaron hojas que fueron lavadas con agua destilada y secadas a 72°C por 72h. El material se molió, pesó y se determinó nitrógeno total por el método Kjeldahl, y a través de la digestión diácida y

lectura por espectroscopía de emisión atómica de inducción por plasma (ICP-AES marca Varian mod. Liberty) se determinó los contenidos de K, P, Ca, Mg, Fe, Mn, B y Zn.

A la cosecha se evaluó: altura de planta, diámetro de tallo, número de frutos por planta, peso promedio de frutos y el peso seco de raíz y follaje. Los datos fueron sometidos a análisis de la varianza, pruebas de comparación de medias de Tukey, análisis de correlación de Pearson y análisis de regresión múltiple con pruebas *stepwise*, todas con un nivel de significancia $\alpha=0,05$. Los cálculos se realizaron con el paquete estadístico de SAS (2012).

Resultados y Discusión

Las plantas de melón se desarrollaron con vigor y sin ningún problema de plaga o enfermedad; esto reafirma lo reportado por Chen *et al.* (2004) y Hayat *et al.* (2010), que las rizobacterias favorecen el desarrollo de las plantas utilizando mecanismos como producción de fitohormonas, sideróforos, solubilización de fosfatos, síntesis de hormonas y biocontrol de fitopatógenos que ayudan al cultivo a su desarrollo y sanidad.

Contenido relativo de clorofila (unidades SPAD)

Las plantas mostraron valores muy similares entre las inoculadas y el testigo; incluso, cuando se inoculó *Microbacterium sp.* (N50), el valor relativo de clorofila disminuyó

26,5% del valor más alto, que correspondió a las plantas donde se inoculó *Ochrobactrum anthropi* (N208), de 62,50 unidades SPAD (Tabla I). Estos resultados se relacionan con las concentraciones bajas de nitrógeno (3,2%) y hierro (258ppm) que se obtuvieron en las plantas inoculadas con la cepa N50. A pesar de haber utilizado la solución Steiner reportada por Preciado-Rangel *et al.*, 2003 como una excelente fuente de nutrición para el melón en diferentes estados fenológicos, en el caso del presente experimento, la inoculación de *Microbacterium sp.* disminuyó los niveles de ambos nutrientes. A nivel de plántulas, las unidades SPAD encontradas por Preciado-Rangel *et al.* (2003) variaron entre 48 y 53.

No se encontraron diferencias estadísticas entre las medias de las unidades SPAD en los diferentes tratamientos (45,16-60,71), las que aumentaron en un 40-60% por arriba de los encontrados por Sivritepe *et al.* (2008) y Chen *et al.* (2004) con la aplicación de ácidos húmicos en diferentes concentraciones (43,3). En ambos estudios se representa la misma tendencia hallada por Colla *et al.* (2010) de una respuesta lineal en las unidades SPAD al aumento de dosis de nitrógeno y otros nutrientes. Como fuente de nutrientes, la solución de Steiner es ideal para el cultivo del melón, ya que incluso en plantas más pequeñas regadas con dicha solución balanceada producen hojas grandes y con unidades SPAD de 48,26.

TABLA I
ALTURA, UNIDADES SPAD Y DIÁMETRO DE TALLO DE PLANTAS DE MELÓN INOCULADAS CON DIFERENTES RIZOBACTERIAS EN CONDICIONES DE INVERNADERO

| Tratamiento | Unidades SPAD | Altura (m) | Diámetro de tallo (mm) |
|------------------------------------|---------------|------------|------------------------|
| Testigo | 60,48 a | 2,50 b | 13,50 a |
| <i>Ochrobactrum anthropi</i> (208) | 62,50 a | 3,39 a | 15,39 a |
| <i>Microbacterium</i> (N50) | 45,16 b | 3,26 a | 15,20 a |
| <i>Bacillus cereus</i> (N198) | 59,10 a | 3,76 a | 14,20 a |
| <i>Pseudomonas fluorescens</i> (4) | 57,93 a | 3,43 a | 14,07 a |
| <i>Sphingomonas</i> (170) | 60,71 a | 3,18 ab | 14,02 a |
| DMS | 7,65 | 0,7227 | 3,700 |

