VOLUMEN 48
XXXI Verano De la Ciencia
ISSN 2395-9797
www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

Efecto de *Methylobacterium radiotolerans* sobre la morfología y estado nutricional Agave salmiana Otto ex Salm-Dyck y Cucurbita pepo L.

Effect of Methylobacterium radiotolerans on the morphology and nutritional status of Agave salmiana Otto ex Salm-Dyck and Cucurbita pepo L.

Cristofer Manuel Chávez-Ramírez[1], Quiahuitl María Guadalupe Zavala-Navarro[2], Manuel Darío Salas-Araiza[3], Rafael Guzmán-Mendoza[3]

[1] Estudiante de Agronomía, División Ciencias de la Vida, Universidad de Guanajuato, Campus Irapuato-Salamanca, El Copal Irapuato, Car. Irapuato-Silao Km 9, CP. 36500, cm.chavezramirez@ugto.mx.
[2] Estudiante del Doctorado en Biociencias, División Ciencias de la Vida, Universidad de Guanajuato, Campus Irapuato-Salamanca, El Copal Irapuato, Car. Irapuato-Silao Km 9, CP. 36500, qmg.zavalanavarro@ugto.mx.
[3] Departamento de Agronomía, División Ciencias de la Vida, Universidad de Guanajuato, Campus Irapuato-Salamanca, El Copal Irapuato, Car. Irapuato-Silao Km 9, CP. 36500, salasm@ugto.mx, rafael.guzman@ugto.mx.

Resumen

Methylobacterium radiotolerans es una bacteria promotora del crecimiento vegetal con potencial para mejorar el desarrollo y la nutrición de diferentes cultivos. El objetivo de este estudio fue evaluar su efecto sobre la morfología y el estado nutricional de *Cucurbita pepo* y *Agave salmiana* bajo condiciones de invernadero. Las plantas fueron inoculadas con una suspensión bacteriana de 1×10^7 UFC·mL^{-1} mediante aplicaciones foliares y/o al sustrato. En *C. pepo*, la inoculación incrementó significativamente la longitud de las plantas y la concentración foliar de potasio, aunque no se observaron diferencias en el número de hojas, flores o en las concentraciones de nitrógeno y calcio. En *A. salmiana*, la aplicación foliar produjo aumentos significativos en diámetro, longitud y ancho de hojas, desarrollo radicular, biomasa y contenido de calcio. Los resultados demuestran el potencial de *M. radiotolerans* como bioestimulante para promover el crecimiento y mejorar la nutrición vegetal.

Palabras clave: bioestimulante; bacterias promotoras del crecimiento vegetal; agricultura sostenible.

Introducción

El estudio de bacterias como *Methylobacterium* ha generado interés por que se ha visto que estas pueden mejorar el crecimiento y nutrición de diferentes plantas. Por ejemplo, en cultivos como *Jatropha curcas* se logró identificar a *Mhetylobacterium radiotolerans*, comprobando que esta bacteria favorece el desarrollo y crecimiento de la planta (Orf y Noor, 2024). En hortalizas como el pepinillo (*Cucumis sativus*), se reportó que *Methylobacterium symbioticum* ayudó a incrementar el rendimiento del cultivo, reforzando la hipótesis de que estas bacterias mejoran no solo la morfología de las plantas si no también su productividad. En el caso de la sandía (*Citrullus lanatus*), al inocularla con *M. symbioticum* se observó que esta aportó un beneficio en el estado nutricional de la planta. En el caso de *Gymnema inodorum* se demostró que al inocular las plantas con *M. radiotolerans*, estas producen reguladores de crecimiento vegetal que modifican la morfología, actuando como bioestimulante natural. Por otro lado, en el cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum*) se co-inoculó *Glomus* sp. y *Methylobacterium* sp. reportando que aceleraron la germinación, promovieron el crecimiento vegetal y activaron de manera natural las defensas de la planta en contra de enfermedades, concluyendo que tiene un efecto integral sobre la planta (López-Díaz *et al*., 2016). También en tomate atacado por *Fusarium oxysporum* se observó que *Methylobacterium extorquens* ayudó al desarrollo del cultivo aún en presencia del patógeno (Medina-Rios *et al*., 2019). El objetivo de este estudio fue evaluar el impacto de la inoculación de *M. radiotolerans* en los cultivos *Agave salmiana* y *Cucurbita pepo* y, determinar su capacidad en la promoción del crecimiento vegetal.