Los resultados (Tabla I) muestran como la inoculación de las bacterias promotoras favorecen el desarrollo del cultivo, y en forma indirecta indican que en la etapa de plántula se llevó a cabo la colonización de la raíz y las BPCV persistieron a lo largo de todo el cultivo, promoviendo el desarrollo de las plantas de melón en forma diferencial, características importantes mencionadas por Loredó-Ostí *et al.* (2004). Tanto la altura de la planta como el diámetro de tallo se incrementaron con la aplicación de las rizobacterias; la altura presentó diferencias altamente significativas entre el testigo y los tratamientos inoculados, aumentando desde 27,2% con *Sphingomonas* hasta 50,4% en las plantas inoculadas con *Bacillus cereus*. En el diámetro de tallo no se encontraron diferencias estadísticas significativas y el incremento comparado con las plantas testigo fue de 3 a 14% (Tabla I). El grosor de tallo es similar al reportado por Amor *et al.* (1999), de 7,5-104mm en promedio.

Peso seco de follaje y raíz

Una de las funciones identificadas de las bacterias promotoras de crecimiento es el incremento del desarrollo de la planta y de la raíz. La inoculación de las rizobacterias favoreció notablemente el desarrollo de la parte aérea y de la raíz, independientemente de la cepa inoculada (Tabla II).

Número de frutos

A la cosecha solo se cuantifico los frutos con tamaño y color ideal, completamente maduro y que hayan desarrollado el sabor y aroma dulce tan particular del melón para ser comercializado. Hubo muchos frutos pequeños e inmaduros que no fueron cuantificados, motivo por el cual esta variable tuvo un número reducido (Tabla II). No se encontraron dife-

TABLA II
PESO SECO DE FOLLAJE Y RAÍZ, PESO DE FRUTO Y RENDIMIENTO DE MELÓN DESARROLLADO EN HIDROPONÍA E INOCULADO CON BACTERIAS PROMOTORAS DE CRECIMIENTO

| Tratamiento | Peso seco follaje (g) | Peso seco raíz (g) | Número de frutos comerciales | Peso prom. de fruto (kg) | Rendimiento kg/planta |
|------------------------------------|-----------------------|--------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------------|
| Testigo | 201,42 b | 11,42 b | 4,75 a | 0,578 b | 2,745 a |
| <i>Ochrobactrum anthropi</i> (208) | 243,27 a | 16,15 a | 5,25 a | 0,826 a | 4,335 a |
| <i>Microbacterium</i> (N50) | 303,53 a | 18,03 a | 4,25 a | 0,621 b | 2,639 a |
| <i>Bacillus cereus</i> (N198) | 272,37 a | 16,98 a | 4,62 a | 0,522 b | 2,411 a |
| <i>Pseudomonas fluorescens</i> (4) | 208,16 a | 17,74 a | 4,37 a | 0,891 a | 3,893 a |
| <i>Sphingomonas</i> (170) | 284,36 a | 15,81 a | 5,72 a | 0,676 b | 3,866 a |
| DMS | 94,92 | 7,85 | 3,07 | 0,152 | 2,17 |

rencias estadísticas significativas entre las diferentes inoculaciones.

Peso promedio de frutos

En todos los tratamientos, el peso promedio de fruto estuvo por arriba del mínimo indicado para comercialización (500g, Tabla II). En las plantas donde se aplicó *Pseudomonas fluorescens* el melón presentó un peso promedio de 891g, aunque en rendimiento, considerando que hubo en promedio 4,37 frutos por planta, es menor que el de las plantas inoculadas con *Ochrobactrum anthropi*. Una de las consideraciones que deben hacerse en la producción de melón en invernadero, es la distancia entre plantas: En el presente caso, para fines prácticos se colocaron espalderas de malla para sostener las guías del cultivo; sin embargo, hubo mucha competencia por fotosíntesis, lo que de alguna forma pudo haber disminuido la producción comercial. A nivel experimental, datos similares fueron encontrados por Amor *et al.* (1999) quienes reportan pesos de 670 a 856g. En esta variable se refleja el efecto de la inoculación de las bacterias, como encontraron Westphal *et al.* (2008) y Bowen y Rovira (1999) con la inoculación de micorrizas y rizobacterias en sandía y diferentes cultivos. La correlación de Pearson (Tabla III) indica que plantas con tallos más gruesos presentan ma-