Materiales y Métodos

Inoculación y aplicaciones de *M. radiotolerans* en *C. pepo* y *A. salmiana*: Las plantas de calabaza se llevaron al invernadero y se inocularon al momento del trasplante a una concentración 1 × 107 UFC·mL-1 por aplicaciones a nivel de sustrato y foliar, siendo el control agua destilada estéril, en seguida se trasplantaron a bolsas de plástico negras de 30 cm de ancho 30 cm de largo con sustrato Hill Country Fare Texas Potting Soil ®. Una vez en el invernadero se hicieron aplicaciones quincenales de *M. radiotolerans* a la concentración antes mencionada y se le dio el manejo agronómico de fertilización (Anexo 1).

Por otro lado, las plantas de agave se trasplantaron a macetas negras con sustrato compuesto por arena, tezontle y carbón, y se inocularon al mismo momento a una concentración 1 × 107 UFC·mL-1 por aplicaciones a nivel de sustrato (drench) y foliar por separado, siendo el control agua destilada estéril. Una vez en el invernadero se hicieron aplicaciones quincenales de *M. radiotolerans* a la concentración antes mencionada.

Fertilización de *C. pepo* y A. *salmiana*: La fertilización para *C. pepo* consistió en solución de fertirrigación modificada de la fertilización propuesta por Steiner en 1961 (Steiner, 1961), se realizó cada tercer día fraccionando los fertilizantes indicados en las siguientes tablas Tabla 1 y 2. Para el caso de *A. salmiana* la fertilización consistió en la misma fertilización diluida al 50% (v/v) realizada cada 15 días.

Tabla 1. Fertilización.

Etapa	Semanas	Calcinit: Nitrato de Calcio ($kg \cdot ha^{-1}$)	Nitrato de Potasio + Magnesio ($kg \cdot ha^{-1}$)	Fosfato monopotásico ($kg \cdot ha^{-1}$)	Sulfato de Potasio ($kg \cdot ha^{-1}$)	Rosasol ($kg \cdot ha^{-1}$)
Fórmula		(5Ca (NO3)2 · NH4NO3 · 10H2O))	(KNO3) + Mg (kg ha^{-1})	($KH2PO_4$) (kg ha^{-1})	(K2SO4) (kg ha^{-1})	20N-20P-20K
Total ciclo	1–12	340	330	68	130	35

Tabla 2. Fertilización por etapa fenológica.

Etapa	Semanas	Nitrógeno (N)	Fósforo (P_2O_5)	Potasio (K)	Calcio (Ca)	Azufre (S)	Magnesio (MgO)
Establecimiento	1–2	8	5.1	9.4	9.3	0	0.08
Desarrollo vegetativo	3–5	27.6	13.1	43	23.9	4.3	0.35
Prefloración	6	11	6.1	24.1	9.3	6.9	0.18
Floración	7–8	16.2	8.7	54.1	18.6	16.1	0.4
Fructificación	9–12	25.5	8.7	95	29.2	32.2	0.65
Total ciclo	1–12	88.3	41.7	225.6	90.1	59.8	1.66

Se analizaron características morfológicas: con ayuda de una cinta métrica se midió la longitud de la planta, se cuantificó el número de hojas y flores por planta, por último, el foliolo de la hoja madura más recientemente se colocó en una prensa de ajos para obtener así el extracto foliar que se analizó en ionometros HORIBA LAQUATwin® determinando su contenido de (NO_3−), potasio (K+) y calcio (Ca^2+).

En el caso del agave se midió la longitud y el ancho de la hoja más grande con ayuda de una cinta métrica, asimismo para la longitud de la raíz se empleó la cinta métrica, para el diámetro se utilizó un vernier ajustándolo al cuello de cada planta, además, con ayuda de una balanza granataria modelo METTLER PJ6000 se cuantificó el peso fresco de hojas y raíz, por su parte para el peso seco de hojas y raíz se empleó una báscula digital modelo SALTER electroscale, finalmente para determinar el contenido de (NO3−), potasio

(K+) y calcio (Ca2+) se tomaron muestras de 0.5 g de la hoja más recientemente madura la cual se trituró en un mortero agregándole 4.5 ml de agua destilada estéril obteniendo así la muestra para analizar en ionómetros HORIBA LAQUATwin®.