TABLA III
CORRELACIONES DE PEARSON DE DIÁMETRO DE TALLO, NÚMERO Y PESO DE FRUTOS DE MELÓN INOCULADAS CON BACTERIAS PROMOTORAS DE CRECIMIENTO EN CONDICIONES DE INVERNADERO

| Variables | ρ | Pr>F | Significancia |
|--|---------|--------|---------------|
| Diámetro de tallo (DT) - Número de Frutos (NF) | 0,35222 | 0,0141 | * |
| Diámetro de tallo (DT) - Peso de Frutos (PF) | 0,30918 | 0,0325 | * |
| Número de Frutos (NF) - Peso de Frutos (PF) | 0,52371 | 0,0001 | ** |

yor número de frutos ($\rho=0,35222$ y $Pr>F=0,0141$) y peso de estos ($\rho=0,30918$ y $Pr>F=0,0325$). También, se distingue una correlación altamente significativa entre el número de frutos y el peso promedio de estos ($\rho=0,35222$ y $Pr>F=0,0141$). Como se mencionó en la introducción, es posible encontrar rendimientos comerciales muchos más altos, basados en las altas dosis de fertilización, sin embargo es necesario disminuir el uso de los químicos por lo que la biofertilización con bacterias es una alternativa en la que quizás disminuya el rendimiento pero también disminuye la lixiviación de fertilizantes y contaminación.

Cuantificación de auxinas

La producción de auxinas, especialmente el ácido indolacético, ha sido reportado para muchos géneros de bacterias (Hayat *et al.*, 2010). Aplicando micorrizas, Guzmán-Loza *et al.* (2010) encontraron un efecto altamente significativo en las variables de desarrollo del cultivo, y al igual que en el presente experimento la producción de AIA se incrementó con la inoculación de las BPCV contra el testigo hasta en 108% y la de AIB hasta en 51,1%.

Las plantas inoculadas con *P. fluorescens* presentaron la concentración más alta de AIA (6,05 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ peso seco) como se

TABLA IV
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO INDOLACÉTICO (AIA) E INDOLBUTÍRICO (AIB) EN PLANTAS DE MELÓN INOCULADAS CON BACTERIAS PROMOTORAS DE CRECIMIENTO EN CONDICIONES DE INVERNADERO

| Bacteria | AIA | AIB |
|------------------------------------|--|-------|
| | ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ peso seco) | |
| <i>Sphingomonas</i> (170) | 5,98 | 42,13 |
| <i>Bacillus cereus</i> (N198) | 5,84 | 69,01 |
| <i>Microbacterium</i> (N50) | 3,48 | 43,22 |
| <i>Ochrobactrum anthropi</i> (208) | 3,23 | 54,48 |
| <i>Pseudomonas fluorescens</i> (4) | 6,05 | 66,26 |
| Testigo | 2,90 | 45,55 |

TABLA V
CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO Y SODIO
EN PLANTAS DE MELÓN PRODUCIDAS EN HIDROPONÍA
E INOCULADAS CON BACTERIAS PROMOTORAS
DEL CRECIMIENTO

| Bacteria | N g·kg ⁻¹ | Na mg·kg ⁻¹ |
|------------------------------------|-------------------------|---------------------------|
| <i>Sphingomonas</i> (170) | 33,3 ab | 1123,81 ab |
| <i>Bacillus cereus</i> (N198) | 33,6 ab | 1175,31 ab |
| <i>Microbacterium</i> (N50) | 32,1 ab | 1059,84 b |
| <i>Ochrobactrum anthropi</i> (208) | 31,6 b | 1197,6 ab |
| <i>Pseudomonas fluorescens</i> (4) | 36,0 a | 1308,7 a |
| Testigo | 32,1 ab | 1075 b |
| DMS | 4,3 | 221,58 |

TABLA VI
DIFERENCIAS EN CONCENTRACIÓN NUTRIMENTAL
EN DOS ESTRATOS DE PLANTAS DE MELÓN PRODUCIDAS
EN HIDROPONÍA E INOCULADAS CON BACTERIAS
PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO

| Localización en planta | N | P | Ca | Mg | Mn | Na |
|---------------------------|--------------------|---------|----------|----------|----------|-----------|
| | g·kg ⁻¹ | | | | | |
| Alta | 344,1 a | 3,168 a | 35,523 b | 17,421 a | 92,50 b | 1229,95 a |
| Media | 319,4 b | 2,223 b | 46,135 a | 15,139 b | 116,01 a | 1083,62 b |
| DMS | 16,57 | 0,455 | 5,339 | 2,036 | 17,123 | 83,712 |

indica en la Tabla IV. Este género destaca por su alta frecuencia en la rizósfera y por favorecer la absorción de agua y nutrientes en las plantas (González *et al.*, 2000; Pallai *et al.*, 2012). También se incrementaron los niveles de AIA en las plantas inoculadas con *Sphingomonas* y *Bacillus cereus*, y de ahí las diferencias en la altura y grosor de tallos, como lo indica Taule *et al.* (2012).

Las plantas testigo presentaron los valores más bajos de AIA y ello se reflejó en la altura (Tabla II); sin embargo, toda planta a la que se inoculó rizobacteria aumentó la concentración de la hormona. Por otra parte, la producción de

AIB no siempre se incrementó con la inoculación de rizobacterias, e incluso en algunos tratamientos (*Sphingomonas* y *Micobacterium*) el valor fue inferior al de las plantas testigo (Tabla IV). Los datos demuestran como las bacterias inoculadas influyen en el crecimiento de las plantas al contribuir a la poza endógena de fitohormonas, tales como el AIA e AIB, que se da ampliamente entre las bacterias asociadas con las plantas (Rojas *et al.*, 2012). Cabe recordar que las auxinas promueven el crecimiento de las raíces y el etileno controla la elongación celular. Algunos autores (Alizadeh, 2011; Galland *et al.*, 2012; de Santi Ferrara *et al.*, 2012) men-

cionan que las rizobacterias también producen la enzima ACC deaminasa, que disminuye los niveles de etileno, con lo que se favoreció el crecimiento de las raicillas. En las raíces de melón se dio un fenómeno resaltante: en las plantas inoculadas con rizobacterias aparecieron múltiples raíces secundarias, incrementando así la superficie de absorción, lo que se vió reflejado en el peso seco de la raíz, que fue significativamente superior en todas las plantas inoculadas en comparación con el testigo (Tabla II). El potencial de las BPCV en la agricultura se incrementa constantemente con los hallazgos realizados en múltiples estudios con el fin de reemplazar el uso de fertilizantes químicos, plaguicidas y otros suplementos

(Bhattacharyya y Jha, 2012).

Concentración nutrimental en follaje

Se presentaron diferencias altamente significativas para N y Na entre tratamientos (Tabla V). Los valores más altos fueron en las plantas inoculadas con *P. fluorescens* (36g·kg⁻¹ de N y 1308,76mg·kg⁻¹ de Na). La concentración de nitrógeno fue baja en comparación con lo reportado por otros autores (Amor *et al.*, 1999), atribuyéndolo a la alta competencia por luz que hubo entre las plantas dada la corta distancia que había entre estas. P, K, Ca, Mg, Fe, B y Zn no presentaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos y, confirmando las propiedades de movilidad de los elementos, la concentración nutrimental en función del estrato de muestreo sí presentó diferencias altamente significativas para N, P, Ca, Mg, Mn y Na (Tabla VI). La mayor concentración de N y P se encontró en las hojas altas, lo que indica que estos elementos disminuyen con la edad de las hojas, a diferencia de Ca y Mg que se incrementan con la madurez o posición de la hoja (Olaniyi y Fagbayide, 2007).