Resultados y Discusión

Efecto de *M. radiotolerans* sobre *C. pepo*: El tratamiento a los 56 días después del trasplante tuvo una diferencia mayor estadísticamente significativa en la longitud de la planta con respecto al control (Fig. 1), coincidiendo con lo reportado por (Orf y Noor, 2024) en el cultivo de *J. curcas*, donde la inoculación de estas mismas bacterias estimuló el crecimiento vegetal.

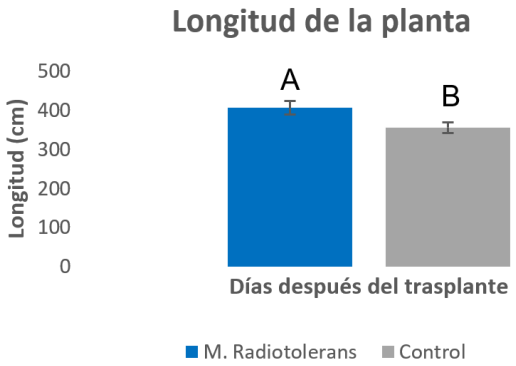


Figura 1. Comparación de longitud con prueba de tukey (0.05), La literal A indica el valor más grande y B el menor.

A diferencia de lo observado en la longitud de la *planta M. radiotolerans* a los 56 y 100 después del trasplante no tuvo un efecto estadísticamente significativo en el número de hojas ya que estas mantuvieron casi el mismo número independientemente del tratamiento (Fig. 2), lo que contrasta con los resultados de (López-Díaz *et al*., 2016) donde la co-inoculación de *Glomus* sp. y *Methylobacterium* sp. lo incrementaron.

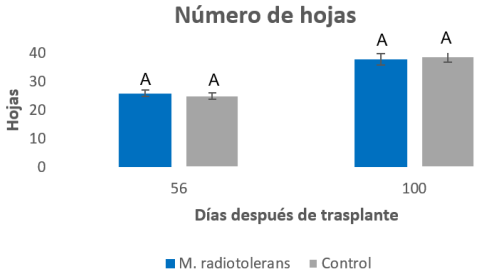


Figura 1. Comparación de número de hojas con prueba.

Para el número de flores, el tratamiento con *M. radiotolerans* tuvo un mayor número, aunque estadísticamente no es diferente del control (Fig. 3), a diferencia de los resultados en pepinillo donde sí existió un incremento.

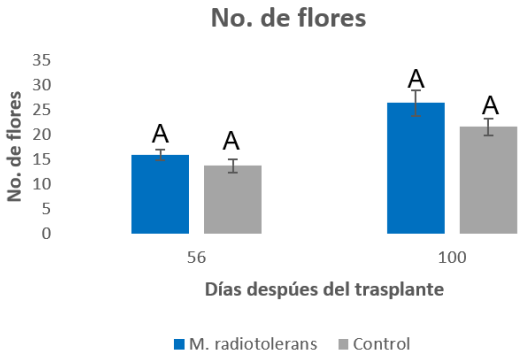


Figura 2. Comparación del número de flores.

Por último, en el análisis de nutrientes se observaron distintos resultados, para el Nitrógeno estadísticamente no hubo diferencias significativas entre las plantas inoculadas con *M. radiotolerans* y el control, en el caso del potasio las plantas inoculadas tuvieron un incremento significativo en la concentración del extracto en comparación con las plantas sin inocular. Finalmente, en el calcio las plantas inoculadas tuvieron una mayor concentración en promedio en comparación con el control, pero estadísticamente no hubo diferencias, difiriendo con lo observado en sandía inoculada con *M. symbioticum* mejoró el estado nutricional general de las plantas.

Efecto de *M. radiotolerans* sobre *A. salmiana*: A los 130 días después del trasplante las plantas inoculadas de manera foliar tuvieron incrementos estadísticamente significativos en comparación del control (Fig. 4), relacionándose con lo reportado por (Medina-Rios *et al*., 2019) donde *Methylobacterium extorquens* ayudó al desarrollo de tomate infectado con *F. oxysporum*.

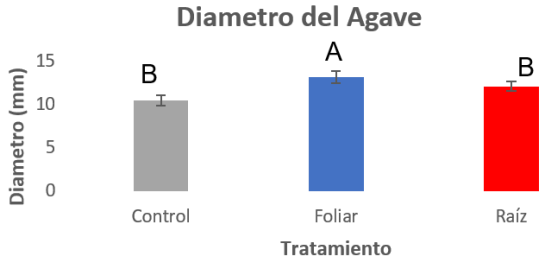


Figura 4. Comparación del diámetro del A. salmiana con prueba de Tukey (0.05), La literal A indica el valor más grande y B el menor.