En el análisis de regresión múltiple (Tabla VII) se puede distinguir que el estrato de muestreo es un factor que afecta de manera altamente significativa al P y Ca y significativas en Mn y Mg, el estrato de muestreo y la inoculación influyó en la absorción de N y Na demostrando así un efecto benéfico de la inoculación de bacterias promotoras de crecimiento en plantas de melón y como se modifican factores fisiológicos de la planta y el rendimiento.

Conclusiones

La inoculación de bacterias promotoras de crecimiento a plantas de melón favorece el desarrollo, absorción nutrimental y rendimiento de fruto.

La producción de auxinas se incrementó con la inoculación de *Pseudomonas fluorescens*, y la producción de biomasa radical se incrementó en las plantas inoculadas con todas las BPCV utilizadas.

El uso de bacterias promotoras de crecimiento en la producción hidropónica de melón es una alternativa para favorecer el desarrollo del cultivo en prácticas amigables con el ambiente.

REFERENCIAS

- Ahmad F, Ahmad I, Khan MS (2005) Indoleacetic acid production by the indigenous isolated of *Azotobacter* and fluorescent *Pseudomonas* in the presence and absence of tryptophan. *Turk. J. Biol.* 29: 29-34.
- Alizadeh O (2011) Effect of plant growth promoting bacteria on crop growth. *Am-Euras. J. Sust. Agric.* 5: 344-349.
- Amor FM, Martínez V, Cerda A (1999) Salinity duration and concentration affect fruit yield and quality and growth and mineral composition of melon plants grown in perlite. *HortScience* 34: 1234-1237.
- Bhattacharyya PN, Jha DK (2012) Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Emergence in agriculture. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 28: 1327-1350.
- Boddey RM, Oliveira OC, Urquiaga S, Reis VM, Olovaris FL, Baldani BLD, Dobereiner J (1995) Biological nitrogen fixation associated with sugar cane and rice: Contribution and prospects