En el caso de la longitud de la hoja el tratamiento con *M. radiotolerans* fue el mayor estadísticamente que los otros dos tratamientos (Fig. 5). Respecto al ancho de la hoja el tratamiento raíz y foliar obtuvieron los mayores valores y fueron diferentes estadísticamente significativos al control (Fig. 6). Coincidiendo ambos con los hallazgos donde *M. radiotolerans* produjo reguladores de crecimiento que modificaron la morfología de *Gymnema inodorum*.

ISSN 2395-9797
www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

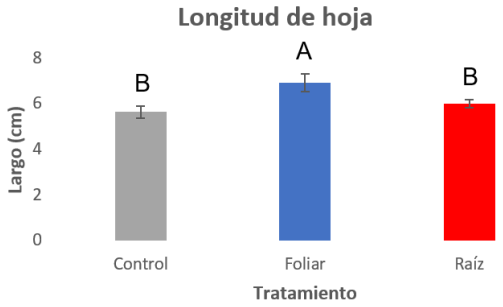


Figura 5. Comparación de longitud de la hoja con prueba de Tukey (0.05), La literal A indica el valor más grande y B el menor.

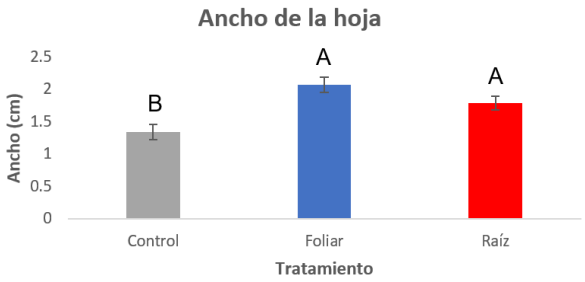


Figura 6. Comparación del ancho de la hoja con prueba de Tukey (0.05), La literal A indica el valor más grande y B el menor.

Para el número de hojas el tratamiento de la inoculación foliar fue significativamente mayor al control, mientras que el tratamiento de inoculación a la raíz y el control fueron iguales estadísticamente (Fig 7), similar a lo observado por (López-Díaz *et al*., 2016) en tomate inoculado con *Glomus* sp. y *Methylobacterium* sp.

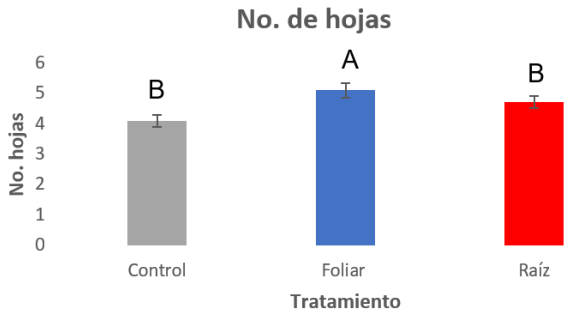


Figura 7. Comparación del número de hojas con prueba de Tukey (0.05), La literal A indica el valor más grande y B el menor.

Del mismo modo en la longitud de la raíz, el tratamiento de inoculación foliar mostró ser el mejor de los tratamientos de manera significativa respecto al tratamiento inoculado a la raíz y el control siendo el primero mayor al control, pero sin diferencia significativa entre los dos tratamientos (Fig. 8), teniendo relación con los efectos positivos reportados donde la inoculación mejoró el desarrollo radicular del pepinillo y sandía.

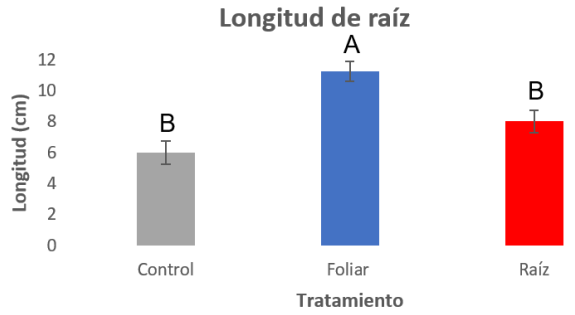


Figura 8. Comparación de la longitud de la raíz con prueba de Tukey (0.05), La literal A indica el valor más grande y B el menor.

Asimismo, el peso fresco y seco de la raíz tuvo un incremento significativo en el tratamiento de inoculación foliar a comparación del control, siendo iguales el control y la inoculación en la raíz (Fig. 9), Por otra parte, en el peso fresco de las hojas todos los tratamientos fueron diferentes entre sí, pero el mayor fue la inoculación foliar, para el peso seco de las hojas todos los tratamientos fueron iguales estadísticamente (Fig.10). Ambos resultados asemejándose a los resultados de Orf y Noor en 2024 donde *M. radiotolerans* incrementó la biomasa vegetal en *J. curcas*.

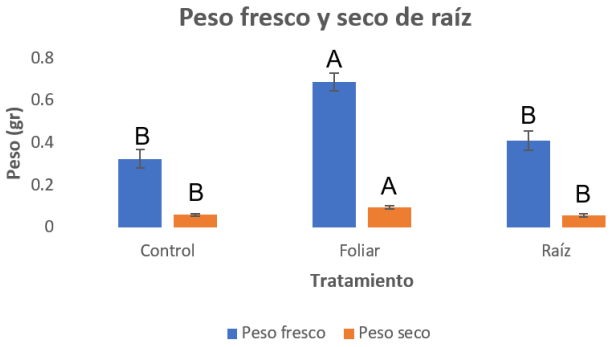


Figura 9. Comparación del peso fresco y seco de la raíz de agave con prueba de Tukey (0.05), la literal A indica el valor más grande y B el menor.

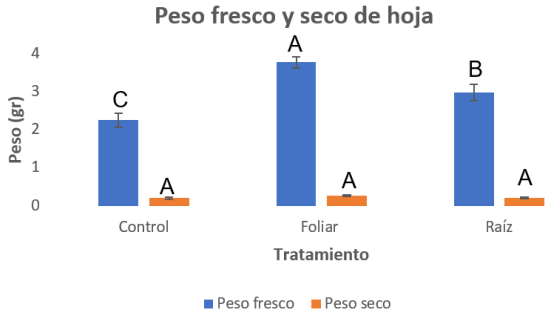


Figura 10. Comparación del peso fresco y seco de las hojas de agave con prueba de Tukey (0.05), la literal A indica el valor más grande y B el menor.

Finalmente, la inoculación tuvo un efecto positivo en el contenido de calcio incrementado sus niveles muy significativamente en comparación al control. Por otro lado, el contenido de nitrógeno y fósforo no se observó un efecto, esto ha sido reconocido donde la inoculación de *Methylobacterium* en sandía obtuvo una mejora nutricional.

Conclusión

Los resultados obtenidos confirman que *M. radiotolerans* actúa como una bacteria promotora del crecimiento vegetal, con efectos dependientes de la especie hospedera y de la vía de aplicación. Mientras que en *C. pepo* los beneficios se manifestaron principalmente en el crecimiento longitudinal y en la acumulación de potasio, en *A. salmiana* la inoculación foliar promovió de manera significativa el crecimiento vegetativo, el desarrollo radicular, la acumulación de biomasa y el contenido de calcio. Estos hallazgos destacan el potencial biotecnológico de *M. radiotolerans* como inoculante microbiano para fortalecer el crecimiento y la nutrición de cultivos agrícolas, contribuyendo al desarrollo de sistemas de producción más sostenibles y con menor dependencia de insumos convencionales.

Referencias

López-Díaz, S., Barajas González, J. A., & Ceja-Torres, L. F. (2016). Co-inoculation of Glomus sp and Methylobacterium sp to accelerate seed germination, plant growth promotion and induction of systemic resistance in tomato (Lycopersicum esculentum var verome). *Mexican Journal of Biotechnology,* 1. https://doi.org/10.29267/mxjb.2016.1.1.96-106

Medina-Rios, M., Ceja-Torres, L. F., López-Díaz, S., Venegas-González, J., & Sánchez-Hernández, C. V. (2019). Efecto de Methylobacterium extorquens en el desarrollo del tomate en presencia o ausencia de Fusarium oxysporum. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(7), 1469-1479. https://doi.org/10.29312/remexca.v10i7.644

Orf, O. H., H & Noor El-Deen, T. M. (20249. Identification and Evaluation of the Endophytic Methylobacterium radiotolerans to Stimulate Growth of Jatropha curcas Plants. *The Future of Biology*, 3, 41-54.