- for improvements. *Plant Soil* 174: 195-209.
- Bowen GD, Rovira AD (1999) The rhizosphere and its management to improve plant growth. *Adv. Agron.* 66: 1-102.
- Chen Y, Clapp CE, Magen H (2004) Mechanisms of plant growth stimulation by humic substances: The role of organo-iron complex. *Soil Sci. Plant Nutr.* 50: 1089-1095.
- Colla G, Cardona SC, Yousef CR (2010) Improving nitrogen use efficiency in melon by grafting. *HortScience* 45: 559-565.
- Core J (2005) Grafting watermelon onto squash or gourd rootstock makes firmer, healthier fruit. *Agric. Res.* 53: 8-9.
- De Santi Ferrara FI, Oliveira ZM, Gonzales HHS, Floh ELS, Barbosa HR (2012) Endophytic and rhizospheric enterobacteria isolated from sugar cane have different potential for plant growth-promoting substances. *Plant Soil* 353: 409-417.
- Dobbelaere S, Vanderleyden J, Okon Y (2003) Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. *Plant Sci.* 22: 107-149.
- Espinoza AJJ, Lozada CM, Leyva NS (2011) Posibilidades y restricciones para la exportación de melon Cantaloupe producido en el Municipio de Mapimi Dg. México al Mercado de los Estados Unidos. *Rev. Mex. Agroneg.* 15: 593-606.
- Esitken AS, Ercisli H, Karlidag L, Sahin F (2005) Potential use of plant promoting rhizobacteria (PGPR) in organic apricot production. En Libek A, Kaufman E, Sasnauskas A (Eds.) *Proc. Int. Sci. Conf. of Environmentally Friendly Fruit Growing*. Tartu University Press. Tartu, Estonia. pp. 90-97.
- Galland M, Gamet L, Varoquaux F, Touraine B, Desbrosses G (2012) The ethylene pathway contributes to root hair elongation induced by the beneficial bacteria *Phyllobacterium brassicacearum* STM 196. *Plant Sci.* 190: 74-81.
- González A, Lacasa A, Rodríguez R, Fernández JA, Franco JA (2000) Rizobacterización de plántulas de pimiento: influencia de la fase de semillero en la producción del cultivo. *Agric. Vergel* 227: 725-735.
- Guzmán-Losa C, Farias-Larios J, López-Aguirre JG (2010) Evaluation of two commercial formulations of mycorrhizal fungi for honeydew melon (*Cucumis melo* L.). Seedlings Production. *HortScience* 35: 430-431.
- Hayat R, Ali S, Amara U, Khalid R, Ahmed I (2010) Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion. A review. *Ann. Microbiol.* 60: 579-598.
- Burelle-Kokalis N (2003) Effects of transplant type, plant growth-promoting rhizobacteria, and soil treatment on growth and yield of strawberry in Florida. *Plant Soil* 256: 273-280.
- Burelle-Kokalis N, Vavrina CS, Kloepper JW (2002) Amendment of muskmelon and watermelon transplant meia with plant growth-promoting Rhizobacteria: Effect of seedling quality, disease and nematode resistance. *Hort. Technol.* 13: 476-482.
- Loredo-Osti CM, López-Redes L, Espinosa-Victoria D (2004) Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas con gramíneas: Una revisión. *Terra Latinoam.* 22: 225-239.
- Loster GE (2008) Antioxidant, sugar, mineral and phytonutrient concentrations across edible fruit tissues of orange-fleshed honeydew melon (*Cucumis melo* L.). *J. Agric. Food Chem.* 56: 3694-3698.
- Olaniyi JO, Fagbayide JA (2007) Influence of source and time of nitrogen application on growth, yield and nutrient composition of Eugosi melon. *Res. J. Agron.* 1: 99-104.
- Pallai R, Hynes RK, Verma B, Nelson LM (2012) Phytohormone production and colonization of canola (*Brassica napus* L.) roots by *Pseudomonas fluorescens* 6-8 under gnotobiotic conditions. *Can. J. Microbiol.* 58: 170-178.
- Preciado-Rangel P, Baca-Castillo GA, Tirado-Torres JL, Shibata KJ, Tijerina-Chávez L, Martínez-Garza M (2003) Presión osmótica de la solución nutritiva y la producción de plántulas de melón. *Terra Latinoam.* 21: 461-470.
- Rojas CA, Rodríguez AM, Montes SV, Pérez SJ (2012) Evaluación de la promoción de crecimiento de *Cynodon dactylon* L. por rizobacterias productoras de fitohormonas aisladas de un suelo contaminado con hidrocarburos derivados del petróleo. *Polibotánica* 29: 131-147.
- SAS (2012) *SAS/STAT® User's Guide*. Version 9.3. SAS Institute Inc., Cary, NC, EEUU.
- Sivritepe N, Sivritepe HO, Turkan L, Bor M, Ozdemir F (2008) NaCl pre-treatments mediate salt adaptation in melon plants through antioxidative system. *Seed Sci. Technol.* 36: 360-370.
- Taule C, Mareque C, Barlocco C, Hackembruch F, Reis VM, Sicardi M, Battistoni F (2012) The contribution of nitrogen fixation to sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) and the identification and characterization of part of the associated diazotrophic bacterial community. *Plant Soil* 356: 35-49.
- Westphal AN, Snyder L, Xing L (2008) Effects of inoculations with mycorrhizal fungi of soilless potting mixes during transplant production on watermelon growth and early fruit yield. *HortScience* 43: 354-360.
- Yang J, Kloepper JW, Ryu C (2009) Rhizosphere bacterial help plants tolerate abiotic stress. *Trends Plant Sci.* 14: 1-4.